



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
TECNOLOGIA, INFRAESTRUCTURA Y  
TERRITORIO (ILATIT)**

**INGENIERÍA QUÍMICA**

**EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS:  
EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROCESO**

**MARÍA GUADALUPE DEL PUERTO VERA  
NOELIA FERNANDA MALDONADO BRITOS**

Foz de Iguazú  
2022

**EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS:  
EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROCESO**

**MARÍA GUADALUPE DEL PUERTO VERA  
NOELIA FERNANDA MALDONADO BRITOS**

Trabajo Final de Grado presentado al Instituto Latino-Americano de Tecnología, Infraestructura y Territorio de la Universidad Federal de la Integración Latino-Americana, como requisito parcial para la obtención del título de grado en Ingeniería Química.

Orientadora: Prof. <sup>a</sup>. Dra. Andreia Cristina Furtado.  
Coorientadora: Prof. <sup>a</sup>. Dra. Karine Zanella

Foz de Iguazú  
2022

MARÍA GUADALUPE DEL PUERTO VERA  
NOELIA FERNANDA MALDONADO BRITOS

**EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS:  
EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROCESO**

Trabajo Final de Grado presentado al Instituto Latino-Americano de Tecnología, Infraestructura y Territorio de la Universidad Federal de la Integración Latino-Americana, como requisito parcial para la obtención del título de grado en Ingeniería Química.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Prof. <sup>a</sup>. Dra. Andreia Cristina Furtado.  
UNILA

---

Co-orientadora: Prof. <sup>a</sup>. Dra. Karine Zanella.

---

Prof. <sup>a</sup>. Dra. Priscila Ferri Coldebella  
UNILA

Foz de Iguazú, 05 de agosto de 2022.

## PLAZO DE PRESENTACIÓN DE LOS TRABAJOS ACADÉMICOS

Nombre completo de las autoras: MARÍA GUADALUPE DEL PUERTO VERA, NOELIA FERNANDA MALDONADO BRITOS

Curso: Ingeniería Química

	Tipo de Documento
(..x..) graduación	(.....) articulo
(.....) especialización	(..x..) trabajo de conclusión de curso
(.....) master	(.....) monografía
(.....) doctorado	(.....) disertación
	(.....) tesis
	(.....) CD/DVD – obras audiovisuales
	(.....) _____

Título del trabajo académico: EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS: EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROCESO

Nombre de la orientadora: Andreia Cristina Furtado

Nombre de la coorientadora: Karine Zanella

Fecha de Defensa: 05/08/2022

### Licencia de Distribución no-exclusiva

Dicho autor(a):

a) Declara que el documento entregado es su trabajo original, y que tiene derecho a conceder los derechos contenidos en esta licencia. Asimismo, declara que la entrega del documento no infringe, en la medida en que puede saberlo, los derechos de cualquier otra persona o entidad.

b) Si el documento entregado contiene material del cual no posee los derechos de autor, declara que obtuvo autorización del titular de los derechos de autor para conceder a la UNILA - Universidad Federal de la Integración Latinoamericana los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material cuyos derechos son de terceros está claramente identificado y reconocido en el texto o contenido del documento entregado.

Si el documento entregado se basa en trabajo financiado o apoyado por otra institución que no sea la Universidad Federal de la Integración Latinoamericana, declara que ha cumplido con cualquier obligación requerida por el contrato o acuerdo respectivo.

En calidad de titular de los derechos del contenido antes citado, el autor autoriza a la Biblioteca Latinoamericana - BIUNILA a poner a disposición la obra, gratuitamente y de acuerdo con la licencia pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz de Iguazú, 05 de agosto de 2022.

---

Firma de las Responsables

Dedicamos este trabajo a nuestras familias,  
amigos y profesores, por el apoyo y la ayuda  
a cumplir con nuestros objetivos.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a Dios por habernos bendecido en este recorrido con salud y fortaleza, pudiendo así concretar esta meta.

A la Universidad Federal de la Integración Latino-Americana por habernos dado el privilegio de acceder a educación superior pública de calidad en un ambiente bilingüe e intercultural, que sin lugar a dudas agregó en demasía a nuestra formación y a nuestras vidas. Por la oportunidad de haber participado en proyectos de Iniciación Científica y Extensión Universitaria, entre otras experiencias únicas vividas a lo largo de estos años.

A la profesora Dra. Andréia Cristina Furtado, por haber sido nuestra orientadora en este trabajo, también por acceder a la orientación de pasantía de ambas, por todo el cariño, la asistencia y las valiosas enseñanzas en sala de aula.

A la profesora Dra. Karine Zanella, por aceptar la coorientación de este trabajo, apoyándonos incondicionalmente desde un primer momento, por inspirarnos y motivarnos a seguir adelante, por la amistad y el afecto que llevaremos siempre.

A los técnicos Paula dos Santos y Wagner Ferreira por toda la ayuda, el soporte y la paciencia durante estos meses. También, a los docentes a cargo del Laboratorio de Tecnologías y Procesos Sustentables (LATEPS) por permitirnos usufructuar las instalaciones para la realización de los experimentos.

A los demás docentes y compañeros de la UNILA por habernos acompañado en el transcurso de esta jornada.

Yo, Guadalupe, a mis padres, Luisa y Miguel, y a mi hermana, Belén, por su amor incondicional y haber sido mi fortaleza durante este camino. A mi tía y madrina, Mirtha, por cuidarme y siempre haber estado tan presente en mi vida. A mis mejores amigos, Vanessa (†) y Diego, mi eterna gratitud por todo el apoyo y nunca haber soltado mi mano. A mis demás amigos, por el cariño y todos los momentos vividos, que hicieron más amena

esta etapa.

Yo, Noelia, agradezco primeramente a mis padres, Blanca y Adalberto, a mis hermanos, Edgar, Juanma y Bia, a mis cuñados, Diego, Teresa y Daniela, a mis sobrinitos y a mi novio, Tamatias, por ser mi apoyo y sostén todo este tiempo. Gracias por el cariño, la confianza y las palabras de aliento, sin duda este logro les debo a ustedes. A mis amigos de la facultad, por todas esas horas de risas y estudio, que con certeza hicieron que esta sea una de las mejores etapas de mi vida. A mis amigas, Clara, Angelica, Anny y Silvia, por haber estado desinteresadamente siempre ahí, apoyándome a perseguir mis sueños. A mi profesor y amigo, Doge, quien fue el que me ayudo a superar tiempos difíciles en los primeros años de universidad. A mi amiga y compañera, Guadalupe, y familia, por siempre acogerme de la mejor manera en su casa durante los días de intenso estudio. Finalmente, a todos mis familiares y personas estimadas por el afecto y ayuda a lo largo de este periodo. Infinitamente grata con todos ustedes.

*Es el esfuerzo constante y decidido lo que rompe toda  
resistencia y barre con todos los obstáculos.*  
**Claude M. Bristol**

## RESUMEN

Los desechos generados por las industrias procesadoras de fruta son de naturaleza variada, debido a las diferentes morfologías que presentan las materias primas y las diversas operaciones utilizadas a lo largo de la línea de producción. El orujo, también conocido como bagazo, comprende la materia sólida que permanece luego de que los jugos son extraídos por técnicas como el prensado y permanece una miscelánea de cáscaras, pulpa, semillas y tallos, que representan entre 10-60 % de la masa total del fruto. Con el propósito de valorizar este subproducto, que generalmente se destina para abono o alimentación animal, surgió la idea de separar compuestos de interés partir del procesamiento de los residuos, como es el caso las pectinas, que son polisacáridos utilizados como aditivos en las industrias alimentaria, farmacéutica y de cosméticos, debido a sus propiedades gelificantes, estabilizantes, emulsificantes y espesantes. Estas sustancias por lo general son extraídas a nivel industrial partiendo de cáscaras de naranja y orujo de manzana. La finalidad de este estudio es evaluar y validar el proceso de extracción por medio del rendimiento de pectina obtenida partiendo de distintas matrices: limón, maracuyá, naranja, manzana y tomate. Para ello, el método consistió en seleccionar cinco trabajos como referencia y reproducir sus condiciones operacionales en el punto que obtuvieron mayor rendimiento, analizando la repetibilidad de las metodologías. Para la hidrólisis ácida es posible utilizar tanto ácidos orgánicos, como minerales, buscando disminuir el pH del medio, de modo a favorecer la extracción de las moléculas de pectina. En caso del limón, maracuyá y naranja, el agente extractor utilizado fue ácido cítrico, mientras que para la manzana y el tomate se emplearon ácido nítrico y clorhídrico, respectivamente. Los rendimientos alcanzados en gramos de pectina por gramos de materia prima en base seca fueron 23,8%, 21,5% ,15,9%,14,1% y 7,3 % para limón, maracuyá, naranja, manzana y tomate, correspondientemente. Fue verificado un bajo rendimiento en comparación a las referencias para los experimentos con naranja y tomate, no obstante, las demás frutas alcanzaron valores acordes a lo reportado por la literatura. En cuanto a la apariencia de los productos obtenidos a partir del limón, maracuyá y naranja, los mismos presentaron una tonalidad clara, que es de potencial interés en el mercado, debido a la amplia gama de productos en los cuales esta sustancia puede ser adicionada sin modificar la coloración del producto final. En suma, las extracciones utilizando limón y maracuyá como materia prima, una siendo fuente alternativa, se desempeñaron de acuerdo a lo esperado, obteniéndose así tanto un rendimiento, como una apariencia satisfactoria.

**Palabras llave:** pectina; extracción convencional; hidrólisis ácida; rendimiento; orujo.

## RESUMO

Os resíduos gerados pelas indústrias de processamento de frutas são de natureza variada, devido às diferentes morfologias das matérias primas e às diversas operações utilizadas ao longo da linha de produção. O bagaço, compreende a matéria sólida que permanece após a extração dos sucos por técnicas como prensagem e permanece uma miscelânea de cascas, polpa, sementes e caules, representando entre 10-60 % da massa total do fruto. A fim de valorizar este subproduto, geralmente utilizado como fertilizante ou ração animal, surgiu a ideia de separar os compostos de interesse do processamento de resíduos, tais como pectinas, que são polissacarídeos utilizados como aditivos nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética, devido às suas propriedades gelificantes, estabilizantes, emulsificantes e espessantes. Estas substâncias são geralmente extraídas a nível industrial das cascas de laranja e do bagaço de maçã. O objetivo deste estudo é avaliar e validar o processo de extração por meio do rendimento da pectina obtida de diferentes matrizes: limão, maracujá, laranja, maçã e tomate. Para isso, o método consistiu em selecionar cinco trabalhos como referência e reproduzir suas condições operacionais no ponto que obtiveram o maior rendimento, analisando a repetibilidade das metodologias. Para a hidrólise ácida, é possível utilizar tanto ácidos orgânicos como minerais, procurando diminuir o pH do meio, de modo a favorecer a extração das moléculas de pectina. No caso do limão, maracujá e laranja, o agente extrator utilizado foi ácido cítrico, enquanto para a maçã e tomate foram utilizados ácido nítrico e clorídrico, respectivamente. Os rendimentos alcançados em gramas de pectina por gramas de matéria-prima em base seca foram 23,8%, 21,5%, 15,9%, 14,1% e 7,3% para limão, maracujá, laranja, maçã e tomate, correspondentemente. Foi verificado um baixo rendimento em comparação com as referências para os experimentos com laranja e tomate, porém as demais frutas alcançaram valores de acordo com o relatado pela literatura. Quanto à aparência dos produtos obtidos a partir do limão, maracujá e laranja, os mesmos apresentaram uma tonalidade clara, que é de potencial interesse no mercado, devido à ampla gama de produtos em que esta substância pode ser adicionada sem alterar a coloração do produto final. Em suma, as extrações utilizando limão e maracujá como matéria-prima, uma sendo fonte alternativa, desempenharam-se de acordo com o esperado, obtendo-se assim tanto um rendimento como uma aparência satisfatória.

**Palabras-chave:** pectina; extração convencional; hidrólise ácida; rendimento; bagaço.

## ABSTRACT

The waste generated by the fruit processing industries varies, due to the different morphologies of the raw materials and the different operations used along the production line. Bagasse, the solid waste that stays after the juices are extracted by techniques such as pressing and remains a miscellany of peels, pulp, seeds and stems, representing between 10-60 % of the total mass of the fruit. To valorize this by-product, generally used as fertilizer or animal feed, the idea arose to separate compounds of interest from the processing of waste, such as pectins, which are polysaccharides used as additives in food, pharmaceutical and cosmetic industries, due to their gelling, stabilizing, emulsifying and thickening properties. These substances are usually extracted at an industrial level from orange peels and apple pomace. The purpose of this study is to evaluate and validate the extraction process through the yield of pectin obtained from different matrices: lemon, passion fruit, orange, apple and tomato. For this purpose, the method consisted of selecting five works as reference and reproducing their operational conditions at the point where they obtained the highest yield, analyzing the repeatability of the methodologies. For acid hydrolysis it is possible to use both organic acids and minerals, looking to decrease the medium pH, to favor the extraction of pectin molecules. In the case of lemon, passion fruit and orange, the extraction agent used was citric acid, while nitric acid and hydrochloric acid were used for apple and tomato, respectively. The obtained yields expressed in grams of pectin per gram of dry raw were 23.8%, 21.5% 15.9%, 14.1% and 7.3% for lemon, passion fruit, orange, apple and tomato, correspondingly. It was verified a low yield compared to the references for the experiments with orange and tomato, however the other fruits reached values by those reported in the literature. Regarding the appearance of the products obtained from lemon, passion fruit and orange, they presented a light color, which is of potential interest in the market, due to the wide range of products in which this substance can be applied without modifying the color of the final product. In sum, extractions using lemon and passion fruit as raw material, one being an alternative source, performed according as expected, thus obtaining both a performance and a satisfactory appearance.

**Key words:** pectin; conventional extraction; acid hydrolysis; yield; pomace.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Morfología del durazno.....	19
<b>Figura 2.</b> Morfología del limón.....	21
<b>Figura 3.</b> Morfología del maracuyá.....	23
<b>Figura 4.</b> Morfología de la manzana.....	24
<b>Figura 5.</b> Morfología del tomate. ....	25
<b>Figura 6.</b> Morfología de la naranja.....	26
<b>Figura 7.</b> Sección de una molécula de pectina. ....	28
<b>Figura 8.</b> Diagrama de flujo de proceso general de extracción de pectina. ....	32
<b>Figura 9.</b> Diagrama de flujo de proceso de producción de pectina.....	36
<b>Figura 10.</b> Materia prima (Limón), húmeda (A) y seca (B).....	38
<b>Figura 11.</b> Materia prima (Maracuyá), húmeda (A) y seca (B).....	40
<b>Figura 12.</b> Materia prima (Manzana), húmeda (A) y seca (B). ....	41
<b>Figura 13.</b> Materia prima (Tomate), húmeda (A) y seca (B).....	42
<b>Figura 14.</b> Materia prima (Naranja), húmeda (A) y seca (B).....	44
<b>Figura 15.</b> Pectina extraída (Limón), húmeda (A) y seca (B). ....	48
<b>Figura 16.</b> Pectina extraída (Maracuyá), húmeda (A) y seca (B). ....	50
<b>Figura 17.</b> Pectina extraída (Manzana), húmeda (A) y seca (B). ....	52
<b>Figura 18.</b> Pectina extraída (Tomate), húmeda (A) y seca (B). ....	54
<b>Figura 19.</b> Pectina extraída (Naranja), húmeda (A) y seca (B).....	56

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Contenido péctico de algunas frutas.....	29
<b>Tabla 2.</b> Palabras llave empleadas en la búsqueda.....	34
<b>Tabla 3.</b> Referencias seleccionadas para la metodología experimental. ....	34
<b>Tabla 4.</b> Contenidos de humedad, cenizas y volátiles teórico de las distintas frutas.	46
<b>Tabla 5.</b> Rendimiento de la extracción de las pectinas obtenidas del limón.....	48
<b>Tabla 6.</b> Rendimiento de la extracción de las pectinas obtenidas del maracuyá. ....	50
<b>Tabla 7.</b> Rendimiento de la extracción de las pectinas obtenidas de la manzana. ....	52
<b>Tabla 8.</b> Rendimiento de la extracción de las pectinas obtenidas del tomate. ....	54
<b>Tabla 9.</b> Rendimiento de la extracción de las pectinas obtenidas del tomate. ....	56
<b>Tabla 10.</b> Rendimiento y aspecto de las pectinas extraídas a partir distintas materias primas.....	58

## INDICE

<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>19</b>
3.1 FRUTAS.....	19
<b>3.1.1 Características generales de las frutas</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1.2 Procesamiento industrial de frutas</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1.3 Limón</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1.4 Maracuyá</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1.5 Manzana</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1.6 Tomate</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1.6 Naranja</b> .....	<b>25</b>
3.2 PECTINA .....	26
<b>3.2.1 Estructura de la pectina</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2.2 Grado de esterificación</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2.3 Fuentes de obtención de la pectina</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2.4 Aplicaciones de la pectina</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.5 Proceso de producción de la pectina</b> .....	<b>31</b>
<b>4 MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
4.1 SELECCIÓN DE REFERENCIAS.....	34
4.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PECTINA ....	35
4.3 PROCEDENCIAS DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	36
4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	36
4.5 LIMÓN .....	38
<b>4.5.1 Preparación de la muestra</b> .....	<b>38</b>
<b>4.5.2 Extracción</b> .....	<b>38</b>
<b>4.5.3 Precipitación y purificación</b> .....	<b>39</b>
4.6 MARACUYÁ .....	39
<b>4.6.1 Preparación de la muestra</b> .....	<b>39</b>
<b>4.6.2 Extracción</b> .....	<b>40</b>

<b>4.6.3 Precipitación y purificación</b> .....	40
4.7 MANZANA .....	41
<b>4.7.1 Preparación de la muestra</b> .....	41
<b>4.7.2 Extracción</b> .....	41
<b>4.7.3 Precipitación y purificación</b> .....	41
4.8 TOMATE .....	42
<b>4.8.1 Preparación de la muestra</b> .....	42
<b>4.8.2 Extracción</b> .....	42
<b>4.8.3 Precipitación y purificación</b> .....	43
4.9 NARANJA .....	43
<b>4.9.1 Preparación de la muestra</b> .....	43
<b>4.9.2 Extracción</b> .....	44
<b>4.9.3 Precipitación y purificación</b> .....	44
4.10 CÁLCULO DE RENDIMIENTO .....	44
<b>5 RESULTADOS Y DISCUCIONES</b> .....	<b>46</b>
5.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS .....	46
5.2 LIMÓN .....	48
<b>5.2.1 Extracción de pectina</b> .....	48
<b>5.2.2 Rendimiento de la extracción</b> .....	48
5.3 MARACUYÁ .....	49
<b>5.3.1 Extracción de pectina</b> .....	49
<b>5.3.2 Rendimiento de la extracción</b> .....	50
5.4 MANZANA .....	51
<b>5.4.1 Extracción de pectina</b> .....	51
<b>5.4.2 Rendimiento de la extracción</b> .....	52
5.5 TOMATE .....	53
<b>5.5.1 Extracción de pectina</b> .....	53
<b>5.5.2 Rendimiento de la extracción</b> .....	54
5.6 NARANJA .....	56
<b>5.6.1 Extracción de pectina</b> .....	56
<b>5.6.2 Rendimiento de la extracción</b> .....	56
5.6 COMPARACIÓN ENTRE LAS DISTINTAS FRUTAS.....	57
<b>6 CONSIDERACIONES FINALES</b> .....	<b>60</b>
6.1 SUGERENCIAS PARA TRABAJOS FUTUROS .....	61

**REFERENCIAS ..... 62**

## 1 INTRODUCCIÓN

Mundialmente, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que a lo largo de la cadena alimentaria 1,3 billones de toneladas de alimentos terminan siendo desperdiciados anualmente. Las estadísticas indican que América Latina y el Caribe desperdician alrededor del 15% de sus alimentos disponibles cada año, siendo que millones de personas en la región pasan hambre diariamente. La industria es responsable por procesar cerca del 30% de la cosecha de frutas y verduras, por lo cual debe enfrentar la problemática que representa gestionar una importante cantidad de desperdicios (FAO, 2014).

Unidades procesadoras de jugo generan cantidades significativas de un subproducto sólido denominado bagazo u orujo, el cual se halla constituido principalmente por cáscaras, pulpa, semillas y tallos remanentes del procesamiento. Este material, en la mayoría de los casos se destina para alimentación animal o elaboración de abono (STRATI Y OREOPOULOU, 2011). Sin embargo, diversos estudios han verificado la presencia de compuestos de interés económico como tales como vitaminas, carotenoides, flavonoides y polisacáridos. Dichos compuestos pueden llegar a ser separados por medio de técnicas como la extracción (MARIĆ *et al.*, 2018). Es así que la valorización de residuos surge como alternativa para la obtención de productos con mayor valor agregado, generando beneficios económicos y ambientales.

Las pectinas constituyen una familia de polisacáridos solubles en agua capaces de formar geles en condiciones específicas. Dichas sustancias están conformadas por unidades repetitivas de ácido D-galacturónico y se localizan en la pared primaria y la laminilla media de las células vegetales, proporcionando sostén a los tejidos (FERREIRA, 2007). En la industria las pectinas son apreciadas por sus propiedades gelificantes, estabilizantes, emulsificantes y espesantes; son obtenidas a partir de cáscaras de naranja y bagazo de manzana por medio de la extracción en presencia de ácidos sobre calentamiento, seguida de la purificación del extracto y la separación de la pectina por precipitación. Las condiciones varían según la materia prima; por lo general, las temperaturas se encuentran entre 50-90 °C, mientras que los tiempos van desde 30 minutos hasta 24 horas y el pH ronda en un intervalo de 1,5 a 3,0 (ROLIN y DE VIRES, 1993).

De acuerdo a registros, la primera producción de pectina comercial data del año 1908 en Alemania. Poco después, en Estados Unidos, Douglas Pectin Corporation obtuvo la primera patente (US Pat. 1.082,682, 1913) (CANTERI; GILVAN; SCHEER, 2012).

En la actualidad los principales países productores de pectina son México, Brasil, China, Dinamarca e Italia, siendo que algunas compañías destacadas en este rubro son: Cargill, Cítrico, CPKelco, Danisco, Degussa, Herbestreith & Fox, Obipectin y Pektowin Jaslo (Pectin Producers, 2022).

Considerando la relevancia que ha ganado el aprovechamiento de subproductos oriundos de la industria alimentaria en el escenario regional actual para la separación de compuestos de interés, como es el caso de las pectinas, en el presente Trabajo Final de Grado se aborda una revisión de estudios acerca de la extracción de pectinas vía hidrólisis ácida, partiendo de desechos de cinco frutas distintas, además de una metodología experimental que buscó reproducir los parámetros de operación de las referencias en su punto óptimo de rendimiento.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar y validar el proceso de extracción de pectina partiendo de diferentes materias primas por medio del rendimiento y el aspecto de los materiales extraídos, empleando distintos ácidos para disminuir el pH del medio acuoso de la operación.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar una revisión bibliográfica sobre la extracción de pectina a nivel industrial;
- Realizar un levantamiento de los principales estudios relacionados al área y escoger cinco frutas como materias primas para el proceso de extracción;
- Evaluar y seleccionar un trabajo de investigación como referencia para cada fruta, de manera a reproducir el mejor punto de la metodología de dichos trabajos;
- Realizar una caracterización de las materias primas por analizando el contenido de humedad/volátiles y el tenor de cenizas;
- Obtener pectina de las diferentes materias primas, empleando un medio acuoso ácido como agente extractor;
- Determinar el rendimiento de las pectinas extraídas, de forma a poder efectuar comparaciones con la literatura;
- Comparar los procesos de extracción ácida trabajados experimentalmente en base al rendimiento y la coloración de los productos.

### 3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 3.1 FRUTAS

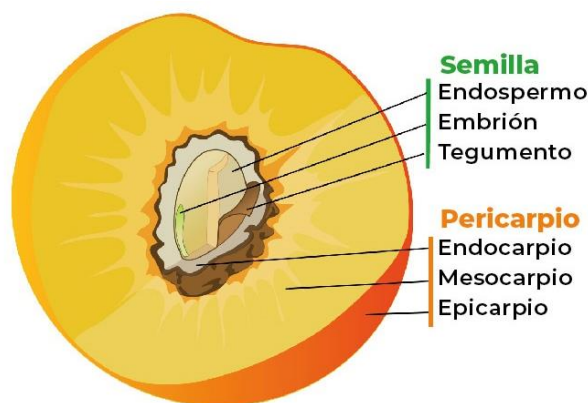
##### 3.1.1 Características generales de las frutas

Desde el punto de vista de la botánica, una fruta comprende la parte comestible de un fruto, que a su vez representa el ovario fecundado que envuelve a la(s) semilla(s) con fines de protección y diseminación (BRITANNICA, 2022). Popularmente, el término fruta se limita a los ovarios maduros que son dulces, succulentos o pulposos.

Morfológicamente, se denomina pericarpio a la pared del ovario que sufre una serie de transformaciones y consta de las siguientes partes, distinguidas en la Figura 1 (INVERNÓN *et al.*, 2012):

- a) Epicarpio/exocarpio: región más externa y usualmente membranosa de los frutos. Puede ser lisa (*ej.* tomate), glandulosa (*ej.* naranja) o aterciopelada (*ej.* durazno);
- b) Mesocarpio: parte media de consistencia diversa. Se trata de la pulpa en los frutos carnosos (*ej.* manzana), mientras que en los frutos secos (*ej.* nuez) es prácticamente inexistente;
- c) Endocarpio: pared más interna de capas de células que rodean directamente a las semillas. Su textura puede ser jugosa (*ej.* limón), blanda (*ej.* arándano), leñosa (*ej.* ciruela) o coriáceo (*ej.* pera).

**Figura 1.** Morfología del durazno.



Fuente: Agrokrebs, 2022.

Son dos fracciones las que componen a las frutas: agua y materia seca. De acuerdo al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2018), el agua constituye el componente mayoritario (80-95%) y actúa como nutriente esencial que permite el desarrollo de diversos procesos bioquímicos.

Por su parte, la materia seca está químicamente constituida por un variado grupo de compuestos orgánicos e inorgánicos. La literatura cita valores de fibra alimentaria, tanto insoluble (principalmente celulosa) como soluble (principalmente pectina), entre 5-15%. El tenor de azúcares totales (carbohidratos disponibles) tiende a aumentar con la maduración y suele encontrarse entre 1-8%. Por otro lado, el contenido de proteínas y lípidos en las frutas es bajo, variando entre 1-4% y 0,5-0,6%, respectivamente (IICA, 2018).

Finalmente, cabe destacar la presencia de micronutrientes, es decir, vitaminas y minerales, como también de compuestos fotoquímicos, como terpenos (ej.: carotenoides) y fenólicos (ej.: flavonoides), siendo que los mecanismos de acción de este último grupo han venido siendo ampliamente estudiados debido a sus efectos beneficiosos para la salud (MARTÍNEZ; CAMACHO y MARTÍNEZ, 2008).

### 3.1.2 Procesamiento industrial de frutas

El procesamiento de alimentos busca hacerlos más comercializables y atractivos a potenciales consumidores, generalmente extendiendo el *shelf-life*. Particularmente, las frutas pueden pasar por numerosos tipos de procesamiento hasta convertirse en productos como conservas, fruta enlatada, jugos, etc. Vale mencionar que higienizar, secar y envasar frutas no se consideran una transformación, debido a que la materia prima continúa íntegra, no obstante, operaciones como fermentación, pasteurización o deshidratación modifican a las frutas *in natura* irreversiblemente (PMG ENGINEERING, 2021). No obstante, a lo largo de las operaciones de una línea de producción, varios subproductos son generados. En el caso de las fábricas de jugos, gran parte del bagazo generado es destinado a la elaboración de balanceados y abono. Sin embargo, es bien sabido que las frutas son ricas en aceites esenciales, pigmentos, polisacáridos y poli fenoles. Dichos compuestos pueden llegar a ser separados por medio de técnicas como la extracción (MARIĆ *et al.*, 2018). Es así que la valorización de residuos surge como alternativa para la obtención de productos con mayor valor agregado, generando beneficios económicos y ambientales.

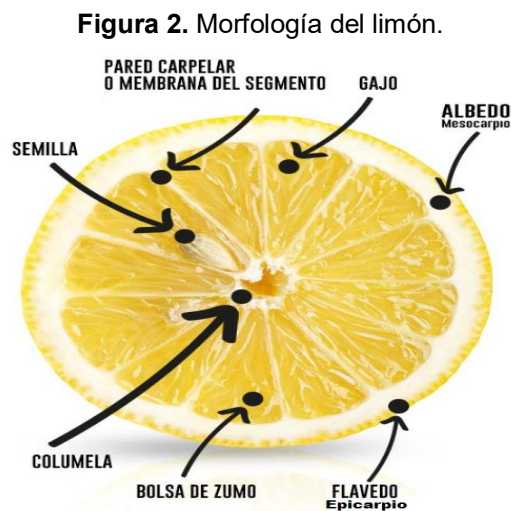
### 3.1.3 Limón

Los cítricos son una de las frutas más consumidas y en particular el limón es uno de los predilectos, ya que es cultivado en todo el mundo. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021), la producción mundial de limón alcanzó 20.529 millones de toneladas durante el 2019, posicionándose Brasil en el quinto lugar como mayor productor del mismo, con 1,5 millones

de toneladas de producción.

El limón es una fruta de sabor ácido, perteneciente a la familia botánica Rutaceae y al género citrus; dentro de sus variedades más comúnmente comercializadas en el Brasil se encuentran el limón tahití y el gallego. El limón tahití (*Citrus latifolia*) también conocida como lima persa, es un fruto que crece en climas tropicales, originaria del sur de Irak e Irán, con un peso promedio de 80 g, diámetro de entre 5,0 y 7,0 cm, de cáscara rugosa y color verde que va cambiando a amarillo a medida que se acerca a su madurez fisiológica, tiene una forma ovalada y se caracteriza por la ausencia de semillas en su interior. Son ricos en componentes como flavonoides, aceites esenciales, pectina, minerales, ácido ascórbico, cítrico y cafeico.

El limón se divide principalmente en tres zonas, que forman en conjunto el pericarpio: epicarpio, mesocarpio y endocarpio (DANOVICH, 2019). A continuación, es representada su morfología por la Figura 2:



Fuente: The lemon age, 2022.

La parte más externa es el epicarpio o flavedo, formado por una epidermis o cera natural con pequeñas vesículas ricas en flavonoides, en pigmentos como clorofila, carotenos y xantofilas, así como también en aceites esenciales, utilizados usualmente en colonias y perfumes aromáticos. Estas glándulas constituyen una eficaz barrera contra los ataques de los insectos y los microorganismos.

La siguiente capa es el mesocarpio o albedo, su característica es esponjosa y blanca, su espesor varía según la variedad y la madurez del fruto, está compuesta mayormente de agua y azúcares, siendo la fuente más importante de pectinas y glúcidos.

Finalmente, encontramos el endocarpio o pulpa, donde se almacenan las

bolsas de jugo (65% y 70% del peso del limón) y esporádicamente algunas semillas. Es de color amarillo pálido y generalmente está dividida en gajos que esconden células alargadas en las que acumulan agua, glúcidos y ácido cítrico (Técnico Agrícola, 2011).

El limón es usado principalmente por la producción de jugos, siendo 45% del fruto descartado, constituyendo así las partes mencionadas anteriormente (VILA BOAS, 2001). Para el aprovechamiento del mismo y reducción de impactos ambientales, este residuo constituye un gran potencial como materia-prima de óptima calidad usándose en industrias farmacéuticas, alimenticias y ración de animales. Así, llegan a surgir diversos subproductos, como: pectinas, ácido cítrico, ácido láctico, mermelada de cítricos, aceites esenciales, flavonoides, carotenoides, productos enturbiantes para su utilización en bebidas refrescantes y alimento para ganado (FERNÁNDEZ, 2015).

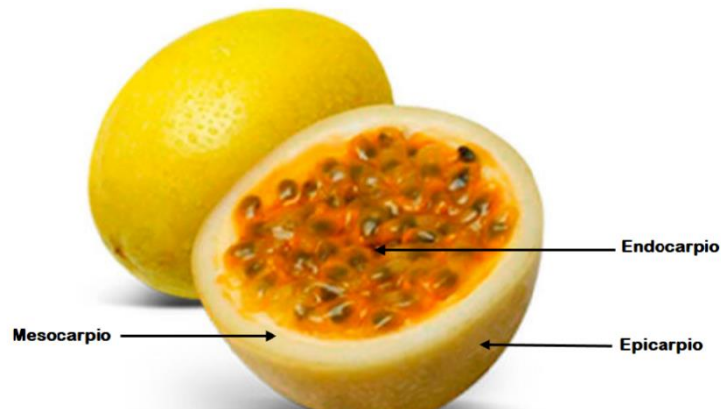
#### **3.1.4 Maracuyá**

El maracuyá es una fruta ácida del género *Passiflora*, perteneciente a la familia *Passifloraceae*, el cual posee cerca de 525 especies tropicales y subtropicales (CERVI e IMIG, 2013). La clase más cultivada en Brasil y en el mundo es el maracuyá amarilla o *Passiflora edulis flavicarpa*, siendo producida alrededor de 690.364 toneladas del mismo durante el 2020 en todo el Brasil según datos de la IBGE (LIM, 2012).

El maracuyá es de carácter ovalado con aproximadamente 80 g de peso, revestida por una cáscara gruesa, cerosa y de color amarillo intenso (epicarpio), con una capa en medio de la fruta de carácter blanquecino, esponjoso y poroso (mesocarpio), contando en su interior una pulpa que envuelve numerosas semillas de aspecto negro, suspendidas en un fluido gelatinoso de color amarillo-naranja (endocarpio) (SAAVEDRA, 2015).

A continuación, la representación de las partes del mismo, según la Figura 3:

**Figura 3.** Morfología del maracuyá.



Fuente: Escobedo, 2013.

Según Ferrari, Colussi y Ayub (2004), el maracuyá *in natura* está compuesto por 50,3% de cascara, 23,2% de jugo y 26,2% de semillas y es rica en minerales como el calcio, el hierro y el fósforo, vitaminas A, B, C, carbohidratos como la pectina, proteínas y grasas. El jugo es el principal producto obtenido del maracuyá en la industria, sin embargo, resulta en grandes cantidades de residuos, ya que cerca del 60-70% del peso total de la fruta está representado por la cáscara y las semillas (LIMA, 1999). Estos residuos pueden ser aprovechados industrialmente, teniendo en cuenta el alto contenido de pectina de la cáscara y de aceite en las semillas. Las semillas de maracuyá son de interés farmacológico e interés nutricional por ser ricas en ácidos grasos poliinsaturados como  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 y las cáscaras son de interés en el sector alimenticio debido a su alto contenido de pectina por ser un agente gelificante (CHARCHALAC, 2008, ZERAIK y YARIWAKE, 2010).

### 3.1.5 Manzana

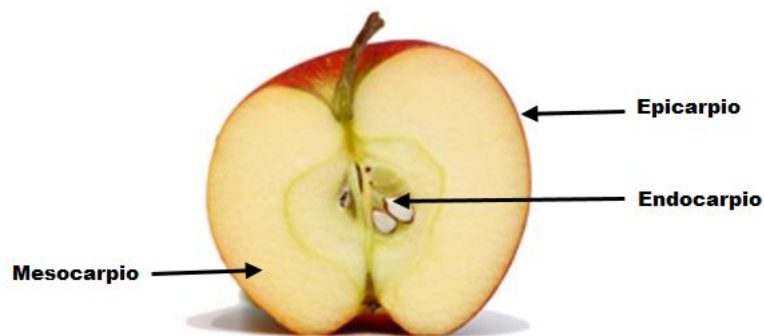
La manzana es una fruta pomácea del tipo *malus* doméstica, redonda y dulce dependiendo de su variedad. Este es un importante cultivo frutícola, presentando actualmente a Brasil, como uno de los diez mayores productores de manzanas del mundo, con una producción de 1,276 millones de toneladas, de acuerdo a la cosecha 2020/2021, según la Asociación Brasileña de productores de manzana (ABPM, 2021). Dentro de las diversas especies de la fruta, las clases más conocidas a nivel nacional son la Gala, Fuji, Granny Smith, Golden Delicious y Red Delicious, mientras que las más cultivadas son la Fuji (43%), Gala (46%) y Golden delicious (6%); todas las demás variedades representan no más del 3% de la producción total (WOSIACKI *et al.*, 2000).

Las pomáceas pesan alrededor de 150 g, comprendiendo el 94,5% de cáscaras y pulpa, el 4,4% de semillas y 1% de la parte central. En base fresca contiene 80% de humedad, 14% de sólidos solubles (glucosa, fructosa y sacarosa, ácidos

orgánicos), y 11,6 a 44,5% de fibras, fracción compuesta de 12 a 23,2% celulosa, 6,4 a 19% lignina, 3,5 a 18% de pectina y del 5 al 6,2% de hemicelulosas (KENNEDY *et al.*, 1999).

Cuenta con tres partes principales, el epicarpio que constituye la parte exterior o piel de la manzana, recubierta por una cutícula cerosa de células colenquimatosas que son generalmente de aspecto rojizo, esta parte tiene componentes herbáceos como aldehídos y hexenales; el mesocarpio que es la parte carnosa y representa el 95% del peso de la fruta, está formado por células poliédricas, regulares y de paredes blandas, por otro lado, en este sector se encuentra azúcares, ácidos, polifenoles, pectina, sustancias nitrogenadas, almidón y proteínas; el endocarpio o corazón que es el centro de la fruta, compuesto por una capa delgada y dura de color marrón que rodea las semillas, es rica en aceites esenciales y sustancias amargas. A continuación, la representación de las partes del mismo, según la Figura 4:

**Figura 4.** Morfología de la manzana.



Fuente: Técnico Agrícola, 2022.

La fruta no destinada al consumo *in natura* es procesada con fines industriales, siendo el principal producto elaborado, jugo concentrado y, en menor medida, la sidra, el vinagre, los destilados y las conservas. El procesamiento de estas frutas también conduce a la producción de orujo, que puede representar del 20 al 40% de la cantidad total de manzanas procesadas, conteniendo un alto contenido de compuestos fermentables, lo que puede generar un fuerte impacto ambiental. Sin embargo, demuestra ser excelente para fines biotecnológicos, que comprende la producción de etanol, aromas, gas natural, ácido cítrico, pectinas, enzimas y hongos, además de otros procesos como la extracción de fibra y carbón vegetal (PAGANINI *et al.*, 2005).

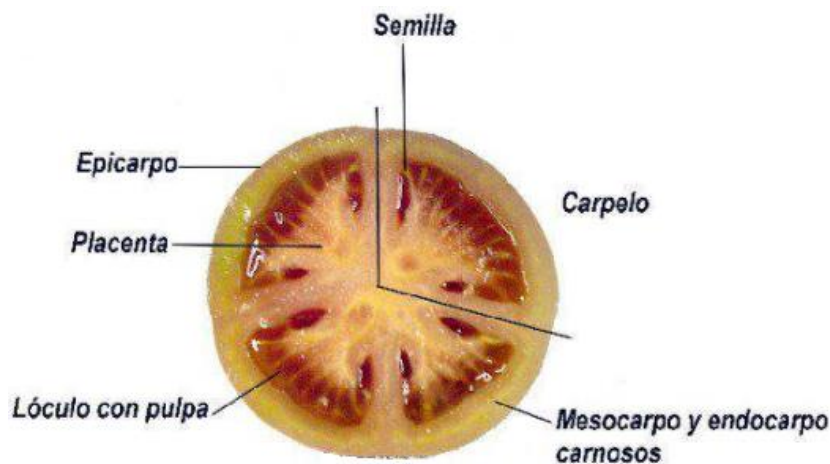
### 3.1.6 Tomate

El tomate o tomate perita es una planta de nombre científico *Solanum lycopersicum*, ampliamente consumido en el mundo de forma cruda y procesada, de aspecto alargado y oblongo; pesando alrededor de 100 g, en su interior es carnoso, suave,

de piel fina y con pocas semillas (MAINA, 2020). Según FAO (2020), la producción mundial total de tomate fue de 186,8 millones toneladas en 2020, siendo mundialmente una de las principales verduras usadas por las grandes marcas de la industria alimentaria.

Se estima que al menos una cuarta parte de la producción es industrializada, creando productos como jugo de tomate, pasta, puré, ketchup y salsa para uso humano, originando así enormes volúmenes de desechos; entre 10 al 40% del total procesado corresponde a pieles y semillas, de los cuales son 27 % de cáscara, un 33 % de semillas y, además, un 40 % de orujo (KAUR *et al.*, 2008). Estos son destinados en su mayoría a la elaboración de balanceados y abono (STRATI y OREOPOULOU, 2011). A continuación, es representada la morfología del tomate, por la Figura 5:

**Figura 5.** Morfología del tomate.



Fuente: Entre fogones, 2022.

Sin embargo, en los últimos años, los subproductos del tomate han sido considerados como una materia prima de bajo costo, lo que ha despertado el interés tanto por parte de la industria alimentaria como de los investigadores, ya que en sus partes principales como epicarpio, mesocarpio y tejidos de gel locular; este contiene gran cantidad de compuestos valiosos como vitaminas, carotenoides, aceites esenciales y pectina (WESTPHAL *et al.*, 2014).

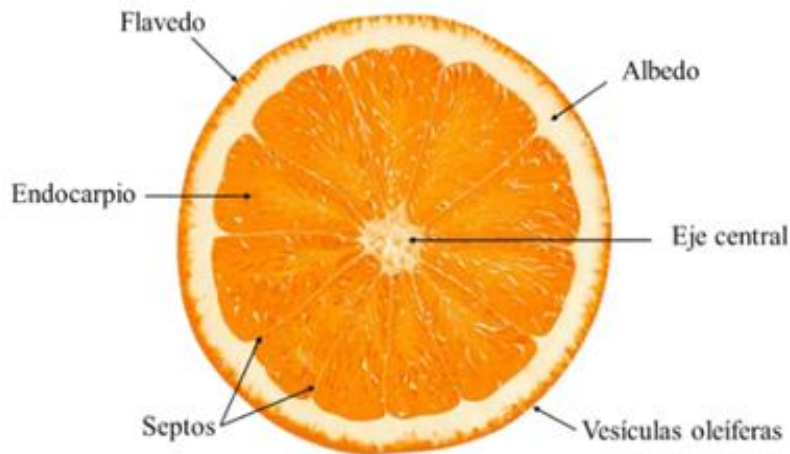
### 3.1.6 Naranja

La naranja, de nombre científico *Citrus sinensis*, es una de las frutas cítricas más populares y saludables del mundo. Brasil se destaca como el mayor productor a nivel mundial en 2019, con 17.073.573 toneladas de producción, según las estadísticas de la FAO (2021). El extracto de naranja es el jugo a base de frutas más consumida en el mundo, siendo el 50% de la producción mundial hecha por Brasil, consecuentemente es exportado el 98% de lo que se produce en el país (NEVES *et al.*, 2010). En la industria juguera,

muchos de los residuos, como cáscaras, semillas y pulpa, son generados, lo que puede causar diversos problemas ambientales, como la contaminación del agua y el suelo (FARHAT *et al.*, 2011).

Durante el procesamiento de una naranja, se considera que alrededor de 40 a 60% de su peso es residuo (LICANDRO y ODIO, 2002). Por otro lado, cada una de las partes de la naranja posee ciertas características que hacen posible su uso, en la parte externa se encuentra el exocarpio que es un cascara gruesa de color naranja; este es rico principalmente en aceites esenciales y pigmentos, el cual posee gran importancia en la industria alimenticia y farmacéutica, en el albedo que es la capa blanca esponjosa se halla gran cantidad de pectina, fibra y carbono, finalmente el endocarpio que es formado por la placenta, semillas y pulpa con tricomas de jugo; posee vitamina E (SOTO, 2009). Se puede apreciar cada una de sus partes en la Figura 6, encontrada a seguir:

**Figura 6.** Morfología de la naranja.



Fuente: Serrano, 2021.

El residuo de cáscara de naranja aún tiene oportunidades de aprovechamiento, posibilitando así la obtención de nuevos productos de valor comercial (REZZADORI; BENEDETTI y AMANTE, 2012). Estos pueden ser usados como antioxidantes, estabilizantes, emulsionantes, colorantes, prebióticos, alimento para animales y en la formulación de nuevos alimentos.

Como fue expuesto, cada una de las frutas mencionadas anteriormente poseen pectina en su estructura, sustancia que será descrita con mayor detalle a continuación.

### 3.2 PECTINA

Las sustancias pécticas comprenden un grupo de polisacáridos complejos

localizados en la pared primaria y la laminilla media de las células vegetales. Tienen como función proporcionar sostén, actuando de cemento intercelular hasta que una maduración excesiva de la matriz sea capaz de generar descomposición molecular debido a enzimas que acortan las cadenas de estos biopolímeros (FERREIRA, 2007).

En 1825 Henri Braconnot, un químico francés, logró aislar pectina por primera vez, describiéndola como “el principal agente gelificante en frutas”, por lo que decidió nombrarla inspirándose en la palabra griega *pektos*, que significa “coagulado” (CHASQUIBOL; ARROYO; MORALES, 2008).

La terminología que reúne las definiciones más utilizadas por la academia es la desarrollada por el *Committee for the Revision of the Nomenclature of Pectic Substances* en 1944, donde constan (ROLIN y DE VRIES, 1993):

a) Protopectina: sustancia péctica insoluble en agua presente en tejidos vegetales aún no maduros. Puede transformarse en pectina o ácidos pectínicos al sufrir una hidrólisis;

b) Ácidos pécticos: ácidos poligalacturónicos sin, o con un contenido negligible de grupos carboxilos esterificados (metoxilos);

c) Ácidos pectínicos: ácidos poligalacturónicos solubles en agua parcialmente esterificados, pero no de manera significativa;

d) Pectinas: sustancias solubles en agua con tenor variable de grupos carboxilos esterificados capaces de formar geles en condiciones apropiadas.

### 3.2.1 Estructura de la pectina

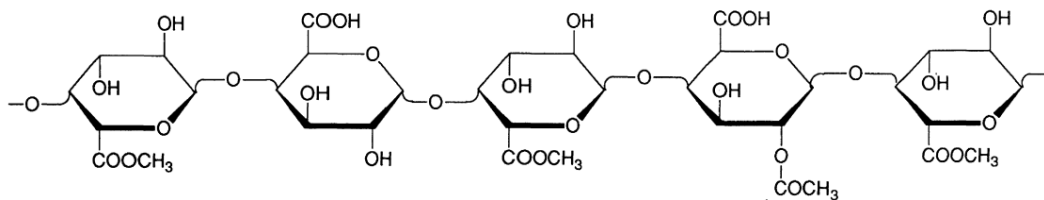
La pectina, como otros polisacáridos heterogéneos complejos de origen vegetal es polidispersa y polimolecular, asimismo, su composición varía bastante dependiendo de la fuente y las condiciones de proceso durante la separación. Es usual que al realizar muestreos, parámetros como el peso molecular y la estructura química difieran de molécula a molécula (ROLIN y DE VRIES, 1993).

Sundar Raj *et al.* (2012) afirman que las pectinas contienen desde unas pocas cientos hasta cerca de 1000 sacáridos constituyentes en una misma cadena, haciendo con que el peso molecular varíe entre 50.000-150.000 daltons (Da). Igualmente, Narasimman y Sethuraman (2016) resaltan que dicho parámetro es clave para la formación de geles, debido a que, a mayor longitud de cadena, mayor es el número de posibles interacciones débiles que formen enlaces cruzados estables, lo que implicaría en redes de geles más fuertes. No obstante, los autores comentan que las propias condiciones de

procesamiento tienden a limitar el peso molecular del producto final a causa de una despolimerización.

Ferreira (2007) señala que, la unidad repetitiva de este polímero es el ácido D-galacturónico, la forma oxidada de la D-galactosa, que forma segmentos lineales por medio de enlaces  $\alpha$  (1-4) con algunos grupos carboxilo esterificados con metanol y, dependiendo de la fuente, es probable, o no, que hallen ésteres metílicos, como es el caso de la Figura 7:

**Figura 7.** Sección de una molécula de pectina.



Fuente: Rolin y De Vries, 1993.

Además, el autor menciona que unidades de L-ramnosa pueden inserirse a la cadena principal por medio de enlaces  $\alpha$  (1-2), así como también azúcares neutros (galactosa, arabinosa, glucosa y xilosa) en forma de cadenas laterales; cuya presencia se cree que es responsable por irregularidades que limitan el tamaño de las cadenas (NARASIMMAN y SETHURAMAN, 2016).

### 3.2.2 Grado de esterificación

Según la literatura, el grado de esterificación (GE) es cuantificado de acuerdo al porcentaje de carboxilos esterificados con metanol. En el caso en que  $GE > 50\%$ , se considera una pectina de alto grado o alto metoxilo (HM), mientras que si  $GE < 50\%$ , se trata a una pectina de bajo grado o bajo metoxilo (LM); usualmente los porcentajes varían entre 60-75% y 20-40%, respectivamente (SAVARY *et al.*, 2003; SUNDAR RAJ *et al.*, 2012). Gee *et al.* (1958) aseguran que pectinas con  $60\% < GE < 80\%$  son bastante solubles en agua, sin embargo, a medida que el GE tiende a 100% (protopectina), la solubilidad disminuye. Diversos autores pudieron concluir que parámetros como el tipo de fruta, el grado de maduración y las condiciones de extracción son determinantes para el GE.

En cuanto al mecanismo de gelificación, Sundar Raj *et al.* (2012) mencionan que el mismo varía según el GE. Por un lado, las pectinas de alto grado requieren de un contenido mínimo de azúcares y un medio ácido ( $pH \approx 3$ ) para favorecer interacciones hidrofóbicas y enlaces de hidrógeno entre las moléculas de pectina (WALTER, 1991). Por su parte, las pectinas de bajo grado forman geles independientes del contenido

de azúcares en un amplio rango de pH, pero sí requieren la presencia de calcio u otros cationes divalentes (MAY, 1989).

### 3.2.3 Fuentes de obtención de la pectina

Pese a que las pectinas se encuentren en innúmeras plantas dentro de la naturaleza, la cantidad de fuentes que tienen potencial de ser explotadas comercialmente es muy reducida a causa de que la habilidad que poseen las pectinas de formar geles depende principalmente del peso molecular y GE, parámetros que varían significativamente según la matriz (THAKUR *et al.*, 1997). Por lo que además de buenos rendimientos, el material extraído debe necesariamente cumplir con determinados estándares de calidad para resultar atractivo económicamente.

Según Rolin y De Vries (1993) a nivel industrial, las principales materias primas empleadas como fuente de obtención de pectina se limitan a cáscaras de cítricos y bagazo de manzana, ambos subproductos de la industria de jugos. Las cáscaras de cítricos contienen entre 20-30% de pectina en base seca, mientras que el bagazo de manzana entre 10-15%. El autor resalta que, si bien las pectinas cítricas presentan una coloración bastante más clara que las extraídas de manzanas, ambas resultan prácticamente equivalentes desde un punto de vista aplicado, debido a que en cuanto a otras características son bastante similares.

Durante la Segunda Guerra Mundial se empezó a comercializar la pectina proveniente del bagazo de la remolacha azucarera en países como Inglaterra, Alemania, Suecia y Rusia (MAY, 1989). Aunque Leroux *et al.* (2002) constataron un mejor desempeño de esta sustancia como emulsificante por su alto contenido proteico, es sabido que el poder de gelificación es empobrecido debido a características como su bajo peso molecular y un mayor grado de acetilación (PACHECO *et al.*, 2019).

Con el objeto de analizar la calidad, para así evaluar el potencial de pectinas extraídas a partir de fuentes alternativas, la academia ha venido estudiando una extensa lista de materias primas, de modo que algunos ejemplos figuran en la Tabla 1, a continuación (THAKUR *et al.*, 1997):

**Tabla 1.** Contenido péctico de algunas frutas.

Fruta	% Sustancias Pécticas (base húmeda)	Referencia
-------	-------------------------------------	------------

---

Bagazo de manzana ( <i>Malus spp.</i> )	1,5-2,5	Renard e Thibault (1993)
Banana ( <i>Musa acuminata L.</i> )	0,7-1,2	Karr (1976)
Pulpa de remolacha ( <i>Beta vulgaris</i> )	1,0	Renard e Thibault (1993)
Carambola ( <i>Averrhoa carambola</i> )	0,66	Hodgson e Kerr (1991)
Zanahoria ( <i>Daucus carota</i> )	0,2-0,5	Renard e Thibault (1993)
Guayaba ( <i>Psidium guajava L.</i> )	0,77-0,99	Hodgson e Kerr (1991)
Limón ( <i>Citrus limon</i> )	2,5-4,0	Renard e Thibault (1993)
Mango ( <i>Mangifera indica L.</i> )	0,26-0,42	Hodgson e Kerr (1991)
Cáscara de naranja ( <i>C. sinensis</i> )	3,5-5,5	Renard e Thibault (1993)
Mamón ( <i>Carcia papaya</i> )	0,66-1,0	Hodgson e Kerr (1991)
Maracuyá ( <i>Passiflora edulis S.</i> )	0,5	Hodgson e Kerr (1991)
Durazno ( <i>Prunus persica</i> )	0,1-0,9	Karr (1976)
Piña ( <i>Ananas comosus L.</i> )	0,04-0,13	Hodgson e Kerr (1991)
Frutilla s ( <i>Fragaria ananassa</i> )	0,6-0,7	Hodgson e Kerr (1991)
Tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )	0,2-0,6	Karr (1976)

---

Fuente: Adaptado de Thakur, Singh y Handa, 1997.

### 3.2.4 Aplicaciones de la pectina

Con un consumo diario de 500 gramos de frutas y vegetales, se estima que

una persona ingiere un promedio de 5 gramos. Al ser fibras solubles, estas sustancias no pueden ser consideradas estrictamente como nutrientes, no obstante, se ha comprobado que son capaces de generar efectos positivos en el organismo al ser incluidos en la dieta (SRIVASTAVA y MALVIYA, 2011). Una vez ingresada al intestino grueso, la pectina comienza a incrementar la viscosidad del tracto intestinal, reduciendo así la absorción de colesterol; la microbiota se encarga de degradar las moléculas de pectina, liberando ácidos grasos de cadena corta caracterizados por tener un efecto prebiótico (KRISHNAMURTI y GIRI, 1948). Asimismo, autores como Schultz *et al.* (2000) han reportado que las sustancias pécticas también estimulan el crecimiento epitelial en el colon, actuando como antidiarreicos efectivos.

Como ya fue comentado en el ítem 3.2.2., es posible clasificar a las pectinas según su GE, en alto o bajo metoxilo. Ambas poseen propiedades fisicoquímicas diferentes y por ende, aplicaciones distintas. En la industria alimentaria, las de alto metoxilo suelen ser empleadas como gelificantes, estabilizantes, emulsificantes y espesantes, en productos como *gummies*, mermeladas, enlatados y bebidas; las de bajo metoxilo pueden ser utilizadas como sustitutos de grasa en untables, helados, glaseados termoreversibles y alimentos bajos en calorías o dietéticos (MARIĆ *et al.*, 2018). Los sectores farmacéutico y cosmético también utilizan pectinas en diversas aplicaciones, desde como agentes estabilizantes/espesantes para champús y lociones, hasta en la formulación de comprimidos de liberación controlada (SRIAMORNSAK, 2003).

### 3.2.5 Proceso de producción de la pectina

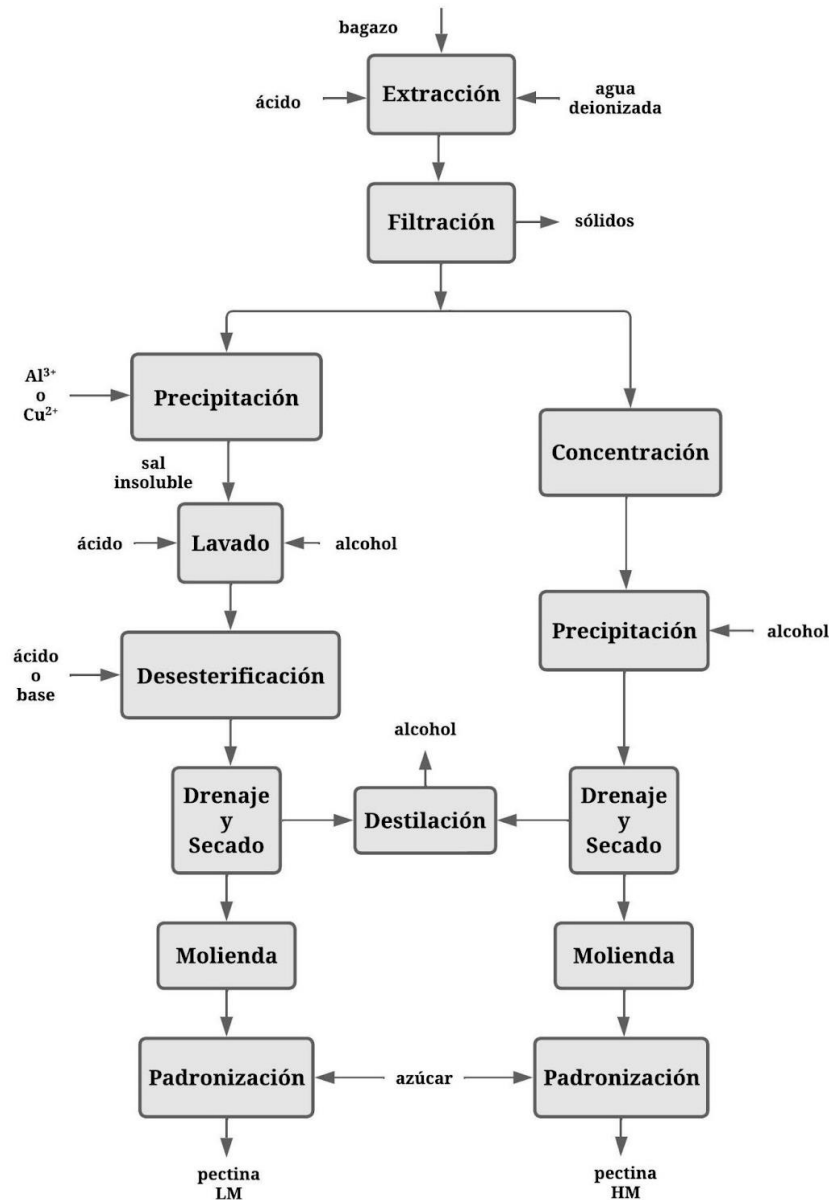
Si bien el proceso de extracción de pectina varía según la matriz utilizada, son tres las etapas principales: extracción en medio acuoso ácido, purificación del extracto y separación de la pectina por precipitación. Industrialmente, las materias primas son oriundas del procesamiento de frutas para la elaboración de jugos, sidra y conservas, etc.; las mismas pueden o no pasar por una etapa previa adecuación que vise la inactivación de enzimas pectolíticas (CANTERI; GILVAN y SCHEER, 2012).

El diagrama de flujo del proceso general de consta en la Figura 8, siendo que cualquiera de las dos rutas principales a continuación puede utilizarse para obtener tanto pectinas de alto, como de bajo metoxilo (ROLIN y DE VRIES, 1993):

- a) Aislar la pectina del resto de los otros compuestos solubles en agua vía precipitación alcohólica;
- b) Precipitar la pectina como una sal insoluble con iones de metales

multivalentes.

**Figura 8.** Diagrama de flujo de proceso general de extracción de pectina.



Fuente: Adaptado de Rolin y De Vries, 1993.

Rolin y De Vries (1993) afirman que las condiciones operacionales varían según la materia prima y el producto deseado. Los autores indican que las temperaturas oscilan entre 50-90 °C, mientras que los tiempos van desde 30 minutos hasta 24 horas y el pH usualmente ronda en un intervalo de 1,5 a 3,0. Varios estudios verificaron que largos tiempos, pH bajos y altas temperaturas tienden a maximizar los rendimientos, no obstante, la calidad de las pectinas podría verse comprometida.

Convencionalmente se utilizan ácidos minerales como el sulfúrico, el

sulfuroso, el clorhídrico o el nítrico, para disminuir el pH, sin embargo, la legislación de varios países ha prohibido su uso debido al impacto ambiental que generan, por lo que en los últimos años han ganado popularidad los ácidos orgánicos, como por ejemplo el cítrico, el láctico y el tartárico (SAKAI *et al.*, 1993).

La pectina extraída puede ser separada del bagazo por medio de prensas hidráulicas y/o centrifugación (SAKAI *et al.*, 1993). Seguidamente, caso se haga uso de alcohol para precipitación, el extracto es concentrado mediante evaporación por cuestiones de economía del isopropanol, aunque tanto metanol como etanol también estén permitidos (ROLIN y DE VRIES, 1993).

Por lo general,  $Al^{3+}$  es escogido para separar pectina del extracto en forma de sal insoluble. Otra alternativa podría ser la precipitación con  $Cu^{2+}$ . Luego, los iones pueden ser removidos por lavado con alcohol acidificado. Con el objeto de alcanzar el GE deseado para pectinas de bajo metoxilo, una desesterificación con alcohol en presencia de ácidos o bases es estrictamente necesaria; usualmente se utiliza amoníaco (ROLIN y DE VRIES, 1993).

En ambos casos se procede a drenar, secar y luego moler las pectinas extraídas. Debido al alto costo de los alcoholes, una opción es la recuperación por destilación, sin embargo, esto implicaría una gran demanda de energía para el proceso (ROLIN y DE VRIES, 1993).

Las condiciones de almacenamiento (humedad, temperatura, exposición a la luz) son capaces de afectar las propiedades del producto, por lo cual las pectinas comerciales acostumbran ser padronizadas con azúcares como sacarosa, glucosa o lactosa hasta alcanzar un grado de gelificación de 150° USA-SAG, de modo a asegurar el desempeño de las pectinas. Este proceso puede modificar la estructura química del producto, promoviendo la saponificación parcial de ésteres o la amidación de grupos ácidos (SAKAI *et al.*, 1993).

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 SELECCIÓN DE REFERENCIAS

Por medio de la utilización de palabras llave, que figuran en la Tabla 2, se llevó a cabo una extensa búsqueda en las plataformas: Google Académico, Portal de Periódicos Capes, SciELO y ScienceDirect. De manera a ampliar el alcance de la pesquisa fueron contemplados materiales tanto en lengua inglesa, como en española y portuguesa.

**Tabla 2.** Palabras llave empleadas en la búsqueda.

Español	Portugués	Inglés
"extracción"	"extração"	"extraction"
"hidrólisis ácida"	"hidrólise ácida"	"acid hydrolysis"
"pectina"	"pectina"	"pectin"
"bagazo", "orujo"	"bagaço", "resíduo"	"waste", "pomace"
"fruta"	"fruta"	"fruit"
"ácido"	"ácido"	"acid"
"rendimiento"	"rendimento"	"yield"

Fuente: Las autoras, 2022.

Luego de leer y analizar los distintos trabajos de investigación se procedió a seleccionar cinco trabajos, todos empleando una materia prima distinta como fuente de obtención de pectina, esto con el intuito de reproducir cada una de las metodologías en su punto óptimo basado en los rendimientos obtenidos por los autores.

Fueron escogidos los siguientes estudios, que constan en la Tabla 3, como principales referencias para la metodología experimental de este trabajo de investigación:

**Tabla 3.** Referencias seleccionadas para la metodología experimental.

Materia Prima	Autor(es)/Año	Título del Trabajo
Limón	LIMA, Luiz (2020)	Revisão Literaria da Extração da Pectina do <i>Citrus Lemon</i>
Maracuyá	ESCOBEDO, Gilberto (2013)	Valorización de la cáscara de maracuyá ( <i>Passiflora Edulis F. Flavicarpa Deg.</i> ) Como Sub Producto Para Obtener Pectina Usando Como Agente Hidrolizante Ácido Cítrico

Manzana	RAMOS, Heloisa (2006)	Estabelecimento de um Modelo de Extração Ácida de Pectina de Bagaço de Maçã
Tomate	ALANCAY, Matías, <i>et al.</i> (2017)	Extraction and Physicochemical Characterization of Pectin From Tomato Processing Waste
Naranja	ZANELLA, Karine (2013)	Extração da Pectina da Casca da Laranja-Pera ( <i>Citrus Sinensis L. Osbeck</i> ) Com Solução Diluída de Ácido Cítrico

---

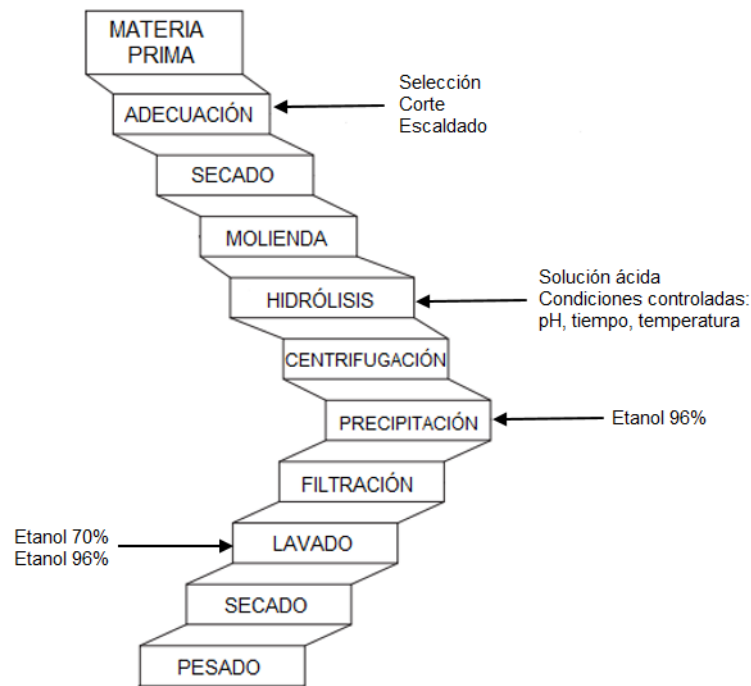
Fuente: Las autoras, 2022.

#### 4.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PECTINA

Luego de seleccionar las referencias a ser reproducidas, se pasó al método de extracción de pectina a escala de laboratorio. El procedimiento comenzó con la preparación de las muestras, donde cada materia prima fue seleccionada, lavada, cortada y escaldada. El siguiente paso consistió en el secado del material por medio de una estufa hasta que este quede a un peso constante, para luego ser molido y utilizado en la extracción. Esta etapa se realizó mediante hidrólisis ácida, a un cierto pH, temperatura y tiempo, dependiendo de cada fruta, a agitación constante. Una vez terminada, se pasó a la centrifugación, para la separación de residuos y de extracto clarificado (sobrenadante). El próximo paso implicó en la adición de etanol 96% al sobrenadante apartado, por goteo y agitación, la mezcla quedó en reposo por cierto tiempo hasta asegurar la separación de la pectina del etanol. Luego, la solución fue filtrada y lavada con etanol 70% y 96%, respectivamente. Finalmente, la pectina fue sometida al secado en una estufa y pesada en una balanza analítica para calcular el rendimiento extraído.

Este proceso es descrito en el diagrama de flujo conforme la Figura 9, el cual se muestra a continuación:

**Figura 9.** Diagrama de flujo de proceso de producción de pectina.



Fuente: Las autoras, 2022.

#### 4.3 PROCEDENCIAS DE LAS MATERIAS PRIMAS

Fueron adquiridos lotes de todas las frutas del Mercado de Abasto Municipal ubicado en Ciudad del Este, Paraguay, en el mes de abril del dos mil veintidós. De modo, a retrasar una maduración excesiva que pueda degradar la pectina, tanto el limón, como el maracuyá, la manzana, el tomate y la naranja se almacenaron en una heladera a una temperatura entre 4-6 °C hasta su procesamiento.

#### 4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La determinación del contenido de humedad se llevó a cabo empleando el método gravimétrico desarrollado por Instituto Adolfo Lutz (2008), con algunas modificaciones. Cierta masa de la materia prima *in natura* fue pesada (entre 2-10 g) en un recipiente de porcelana, previamente tarado. Seguidamente, la muestra se introdujo en una estufa (Lucadema, LUCA-82/630) a 70 °C. Transcurridas 3 horas, la muestra fue retirada y dejada enfriar en un desecador con gel de sílice, para por fin pesar el recipiente. Dicha operación se repitió hasta una masa constante. El procedimiento fue realizado en triplicado. Por último, empleando la Ecuación 01, fue posible cuantificar el tenor de humedad. El procedimiento fue realizado en triplicado.

$$X_H = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 01})$$

En que:

$X_H$  es el tenor de humedad en base húmeda (%);

$m_i$  es la masa inicial de la muestra (g);

$m_f$  es la masa final de la muestra (g).

El contenido de cenizas se determinó de acuerdo al método AOAC 942.05 de la Association of Official Analytical Chemists (1995). Primeramente, un crisol previamente tarado fue secado en un horno a 105 °C por 20 min y dejado enfriar en un desecador. Se procedió a pesar la muestra seca (entre 2-6 g) dentro del recipiente de porcelana. Luego, la muestra fue incinerada a 700 °C por 2 horas. Seguidamente se dejó enfriar el crisol en la mufla y acto seguido en el desecador hasta que alcanzó temperatura ambiente para poder pesarlo. El procedimiento fue realizado en triplicado. Finalmente, se calculó el tenor de cenizas, por medio de la Ecuación 02.

$$X_C = \frac{m_c}{m_m} \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 02})$$

En que:

$X_c$  es el tenor de cenizas en base seca (%);

$m_c$  es la masa de ceniza (g);

$m_m$  es la masa de la muestra (g).

Por último, debido a una confusión con la metodología inicial, el porcentaje de volátiles se debió calcular teóricamente, tomando en cuenta los valores hallados de manera experimentalmente para humedad y cenizas, mediante la ecuación 03.

$$X_V = 100 - X_H - X_C \quad (\text{Ecuación 03})$$

En que:

$X_v$  es el tenor de volátiles teórico (%);

$X_H$  es el tenor de humedad (%);

$X_C$  es el tenor de cenizas (%).

## 4.5 LIMÓN

### 4.5.1 Preparación de la muestra

Los limones fueron cortados en piezas pequeñas de aproximadamente 3 cm, separando el albedo y flavedo de la pulpa, estos se sometieron al blanqueo con agua hirviendo durante 5 minutos para la inactivación de enzimas, seguidamente fueron colados y enfriados en agua fría. Las piezas de cáscara de limón, se secaron en una estufa a 50 °C (Lucadema, LUCA-82/630) hasta que el peso quedó constante. Las muestras deshidratadas fueron procesadas en un molinillo de café (Peabody, PE-MC9100), después tamizadas en un tamiz granulométrico de acero inoxidable con abertura de malla de 420  $\mu\text{m}$  (A bronzinox). Finalmente se almacenó el material en una bolsa con cierre hermético hasta su uso. A continuación, en la Figura 10, es mostrado el aspecto de las cáscaras de limón en la estufa antes de ser iniciado el secado y luego una vez molido y tamizado el polvo.

**Figura 10.** Materia prima (Limón), húmeda (A) y seca (B)



Fuente: Las autoras, 2022.

### 4.5.2 Extracción

El procedimiento de extracción se basó en el método de Lima (2020). Primeramente, se pesaron 5 g del polvo de cáscara (albedo y flavedo) en una balanza analítica (MG214Ai). Esto fue adicionado a un vaso de 500 mL con agua destilada en una proporción de una 1:70 (m/v). Luego, se añadió ácido cítrico 1 M (Synth) a la solución, hasta que el pH llegó a 2,5. La mezcla acidificada fue calentada y agitada con un agitador magnético en una placa (IKA, C-MAG HS7S032) donde se mantuvo agitación y temperatura

constante a 80 °C por dos horas, fiscalizando con un termómetro de contacto digital JR-1.

#### **4.5.3 Precipitación y purificación**

El extracto resultante caliente se centrifugó en centrífuga (Eduotec, EEQ-9004/B) por 10 minutos a una velocidad de 1000 rpm, para la separación de residuos y el extracto clarificado (sobrenadante). Al sobrenadante se le adicionó etanol 96% por goteo a una proporción de 1:2 (v/v, sobrenadante/etanol) en un vaso de 500 mL mediante agitación lenta y constante, luego la mezcla se dejó reposar durante 1 hora. Transcurrido el tiempo, la pectina se separó mediante usando un papel de filtro cuantitativo en un embudo Büchner, con auxilio de una bomba de vacío (EOS VALUE, VE 2100D), después se lavó 2 veces con etanol 70% y etanol 96%, respectivamente. La pectina fue dispuesta en un vidrio de reloj para su secado en estufa a 50 °C hasta peso constante. Una vez retirado, el material fue pesado y guardado en desecador.

### **4.6 MARACUYÁ**

#### **4.6.1 Preparación de la muestra**

Inicialmente se separó la cáscara de la pulpa de maracuyá y se desconsideró la parte amarilla (epicarpio) para usar únicamente la parte blanca (mesocarpio) en el experimento, conforme la referencia. Luego, esta fue sometida a un tratamiento térmico para inactivación de enzimas, por inmersión en agua a 97 °C durante tres minutos, seguido de enfriamiento en un baño de hielo, y solo entonces, se secó en una estufa (Lucadema, LUCA-82/630) a 50 °C. Luego de que la corteza estuviera seca, fue molido a polvo en un molinillo de café (Peabody, PE-MC9100). Para obtener una granulometría más fina, se utilizó un tamiz con una abertura de 420 µm (A bronzinox) y la harina fue almacenada en una bolsa hermética a temperatura ambiente hasta su uso. En la Figura 11 se observa el aspecto de los cortes del maracuyá antes de iniciado el secado y luego una vez molido y tamizado el polvo.

**Figura 11.** Materia prima (Maracuyá), húmeda (A) y seca (B).



Fuente: Las autoras, 2022.

#### 4.6.2 Extracción

El método utilizado en la extracción fue propuesto por Saavedra (2015) con pequeñas modificaciones. En un platillo de pesaje se pesó 5 gramos de muestra de harina de mesocarpio de maracuyá con auxilio de una balanza analítica (MG214Ai). Este fue adicionado a un vaso de precipitado de 500 mL y se agregaron 220 mL de agua destilada, es decir, la relación entre soluto y solvente fue de 1:44 (m/v). Luego, la mezcla se calentó en una placa (IKA, C-MAG HS7S032) hasta alcanzar 50 °C. Una vez caliente, a la mezcla se le agregó ácido cítrico 1M hasta alcanzar un pH de 3,0. La solución acidificada fue calentada 80 °C y se mantuvo con agitación constante durante 80 minutos.

#### 4.6.3 Precipitación y purificación

El extracto fue llevado a una centrífuga (Eduotec, EEQ-9004/B) por 20 minutos a una velocidad de 3500 rpm, para la separación de los sólidos. Fue recogido el sobrenadante en un vaso de 500 mL y la pectina fue precipitada añadiendo etanol 96% por goteo en una relación extracto-etanol de 1:2 (v/v), mediante agitación lenta y constante. La mezcla se dejó en reposo durante 2 horas para permitir la floculación de la pectina. Posteriormente, se filtró el producto obtenido usando un papel de filtro cuantitativo y un embudo Büchner en la bomba de vacío (EOS VALUE, VE 2100D) y se realizaron 3 lavados con el fin de purificar la pectina, con etanol 70% y etanol 96%, respectivamente. El producto fue colocado en un vidrio de reloj y se secó a 50 °C en estufa hasta peso constante. Una vez retirada, la pectina fue pesada y posteriormente guardada en un desecador.

## 4.7 MANZANA

### 4.7.1 Preparación de la muestra

Las manzanas enteras fueron cortadas en láminas y dispuestas sobre una bandeja de aluminio. Seguidamente se introdujo el material dentro de una estufa (Lucadema, LUCA-82/630), donde permaneció a 50 °C hasta peso constante. Luego, se procedió a pulverizar el material seco con auxilio de un molinillo de café (Peabody, PE-MC9100), controlando el diámetro de las partículas con un tamiz de acero inox (A brozinox), con abertura de malla de 420  $\mu\text{m}$ . Por último, el polvo seco fue empaquetado en una bolsa hermética y guardado en un lugar fresco y oscuro hasta su utilización. A continuación, en la Figura 12, es mostrado el aspecto de la manzana en la estufa antes de iniciar el secado y luego una vez molido y tamizado el polvo.

**Figura 12.** Materia prima (Manzana), húmeda (A) y seca (B).



Fuente: Las autoras, 2022.

### 4.7.2 Extracción

Fue llevado a cabo el método propuesto por Ramos (2006) con algunas modificaciones. Primeramente, se pesaron cerca de 10 gramos de polvo de manzana con ayuda de una balanza analítica (MG214Ai), para luego mezclarlos con 5 ml de etanol en un vaso de precipitado. Una vez transcurridos 5 minutos, se agregaron bajo agitación en una placa (IKA, C-MAG HS7S032) a 97 °C con 200 ml de agua destilada. Paralelamente, se calentó 200 ml de una solución de ácido nítrico 100 mM en otra placa, hasta también llegar a 97 °C. Una vez que ambas soluciones alcanzaron la ebullición, fueron mezcladas y calentadas por 10 minutos. Para terminar la extracción se llevó la mezcla a un baño de hielo.

### 4.7.3 Precipitación y purificación

El extracto frío se filtró con lienzo y lavado con 200 ml de agua. Una vez

separados los sólidos, el líquido filtrado fue precipitado por goteo con etanol 96% en una proporción de 1:2 (v/v). Una vez transcurridas dos horas de espera, la solución fue filtrada con papel de filtro cuantitativo y embudo Büchner mediante una bomba de vacío (EOS VALUE, VE 2100D). Lo retenido en el papel de filtro se lavó primeramente con etanol 70% y luego etanol 96% para eliminar impureza. La pectina húmeda se llevó a una estufa (Lucadema, LUCA-82/630) a 50 °C hasta humedad constante. Por último, una vez seco, el producto fue pesado y guardado en desecador.

## 4.8 TOMATE

### 4.8.1 Preparación de la muestra

Los tomates enteros fueron escaldados en agua a 100 °C durante 5 min, facilitando así la retirada de las pieles, luego las frutas fueron cortadas para extraer las semillas y el lóculo con pulpa. Posteriormente, fue secado todo el bagazo en estufa (Lucadema, LUCA-82/630) a 60 °C hasta un peso constante. Más adelante, fue realizada la molienda en un molinillo de café (Peabody, PE-MC9100). Finalmente, se tamizó el producto con un tamiz de malla de abertura 420 µm (A bronzinox). El polvo resultante fue almacenado herméticamente en una bolsa plástica hasta posterior uso. En la Figura 13 se muestra la apariencia del bagazo de tomate previo el secado, luego ya deshidratado y finamente molido.

**Figura 13.** Materia prima (Tomate), húmeda (A) y seca (B).



Fuente: Las autoras, 2022.

### 4.8.2 Extracción

La extracción se basó en el método empleado por Alancay *et al.* (2017). Fueron pesadas 4 g de polvo de bagazo de tomate en una balanza analítica (MG214Ai) y colocadas en un vaso de 500 mL con agua destilada a una proporción de 1:100 (m/v). La

mezcla se ajustó a un pH de 1,5 con ácido clorhídrico (HCl) 1M (Sigma Aldrich). Seguidamente se colocó el vaso de precipitado bajo agitación constante y calentamiento por 60 min a una temperatura controlada de 85 °C con auxilio de un termómetro digital (TP101).

#### **4.8.3 Precipitación y purificación**

La suspensión se sometió a la operación de centrifugación en centrífuga (EduTec, EEQ-9004/B) por 10 min a 3500 rpm. Luego, el sobrenadante se trasladó a un vaso de precipitado bajo agitación y fue añadido etanol 96% en forma de goteo sobre una proporción de 1:2 v/v. Se dejó reposar la solución durante 4 horas. Posteriormente, el precipitado se filtró al vacío mediante la bomba (EOS VALUE, VE 2100D) con papel de filtro cuantitativo y un embudo Büchner. Para la purificación de las pectinas extraídas, se realizó tres veces el lavado de las muestras con etanol 70% y etanol 96%, respectivamente. La pectina húmeda se llevó a una estufa (Lucadema, LUCA-82/630) a 50 °C hasta peso constante. Finalmente, una vez seco, el producto fue pesado y guardado en desecador.

### **4.9 NARANJA**

#### **4.9.1 Preparación de la muestra**

Las naranjas fueron cortadas primeramente en cuatro porciones, de modo a facilitar la separación del albedo y flavedo de la pulpa. Enseguida, las cáscaras fueron blanqueadas en agua hirviendo por alrededor de cinco minutos de manera a inactivar enzimas, cortando la cocción con un baño de agua fría. Una vez escurrido todo el líquido, el material fue cortado en trozos de cerca de 3 cm e introducido en estufa (Lucadema, LUCA-82/630), donde fue secado a 55 °C. Una vez alcanzado peso constante, se procesaron las cáscaras con un molinillo de café (Peabody, PE-MC9100), de modo a controlar el diámetro de las partículas con un tamiz de acero inox (A brozinox), con abertura de malla de 420 µm. Finalmente, el polvo se almacenó en una bolsa hermética y guardado en un lugar fresco y oscuro hasta su utilización. A continuación, en la Figura 14, es mostrado el aspecto de las cáscaras de naranja en la estufa antes de iniciar el secado y luego una vez molido y tamizado el polvo.

**Figura 14.** Materia prima (Naranja), húmeda (A) y seca (B).



Fuente: Las autoras, 2022.

#### 4.9.2 Extracción

El método utilizado en la extracción fue propuesto por Zanella (2013) con pequeñas modificaciones. Primeramente, se pesaron 2 g del polvo de cáscara (albedo y flavedo) en una balanza analítica (MG214Ai). Este fue adicionado a un vaso de 500 mL con agua destilada en una proporción de una 1:70 (m/v). Luego se añadió ácido cítrico 1 M (Synth) a la solución, hasta que el pH bajó a 2,5. La mezcla acidificada fue calentada y agitada con un agitador magnético sobre una placa de calentamiento (IKA, C-MAG HS7S032) donde se mantuvo la agitación y una temperatura constante de 80 °C por dos horas, fiscalizando con el termómetro de contacto digital JR-1.

#### 4.9.3 Precipitación y purificación

El extracto fue llevado en caliente a una centrífuga (Eduotec, EEQ-9004/B) por 20 minutos a una velocidad de 3500 rpm, para la separación de los sólidos. Luego, el sobrenadante se recogió en un vaso de 500 mL y la pectina fue precipitada añadiendo etanol 96% por goteo a una relación 1:2 (v/v) mediante agitación lenta y constante. La mezcla se dejó reposar durante 2 horas para visar la floculación de la pectina. Posteriormente, se filtró el producto obtenido usando un papel de filtro cuantitativo y un embudo Büchner en la bomba de vacío (EOS VALUE, VE 2100D). Se realizaron 3 lavados a fin de purificar el producto, con etanol 70% y etanol 96%, respectivamente. La pectina fue colocada en un vidrio de reloj y se secó a 50 °C en estufa hasta peso constante. Una vez retirada, fue nuevamente pesada, para luego ser guardada en desecador.

#### 4.10 CÁLCULO DE RENDIMIENTO

De manera a conocer los rendimientos de extracción en cada caso, se

calculó la razón entre las masas de pectina y materia prima deshidratada, haciendo uso de la Ecuación 04:

$$R = \frac{m_p}{m_{mp}} \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 04})$$

En que:

$R$  es el rendimiento de extracción (%);

$m_p$  es la masa de pectina ( $g$ );

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

## 5 RESULTADOS Y DISCUCIONES

### 5.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

La Tabla 4 presenta los resultados obtenidos según la metodología descrita en el ítem 4.4. para la determinación de los contenidos de humedad, cenizas y volátiles. Para las discusiones de este ítem se recurrió a otras referencias además de las que constan en la Tabla 3, debido a que la mayoría de los autores no caracterizó la materia prima.

**Tabla 4.** Contenidos de humedad, cenizas y volátiles teórico de las distintas frutas.

Fruta	Humedad (%)	Cenizas (%)	Volátiles teórico (%)
Limón	84,8091 ± 0,06	3,3953 ± 0,05	11,7956
Manzana	85,1294 ± 0,13	1,0791 ± 0,16	13,7915
Maracuyá	90,6183 ± 0,09	3,3799 ± 0,04	6,0017
Naranja	76,6682 ± 0,07	1,6333 ± 0,03	21,6986
Tomate	80,7954 ± 0,11	0,3583 ± 0,14	18,8462

Fuente: Las autoras, 2022.

Por lo general, el proceso de extracción de pectinas acostumbra incluir una etapa de secado de la materia prima previa la extracción propiamente dicha, en donde se retira la humedad del material de manera a prevenir que enzimas lo destruyan (CONSTENLA; PONCE y LOZANO, 2001). Observando la Tabla 4 es posible notar que la materia prima con menor contenido de humedad fue la naranja, en cambio, el maracuyá obtuvo el porcentaje más alto, por lo que es probable que sea la más susceptible a degradarse con rapidez. Púa *et al.* (2015) encontraron un valor de 84,2% (base húmeda) para el limón, bastante cercano al determinado experimentalmente. En el caso de la manzana, Santacruz (2004) cuantificó una humedad del 84,4% (base húmeda), similar a lo verificado en el experimento. En su estudio sobre maracuyá, Valencia y Posada (2014) constataron un porcentaje del 85,3% (base húmeda), relativamente menor al que se pudo hallar. Con respecto a la naranja, Braddock y Crandall (1981) obtuvieron una humedad del 74,1% (base húmeda), próximo al porcentaje determinado laboratorialmente. Tigcilema (2020) reportó un contenido de humedad del 83%, no muy distante al encontrado para el

tomate.

El tenor de cenizas se refiere al residuo inorgánico que permanece posterior a la ignición o la oxidación completa de la materia orgánica en una biomasa. Este parámetro ayuda a cuantificar los minerales presentes, determinar su calidad y estabilidad microbiológica (POJIĆ; KRAVIĆ y STOJANOVIĆ, 2015). En el caso de las materias primas estudiadas, el tenor de cenizas osciló entre 0,36-3,40% en base seca, como se muestra en la Tabla 4, lo que indica un bajo contenido de materia inorgánica en las muestras. En el caso del limón, Púa *et al.* hallaron un contenido de cenizas del 3,27% (base seca), similar al valor que se pudo determinar. Virk y Sogi (2007) constataron un porcentaje del 1,60% (base seca) trabajando solamente con cáscara de manzana, haciendo que esta diferencia con el número hallado sea razonable. Da Silva *et al.* (2019) solamente obtuvieron 0,54% (base seca) de cenizas en el albedo de maracuyá, siendo que en este trabajo se determinó un valor seis veces mayor. Por su parte, Perondi *et al.* (2019) cuantificaron un valor de cenizas del 2,0% (base seca) para las cáscaras de naranja, un resultado no tan diferente al verificado. Si bien el contenido de cenizas fue bastante bajo a comparación de las otras frutas, Hernández *et al.* (2008) determinaron un porcentaje no tan distante del 0,59% para el tomate (base seca).

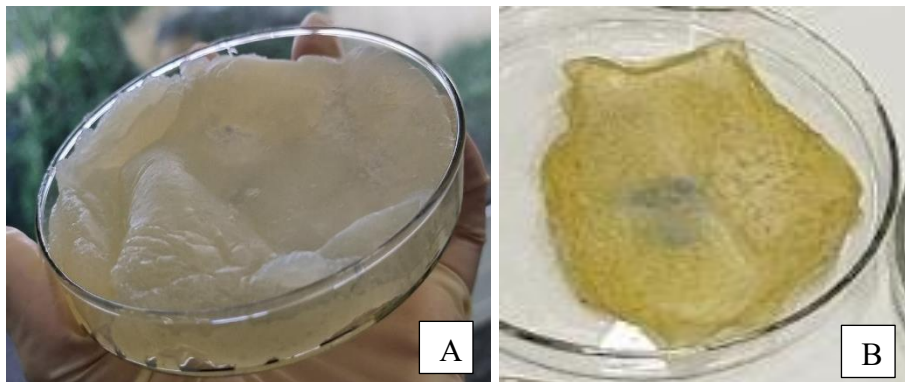
La determinación de volátiles cuantifica compuestos constituidos fundamentalmente por carbono y heteroátomos como oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno, con puntos de ebullición que oscilan entre 50-260 °C. En este trabajo se cuantificó el contenido de volátiles de manera teórica sustrayendo los porcentajes de humedad y cenizas, método que ciertamente no es el más adecuado para obtener un resultado confiable, debido a que se tuvo que considerar que estas tres fracciones componen la totalidad de las muestras de materia prima, siendo que pueden estar presentes otros compuestos que no formen parte de dichos grupos. Estos valores teóricos de volátiles, que se presentan en la Tabla 4, variaron entre 6,0-18,85% de las muestras. Con relación a los volátiles presentes en cada materia prima, al verificar en la literatura se percibió que dicho grupo está mayoritariamente conformado por ésteres, aldehídos, alcoholes, cetonas, compuestos heterocíclicos con azufre y nitrógeno, terpenos y furanos. Mayores detalles sobre la composición de los volátiles para cada caso en particular pueden ser observados en los trabajos de Aguilar *et al.* (2020), Macoris *et al.* (2011), Yang *et al.* (2021), Li, Di y Bai (2019) y Zanella *et al.* (2013).

## 5.2 LIMÓN

### 5.2.1 Extracción de pectina

La etapa de extracción de pectina se realizó según la metodología descrita en el ítem 4.5.2. La Figura 15 exhibe la pectina extraída a partir del limón tahití, antes y después de haber sido sometida a la operación de secado en estufa (50 °C) hasta humedad constante.

**Figura 15.** Pectina extraída (Limón), húmeda (A) y seca (B).



Fuente: Las autoras, 2022.

El color de la pectina es un parámetro clave, debido a que afecta directamente el aspecto de los geles, de ahí que pectinas de una tonalidad clara posean mayor interés comercial, ya que no podrían influenciar negativamente la aceptación del consumidor hacía el producto final (SHAHA; PUNICHELVANA y AFANDI, 2013).

Se puede observar que la pectina obtenida a partir del limón con la metodología citada presenta una coloración clara, por lo que sería potencialmente aceptada en el mercado. Por su parte, Lima (2020) no realizó comentarios sobre el aspecto del material extraído, concordando con las observaciones.

### 5.2.2 Rendimiento de la extracción

La Tabla 5 presenta los rendimientos obtenidos y el valor de referencia hallado por Lima (2020), quien también trabajó con cáscara de limón. El rendimiento del proceso se calculó utilizando la Ecuación 04 y es expresado en gramos de pectina seca por gramos de materia prima seca.

**Tabla 5.** Rendimiento de la extracción de las pectinas obtenidas del limón.

Réplica	Masa de polvo seco (g)	Masa de pectina húmeda (g)	Masa de pectina seca (g)	Rendimiento de referencia (%)	Rendimiento experimental (%)
---------	------------------------	----------------------------	--------------------------	-------------------------------	------------------------------

1	5,0806	44,4415	1,1503	22,85	22,64
2	5,0892	51,5304	1,2678		24,92
Media					23,78 ± 1,14

Fuente: Las autoras, 2022.

El rendimiento medio obtenido en la extracción fue 23,78%, mientras que la referencia alcanzó 22,85% también trabajando con limón tahití como materia prima. Comparando, se observa que el rendimiento del proceso resultó bastante similar, lo que indicaría una buena reproductibilidad de la metodología.

En otros estudios también se obtuvo un resultado similar. Patil *et al.* (2018) estudiaron la extracción en un medio acidificado con ácido cítrico 0,5 N a un pH de 2 y una razón soluto: solvente de 1:4 (m/v), utilizando un extractor Soxhlet ( $T = 75\text{ °C}$ ;  $t = 8\text{ h}$ ) consiguieron un rendimiento del 18,21%. Por su parte, Rodsamran y Sothornvit (2019) realizaron la extracción con una solución de ácido cítrico 0,05 M a una proporción de 1:40 (m/v) en un baño maría tipo *shaker* ( $T = 95\text{ °C}$ ;  $t = 1\text{ h}$ ), obteniendo así un rendimiento del 19,63%.

A juzgar por las condiciones de operación de Rodsamran y Sothornvit (2018), sin considerar las etapas de preparación de muestra, precipitación y purificación, podrían sugerirse algunas hipótesis con relación al porqué el procedimiento experimental de Lima (2020) genera un rendimiento mayor. La proporción empleada por Rodsamran y Sothornvit (2018) podría no haber sido la más adecuada, debido a que es probable que el volumen del medio extractor haya sido insuficiente para solubilizar toda la pectina, como así constataron Kulkarni y Vijayanand (2010) al variar el efecto de la razón en el rendimiento de extracción con Maracuyá. Kulkarni y Vijayanand (2010) también verificaron que un mayor tiempo de extracción promueve un aumento de rendimiento hasta cierto punto, por lo que dicho factor también pudo haber representado una ventaja para Lima (2020), haber extraído por el doble de tiempo frente a Rodsamran y Sothornvit (2018).

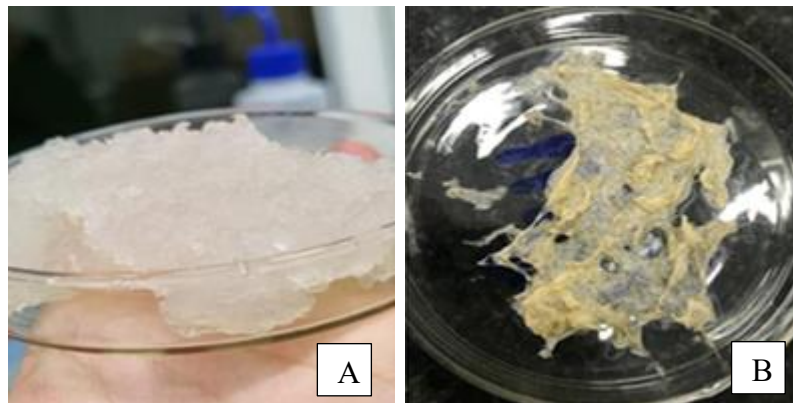
## 5.3 MARACUYÁ

### 5.3.1 Extracción de pectina

La etapa de extracción de pectina se realizó conforme la metodología descrita en el ítem 4.6.2. La Figura 16 muestra la pectina extraída a partir del maracuyá amarilla, antes y luego de haber sido sometida a la operación de secado en estufa (50 °C)

hasta humedad constante.

**Figura 16.** Pectina extraída (Maracuyá), húmeda (A) y seca (B).



Fuente: Las autoras, 2022.

Es posible observar que la pectina extraída del maracuyá, tanto húmeda como seca, satisface los estándares de tonalidad del mercado al ser de color crema, por lo que teniendo en cuenta este aspecto podría ser empleada como aditivo sin alterar la coloración del producto final.

Escobedo (2013) no presenta reportes sobre el aspecto del producto extraído. Durante su investigación, Cuesta y Muñoz (2010) obtuvieron una pectina de coloración clara, similares a lo hallado en los experimentos. Los mismos autores señalan que al retirar el epicarpio amarillo utilizando solo el mesocarpio como matriz, se eliminan los agentes colorantes que otorgarían un color bastante más amarillento al extracto. Así mismo, Talma *et al.* (2019) también extrajeron una pectina con características semejantes.

### 5.3.2 Rendimiento de la extracción

La Tabla 6 presenta los rendimientos obtenidos y el valor de referencia hallado por Escobedo (2013), quien también trabajó con albedo de maracuyá. El rendimiento del proceso se calculó utilizando la Ecuación 04 y es expresado en gramos de pectina seca por gramos de materia prima seca.

**Tabla 6.** Rendimiento de la extracción de las pectinas obtenidas del maracuyá.

Réplica	Masa de polvo seco (g)	Masa de pectina húmeda (g)	Masa de pectina seca (g)	Rendimiento de referencia (%)	Rendimiento experimental (%)
1	5,0260	39,5402	1,0545	16,0	20,98
2	5,0210	30,0244	1,1032		21,97
Media					21,48 ± 0,50

Fuente: Las autoras, 2022.

El rendimiento de la extracción alcanzó los 21,48%, mientras que la referencia obtuvo sólo 16% trabajando también con maracuyá amarilla como matriz. Comparando, la diferencia entre los rendimientos resulta significativa en este caso. Dicha divergencia pudo haberse debido a ciertas modificaciones en la metodología con respecto a la propuesta inicialmente por Escobedo (2013). Primeramente, la proporción utilizada fue 1:44 y no 1:22, debido a que se percibió que la densidad de la solución era tal que la barra magnética utilizada para agitar no lograba girar, impidiendo una transferencia de calor uniforme; como ya fue comentado en el ítem 5.2.2, un volumen insuficiente puede limitar la solubilización completa de las moléculas de pectina. Por su parte, el tiempo de extracción duró 80 minutos conforme indicación de Saavedra (2015) y no por 50 minutos solamente, en busca de un mayor rendimiento. En la precipitación, Escobedo (2013) dejó reposando el extracto con alcohol por alrededor de 15 minutos, mientras que para este trabajo se aguardó cerca de 60 minutos, siendo que la referencia utilizó una proporción de etanol:agua 1:1,2 (v/v), no obstante en los experimentos se optó por adoptar 1:1, por lo que es probable que la pectina no haya podido precipitar por completo.

Charchalac (2008) optó por llevar a cabo la extracción con ácido cítrico a una razón soluto: solvente de 1:10 (m/m) y un pH de 2 ( $T = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t = 120\text{ min}$ ) en presencia de 1% de hexametáfosfato de sodio como secuestrante de los iones calcio a los cuales está ligada la pectina en el albedo, alcanzó un rendimiento similar del 21,25%. Sin embargo, en algunos estudios el rendimiento llegó a ser distante de lo encontrado. Kulkarni y Vijayanand (2010) utilizaron una proporción 1:10 (m/v) y ácido clorhídrico para descender el pH a 2, concretando dos extracciones sucesivas iguales en condiciones operacionales ( $T = 97\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t = 60\text{ min}$ ), con esto llegaron a un rendimiento del 14,8%. Por su parte, Saavedra (2015) obtuvo un rendimiento de solamente el 8,44% en condiciones de pH igual a 2, una proporción de 1:25 (m/v) ( $T = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t = 80\text{ min}$ ) con ácido cítrico. Es así que la diferencia encontrada del casi 5,5% entre la referencia y los experimentos aún se mantiene dentro del rango, teniendo en cuenta que no fue posible reproducir la metodología de la referencia principal.

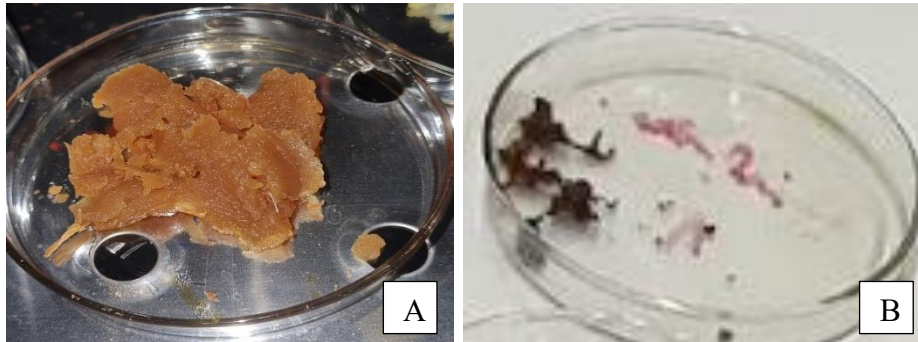
## 5.4 MANZANA

### 5.4.1 Extracción de pectina

La extracción de pectina se llevó a cabo de acuerdo con la metodología descrita en el ítem 4.7.2. La Figura 17 muestra la pectina extraída a partir de la manzana

Red Delicious, antes y luego de haber sido secada en estufa (50 °C) hasta humedad constante.

**Figura 17.** Pectina extraída (Manzana), húmeda (A) y seca (B).



Fuente: Las autoras, 2022.

Es posible observar que la pectina obtenida partiendo de la manzana con la metodología mencionada presenta una coloración bien acentuada, principalmente luego de su deshidratación. Por su parte, Ramos (2006) reporta un producto extraído cuya tonalidad rojiza es notablemente menos intensa una vez seco y molido, al igual que Sharma, Gupta y Kaushal (2014). No obstante, otros autores como Cho *et al.* (2018) también obtuvieron una pectina húmeda bastante rojiza y luego del secado, un material amarronado tendiendo al ocre.

La coloración marrón de las pectinas de manzana se debe a la oxidación de compuestos fenólicos que son extraídos en simultáneo, los cuales sólo resultan parcialmente removidos en la etapa de purificación. Esta característica ciertamente limita la aplicación de estas pectinas en productos de tonalidad clara. Sin embargo, diversos autores constataron que técnicas de blanqueamiento, como el uso de peróxidos en medio alcalino, implican bajos rendimientos (SCHIEBER *et al.*, 2003).

#### 5.4.2 Rendimiento de la extracción

En la Tabla 7 se exponen los rendimientos obtenidos y el valor de referencia hallado por Ramos (2006), quien también trabajó con bagazo de manzana. El rendimiento del proceso fue calculado haciendo uso de la Ecuación 04 y es expresado en gramos de pectina seca por gramos de materia prima seca.

**Tabla 7.** Rendimiento de la extracción de las pectinas obtenidas de la manzana.

Réplica	Masa de polvo seco (g)	Masa de pectina húmeda (g)	Masa de pectina seca (g)	Rendimiento de referencia (%)	Rendimiento experimental (%)
---------	------------------------	----------------------------	--------------------------	-------------------------------	------------------------------

1	10,0044	9,4438	1,3497	14,17	13,49
2	10,0077	7,9156	1,4651		14,64
Media					14,07 ± 0,57

Fuente: Las autoras, 2022.

La extracción alcanzó un rendimiento medio del 14,07%, mientras que la referencia obtuvo 14,17% trabajando con manzana Joaquina como materia prima. Al comparar, se observa que el rendimiento del proceso resultó semejante, lo que denotaría una buena reproductibilidad de la metodología.

Consultando la literatura se encontró que Constenla, Ponce y Lozano (2001) trabajaron con ácido nítrico para bajar el pH a 2,5, con una razón soluto: solvente de 1:25, sin detallar el equipo utilizado ( $T = 80\text{ °C}$ ;  $t = 1\text{ h}$ ), obteniendo así un rendimiento del 3,96%. Por su parte, Kumar, Ozukum y Mathad (2020) utilizaron ácido nítrico 0,05 M a una proporción de 1:7,5 (m/v) en baño maría ( $T = 80\text{ °C}$ ;  $t = 1\text{ h}$ ), pudiendo llegar a un rendimiento del 11,75%.

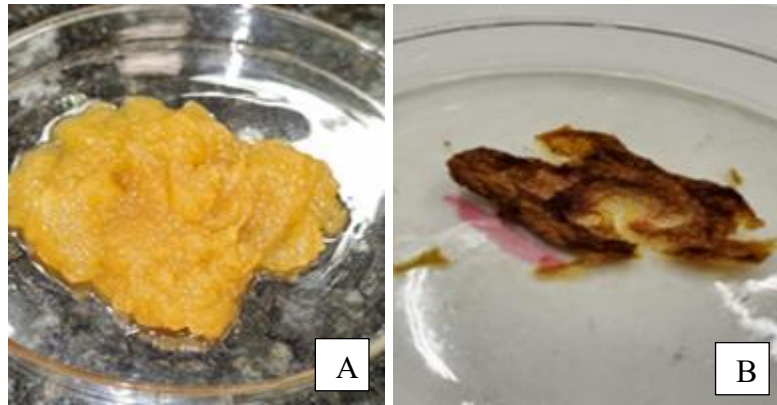
A juzgar por las condiciones de operación de Kumar, Ozukum y Mathad (2020), desconsiderando las etapas de preparación de muestra, precipitación y purificación, podría sugerirse una de las causas con relación al porqué el procedimiento experimental de Ramos (2006) resultó en un mayor rendimiento. En este caso también se utilizó una proporción soluto: solvente pequeña, así como ya fue mencionado en el ítem 5.2.2, es probable que dicho volumen haya sido insuficiente para visar la solubilización completa de la pectina.

## 5.5 TOMATE

### 5.5.1 Extracción de pectina

La etapa de extracción de pectina se llevó a cabo según la metodología descrita en el ítem 4.8.2. La Figura 18 exhibe la pectina extraída a partir del tomate perita, antes y después de haber sido sometida a la operación de secado en estufa ( $50\text{ °C}$ ) hasta humedad constante.

**Figura 18.** Pectina extraída (Tomate), húmeda (A) y seca (B).



Fuente: Las autoras, 2022.

Mediante la Figura 18 es posible notar que la pigmentación de la pectina extraída tiende primero a un ocre amarillento (material húmedo) y luego a un ocre rojizo (material seco). Por su parte, Chou y Kokini (1987) reportaron un producto de color marrón rojizo similar al producto seco obtenido experimentalmente, al igual que Alancay *et al.* (2017) y Sengar *et al.* (2019), que también obtuvieron resultados similares en cuanto al aspecto.

La característica tonalidad amarronada de la pectina de tomate se debe a la presencia de polifenoles u otros pigmentos insolubles en disolventes polares como agua y etanol, tales como los carotenoides, que se hallan principalmente en el epicarpio externo y probablemente no fueron separados durante la precipitación (MCCOLLUM, 1955; BAISSISSE *et al.*, 2012).

### 5.5.2 Rendimiento de la extracción

En la Tabla 8 se exponen los rendimientos obtenidos y el valor de referencia hallado por Alancay *et al.* (2017). El rendimiento del proceso fue evaluado según Ecuación 04 y es expresado en gramos de pectina seca por gramos de materia prima seca.

**Tabla 8.** Rendimiento de la extracción de las pectinas obtenidas del tomate.

Réplica	Masa de polvo seco (g)	Masa de pectina húmeda (g)	Masa de pectina seca (g)	Rendimiento de referencia (%)	Rendimiento experimental (%)
1	4,0032	16,4748	0,3111	28,09	7,77
2	4,0017	16,1110	0,2693		6,73
Media					7,25 ± 0,52

Fuente: Las autoras, 2022.

La extracción halló un rendimiento medio del 7,25%, entre tanto, la referencia obtuvo un valor de 28,09%, cerca de cuatro veces más que lo encontrado en este estudio, por lo que no se obtuvo una repetibilidad aceptable en cuanto a este parámetro.

Indagando en la literatura fue percibido que existe un reducido número de trabajos sobre extracción de pectina de tomate. Grassino *et al.* (2015) utilizando una solución de amonio oxalato y ácido oxálico como disolvente ( $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t = 12\text{ h}$ ) alcanzaron un rendimiento del 32,6%. Igualmente, Zhang *et al.* (2018) emplearon orujo de tomate negro y ácido clorhídrico 0,03 M como agente extractor ( $pH = 1,5$ ), a una proporción de 1:20 (m/v) en baño maría ( $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t = 1\text{ h}$ ), en estas condiciones llegaron a un rendimiento del 7,17%. Por otro lado, autores como Sengar *et al.* (2019) evaluaron métodos no convencionales de extracción para esta materia prima, como ultrasonido, microondas y calentamiento óhmico, obteniendo rendimientos que oscilaron entre 9,30-25,42%.

El bajo rendimiento pudo haberse debido tanto a la materia prima procesada, como a ciertas condiciones operacionales. Para este trabajo se empleó tomate perita, sin embargo, Alancay *et al.* (2017) no aclaran la variedad que utilizó como matriz, siendo que es bastante probable que el contenido de pectina varíe según la especie, como ya fue mencionado en el ítem 3.2.2. Vale mencionar que en este caso no se consideró una proporción muy adecuada de pulpa que logre simular con mayor fidelidad el subproducto industrial, ya que eran en mayor la cantidad cáscaras, siendo que es posible que la mayor parte de la pectina en esta fruta se halle en el mesocarpio. Los autores tampoco mencionan ciertas particularidades de la etapa de preparación de la muestra, como el tipo de molino y la temperatura de secado de la materia prima. Como ya fue comentado en el ítem 4.8.3., el tiempo para que el extracto clarificado descansa luego de la adición de etanol 96% fue de 4 horas, la mitad del tiempo que aguardaron Sengar *et al.* (2019), debido a que la referencia principal no aclaró el intervalo de tiempo que esperó. Entre otras diferencias, el filtrado del extracto se realizó con una bomba de vacío y la pectina se lavó tres veces con etanol 70% y etanol 96%, mientras que la referencia filtró con lienzo y lavó las pectinas con etanol 50%.

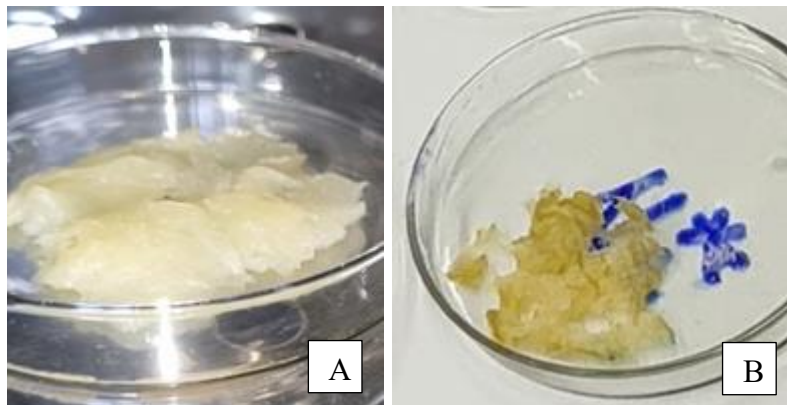
Adicionalmente, Alancay *et al.* (2017) comentaron que luego del secado y la molienda, la pectina en polvo se utilizó para preparar una solución con agua destilada, que se volvió a calentar bajo agitación, centrifugar, precipitar, filtrar, lavar, secar y moler nuevamente; a pesar de no disponibilizar imágenes sobre su producto final, es bastante probable que haya tenido una tonalidad más clara que la pectina obtenida en este trabajo.

## 5.6 NARANJA

### 5.6.1 Extracción de pectina

La etapa de extracción de pectina se realizó siguiendo la metodología descrita en el ítem 4.9.2. La Figura 19 muestra la pectina extraída a partir de la naranja hamlin, antes y luego de haber sido sometida a la operación de secado en estufa (50 °C) hasta humedad constante.

**Figura 19.** Pectina extraída (Naranja), húmeda (A) y seca (B).



Fuente: Las autoras, 2022.

Como se puede apreciar, la pectina de naranja posee una característica tonalidad amarillo sutil, debido a pigmentos presentes, principalmente en el flavedo. Dado que el producto obtenido no tiene una coloración oscura, el mismo podría ser comercializado con facilidad en el mercado. En su trabajo, Twinomuhwezi, Chinaza y Kahunde (2020), pudieron extraer pectinas de un color amarillo pálido, no obstante, Kute *et al.* (2019) reportaron pectinas de naranja de una tonalidad un poco más anaranjada probablemente debido a una mayor presencia de pigmentos que otorgan dicha coloración.

### 5.6.2 Rendimiento de la extracción

En la Tabla 9 se exponen los rendimientos obtenidos a partir de la cáscara de naranja (albedo y flavedo) y el valor de referencia hallado por Zanella (2013) utilizando solamente el albedo. Este fue calculado haciendo uso de la Ecuación 04 y es expresado en gramos de pectina seca por gramos de materia prima seca.

**Tabla 9.** Rendimiento de la extracción de las pectinas obtenidas del tomate.

Réplica	Masa de polvo seco (g)	Masa de pectina húmeda (g)	Masa de pectina seca (g)	Rendimiento de referencia (%)	Rendimiento experimental (%)
1	2,0034	8,7186	0,3081	38,21	15,38

2	2,0032	10,4698	0,3306	16,50
Media				15,94 ± 0,56

Fuente: Las autoras, 2022.

El rendimiento medio de extracción que se obtuvo fue 15,94%, mientras que la referencia alcanzó 38,21%. Comparando, es posible notar que solamente se logró llegar cerca a la mitad del valor esperado, con esto es notorio que no hubo una repetibilidad aceptable en cuanto a este parámetro.

En otros trabajos como el de Santillán (2019), también se monitoreó la extracción a partir del albedo de naranja en un medio acidificado con ácido cítrico 99,7% a un pH de 2 y una razón soluto: solvente de 1:5 (m/v) en calentamiento bajo agitación ( $T = 85\text{ °C}$ ;  $t = 90\text{ min}$ ), generando un rendimiento del 10,38%. Por su parte, Spohr *et al.* (2014) llevaron a cabo la extracción utilizando orujo de naranja como materia prima y una solución con ácido cítrico 1 M para ajustar el pH a 2,5 igualmente en calentamiento bajo agitación ( $T = 97\text{ °C}$ ;  $t = 30\text{ min}$ ), con lo que se pudo llegar a un rendimiento del 17,75%. No obstante, Sayah *et al.* (2014) realizó una extracción con ácido cítrico 0,05 M y cáscaras de naranja in natura en una proporción de 1:30 (m/v) por arrastre de vapor ( $T = 80\text{ °C}$ ;  $t = 60\text{ min}$ ), consiguiendo así un rendimiento del 25,71%.

Según Gamboa (2009), las cáscaras de los cítricos en general modifican bastante su contenido de sustancias pécticas según la estación y la variedad, factores que pueden incidir considerablemente en el rendimiento de un proceso de extracción de estas sustancias. Adicionalmente, es sabido que la capa blanca esponjosa de la naranja (albedo), constituye la mayor parte en masa de la cáscara integral y por ende, constituye el mayor reservorio de pectina en dicha fruta (MOPOSITA y NÚÑEZ, 2012).

Es posible formular una hipótesis con relación a la discrepancia hallada con el valor que se esperaba obtener trabajando con la metodología de Zanella (2013). La autora trabajó durante su investigación separadamente con la cuantificación del contenido de pectina tanto del albedo, como del flavedo, el rendimiento presentado en la Tabla 9 como referencia corresponde al porcentaje obtenido íntegramente con albedo de naranja pera, siendo que en este trabajo se empleó como matriz la cáscara entera de naranja hamlin. Dichas divergencias podrían explicar la diferencia hallada al reproducir la metodología.

## 5.6 COMPARACIÓN ENTRE LAS DISTINTAS FRUTAS

La Tabla 10 reúne el desempeño de las materias primas por medio de los

rendimientos de extracción de pectina en medio ácido, que expresan el porcentaje en gramos de pectina seca que se extraen por gramos de materia prima seca.

**Tabla 10.** Rendimiento y aspecto de las pectinas extraídas a partir distintas materias primas.

<b>Materia Prima</b>	<b>Rendimiento (%)</b>	<b>Color</b>
Limón tahití	23,8	Amarillo claro
Maracuyá amarilla	21,5	Crema
Manzana red delicious	14,1	Rojo amarronado
Tomate perita	7,3	Ocre rojizo
Naranja hamlin	15,9	Amarillo claro

Fuente: Las autoras, 2022.

En cuanto al rendimiento, solamente en caso del limón tahití y del maracuyá amarilla se alcanzó rendimientos superiores al 20% trabajando con ácido cítrico. Teniendo en cuenta que el maracuyá representa una fuente alternativa de obtención, esto daría indicios de su potencial como materia prima para procesamiento a nivel industrial, potencial que ya viene siendo estudiado por la academia debido al gran número de trabajos encontrados con dicha fruta en el área. Sin embargo, cabe mencionar que una caracterización completa del producto es indispensable para poder precisar su calidad y por consiguiente, su aplicabilidad en el mercado.

En la Tabla 10, también se presentan la coloración característica de las pectinas obtenidas. Las del limón, maracuyá y naranja presentaron una tonalidad más clara en comparación al tomate y manzana, notablemente más oscuras. Según la IPPA (2009), las pectinas de interés comercial suelen ser ligeras en color, siendo que factores como el tipo de fruta utilizada y la contaminación superficial pueden contribuir a discrepancias en este aspecto. A pesar de que existen técnicas para atenuar la coloración del producto, como ya fue mencionado en el ítem 5.4.1, estos causan perjuicios como despolimerización y desmetoxilación de las sustancias pépticas, además de generar costos adicionales en la implementación de este tipo de operaciones en el proceso de fabricación (RENARD y THIBAUT, 1996).

Con base en los experimentos ejecutados en el laboratorio, fue posible reproducir a cabalidad las condiciones operacionales de las referencias en el caso de la manzana, naranja y limón, sin embargo, con respecto a la materia prima no se utilizó la misma especie en el caso de la naranja, además de que el flavedo y albedo no fueron

separados; teniendo en cuenta que la referencia utilizó solamente el flavedo, esto pudo haber justificar la discrepancia. Respecto al tomate, no fue posible constatar con seguridad la reproductibilidad del método descrito, puesto que estaban omisas ciertos aspectos en algunas etapas, si bien se cumplieron todas las condiciones como pH, temperatura y tiempo; un aspecto que pudo haber influido fue la probable insuficiente presencia de pulpa en la recreación del orujo industrial, ya que existe la posibilidad de que el mayor contenido de pectina de la fruta se encuentre en esa región, proporcionando así un rendimiento bastante reducido en comparación al autor.

En relación a las metodologías con ácido cítrico, las mismas entregaron mejores resultados en comparación a las que utilizaban ácidos minerales, tanto en rendimiento, como en color. Teniendo en cuenta estos parámetros, las frutas que lograron desempeñarse mejor fueron el limón ( $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t = 120\text{ min}$ ) y el maracuyá ( $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t = 80\text{ min}$ ), no obstante, surgieron inconvenientes con la metodología del maracuyá propuesta por el autor, lo cual imposibilitó seguir un procedimiento muy similar y con esto ciertas condiciones fueron modificadas. Siendo así, considerando lo discutido se puede concluir que la técnica realizada en el caso del maracuyá (fuente alternativa) fue la que más se destacó, ya que además de resultar en un rendimiento por encima de los veinte por ciento (5,5% mayor al alcanzado por el autor) y brindar una pectina pálida de color crema, con una reducción de 40 minutos en el tiempo de extracción a comparación del limón, lo que generó una menor demanda de energía.

## 6 CONSIDERACIONES FINALES

Con base en lo expuesto en las discusiones, experimentalmente fue posible verificar que:

- En el caso del limón, la metodología pudo reproducirse sin modificaciones, llevando a un rendimiento del 23,8%, bastante similar al determinado por el autor. La pectina poseía una tonalidad amarillo claro;

- Para el maracuyá, se vio necesaria la adaptación de ciertos parámetros operacionales con respecto a la metodología inicial, obteniendo así un rendimiento del 21,5%, significativamente mayor al hallado por el autor. El producto fue de un pálido color crema;

- La metodología propuesta para la manzana no sufrió cambios y arrojó un rendimiento del 14,1%, parecido al verificado en la literatura. La pectina presentó una coloración rojiza acentuada;

- Para el tomate, si bien ciertos parámetros no se aclararon, pudo cumplirse con las condiciones de operación, pero no se pudo recrear la materia prima adecuada. Comparando con el autor se tuvo un rendimiento del 7,3%, menos de una tercera parte. El producto poseía un color ocre rojizo;

- En el caso de la naranja, fue posible seguir la metodología del autor, con excepción de la similitud entre la especie de fruta y la fracción del fruto analizada, consiguiendo así un rendimiento del 15,9%, menos de la mitad cuantificada por el autor. El producto fue de un tono amarillo claro.

- Para los cítricos y el maracuyá se trabajó con ácido cítrico, un ácido orgánico con el que se obtuvieron los tres mejores rendimientos experimentales. Sin embargo, las metodologías reproducidas con ácidos minerales, utilizados en el caso de la manzana (nítrico) y el tomate (clorhídrico) no fueron capaces de alcanzar rendimientos de extracción superiores al 15,0%.

- Considerando factores como la naturaleza del ácido utilizado, la disponibilidad de la fruta en la región, el tiempo de extracción, el rendimiento obtenido y la tonalidad del producto final, la metodología llevada a cabo con el maracuyá amarilla fue la que mejor se desempeñó en comparación a las otras materias primas.

## 6.1 SUGERENCIAS PARA TRABAJOS FUTUROS

Si bien el rendimiento de extracción representa un parámetro clave para evaluar la factibilidad de un proceso de fabricación de pectina comercial, otros factores como el grado esterificación, contenido de ácido galacturónico, peso molecular, etc. son de igual importancia ya que permiten evaluar la calidad y con esto precisar el potencial que posee la sustancia como aditivo para industrias con estándares tan rigurosos como la alimentaria y la farmacéutica. Con base en lo expuesto se recomienda una caracterización completa de las pectinas, además de un estudio riguroso que permita determinar el efecto que tiene la variación de los parámetros de operación de modo a identificar cuales influyen en mayor medida en el rendimiento que genera la extracción con cada una de las materias primas. Así mismo, luego de culminar los ensayos de laboratorio resultaría interesante montar una planta a escala piloto que permita realizar más testeos.

## REFERENCIAS

ABPM. **Associação Brasileira de Produtores de Maçã**. Página inicial. [S.I.]. ABPM, c2021. Disponible en: <http://www.abpm.org.br>. Acceso en: 14 may. 2022.

AGRO KREBS. **Catálogo 2022**. Página inicial. [S.I.]. AGRO KREBS, c2022. Disponible en: <https://agrokrebs.mx/wp-content/uploads/2021/11/CATALOGO-AgroKrebs-2022-web.pdf>. Acceso en: 2 jun. 2022.

AGUILAR, Marlene *et al.* Determination of the Volatile Profile of Lemon Peel Oils as Affected by Rootstock. **Foods**, v. 9, n. 241, 2020.

ALANCAY, Matías *et al.* Extraction and physicochemical characterization of pectin from tomato processing waste. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, p. 2119-2130, 2017.

AOAC. **Official methods of analysis of AOAC international** 16. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists, 1995.

BAISSISSE, Salima *et al.* Comparison of Structure and Emulsifying Activity of Pectin Extracted from Apple Pomace and Apricot Pulp. **World Journal of Dairy and Food Sciences**, v. 5, p. 79-84, 2010.

BRADDOCK, R. J. **Handbook of citrus by-products and processing technology**. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1999.

CANTERI, G. M. H.; GILVAN, W. L. M.; SCHEER, D. A. Pectina: da Matéria-Prima ao Produto Final. **Polímeros**, v. 22, n. 2, p. 149-157, 2012.

CERVI, A. C.; IMIG, D. C. A new species of *Passiflora* (*Passifloraceae*) from Mato Grosso do Sul, Brazil. **Phytotaxa**, v. 103, n. 1, p. 46, 2013.

CHARCHALAC, Lilian Raquel. **Efecto del agente de extracción y tiempo de hidrólisis ácida en el rendimiento de pectina de cáscaras de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*)**. 2008. 29 f. Tesis (Graduación) - Curso de Ingeniería En Agroindustria Alimentaria. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, 2008.

CHASQUIBOL, S. N.; ARROYO B. E; MORALES, G. J. C. Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. **Ingeniería Industrial**, n. 26, p. 175-199, 2008.

CHOU, T. D.; KOKINI, J. L. Rheological properties and conformation of tomato paste pectins, citrus and apple pectins. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 6, p. 1658-1664, 1987.

CONSTENLA, D.; PONCE, A. G.; LOZANO, J. E. Effect of pomace drying on apple pectin. **LWT-Food Science and Technology**, v. 35, n. 3, p. 216-221, 2002.

CUESTA, M.; MUÑOZ, R. Extracción de pectina a partir de la corteza de maracuyá (*Passiflora edulis var. flavicarpa degener*). **Revista Politécnica**. v. 31, n. 1, p. 91-96, 2010.

DA SILVA, Elaine *et al.* Physico-chemical characteristics of passion fruit flour under removal of flavedo and of maceration. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 11, p. 869-875, 2019.

DANOVICH, Claudia Liliana. **Extracción de pectina de albedo de limón mediante enzimas pécticas producidas por una levadura autóctona**. 2019. 108 f. Disertación (Máster) - Curso de Tecnología de Los Alimentos, Universidad Nacional de Misiones, Posadas, 2019.

ENTRE FOGONES. **PARTES DEL TOMATE**. Página inicial. [S.I.]. ENTRE FOGONES, c2022. Disponible en: <https://cazosymarmitas.blogspot.com/2013/07/partes-del-tomate.html>. Acceso en: 06 jun. 2022.

ESCOBEDO, Gilberto Martín. **Valorización de la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis F. Flavicarpa Deg.*) como sub producto para obtener pectina usando como agente hidrolizante ácido cítrico**. 2013. 147 f. Tesis (Graduación) - Curso de Ingeniería Industrial. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2013.

ESCOBEDO, Gilberto. **VALORIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis F. flavicarpa Deg.*) COMO SUB PRODUCTO PARA OBTENER PECTINA USANDO COMO AGENTE HIDROLIZANTE ÁCIDO CÍTRICO**. Trabajo Final (Graduación) - Curso de Ingeniería Industrial. Universidad Católica Santo Toribio de Mongrovejo, Chiclayo, 2013.

FARHAT, Asma *et al.* Microwave steam diffusion for extraction of essential oil from orange peel: kinetic data, extract's global yield and mechanism. *Food chemistry*, v. 125, n. 1, p. 255-261, 2011.

FERRARI, R. A.; COLUSSI, F.; AYUB, R. A. Caracterização de subprodutos da industrialização do maracujá-aproveitamento das sementes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 101–102, 2004.

FERREIRA A., Salomón. **Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial**. 1. ed. Bogotá: Proceditor Ltda., 2007.

Food and Agriculture Organization (FAO). **Citrus Fruit Fresh and Processed Statistical Bulletin 2020**. Roma, 2021.

Food and Agriculture Organization (FAO). **Datos sobre el cultivo de tomate a nivel mundial**. Roma, 2020.

Food and Agriculture Organization (FAO). **Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe**. Buenos Aires, 2014.

**FRUIT plant reproductive body.** In: BRITANNICA Encyclopædia. Chicago: Encyclopædia Britannica, Inc., 2022. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/fruit-plant-reproductive-body>. Acceso en: 20 abr. 2022.

GAMBOA, Mireida. **APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS OBTENIDOS DEL PROCESO DE DESPULPADO DEL MANGO ( *Mangifera indica* L.), DE LAS VARIETADES SMITH, TOMMY ATKINS, HADEN Y BOCADO COMO MATERIAS PRIMAS PARA LA OBTENCIÓN DE PECTINAS.** 2009. 117 f. Disertación (Máster) - Curso de Ciencias e Ingeniería de los alimentos, Universidad de Oriente núcleo de Anzoátegui, Puerto La Cruz, 2009.

GATAHI, Dennis Maina. Challenges and opportunities in tomato production chain and sustainable standards. **International Journal of Horticultural Science and Technology**, v. 7, n. 3, p. 235-262, 2020.

GEE, M. *et al.* A Method for the Characterization of Pectic Substances in Some Fruit and Sugar-Beet Marcs. **Journal of Food Research**, v. 23, p. 72-75, 1958.

GRASSINO, Antonela Ninčević *et al.* Ultrasound assisted extraction and characterization of pectin from tomato waste. **Food chemistry**, v. 198, p. 93-100, 2015.

HERNÁNDEZ, Junior *et al.* Potencial Agroindustrial del Epicarpio de Maracujá como Ingrediente Alimenticio Activo. **Información Tecnológica**, v. 30, n. 2, 245-256, 2019.

IBGE. **Produção de Maracujá.** Página inicial. [S.I.]. IBGE, c2020. Disponible en: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br>. Acceso en: 17 may. 2022.

INVERNÓN, Vanessa *et al.* Manual de laboratorio de Botánica. El fruto. **Reduca (Biología)**, v. 5, n. 2, p. 1-14, 2012.

IPPA. **International Pectin Producers Association.** Página inicial. [S.I.]. IPPA, c2009. Disponible en: <http://www.interscience.com>. Acceso en: 15 jul. 2022.

KANMANI, P. *et al.* Extraction and analysis of pectin from citrus peels: augmenting the yield from Citrus limon using statistical experimental design. **Iranian (Iranica) Journal of Energy & Environment**, v. 5, n. 3, 2014.

KAUR, Devinder *et al.* Effect of extraction conditions on lycopene extractions from tomato processing waste skin using response surface methodology. **Food chemistry**, v. 108, n. 2, p. 711-718, 2008.

KENNEDY, M. *et al.* Apple pomace and products derived from apple pomace: uses, composition and analysis. In: **Analysis of plant waste materials.** Springer, Berlin, Heidelberg, 1999. p. 75-119.

KRISHNAMURTI, C. R. OIRI, K. V. K. V. OIRI. **PREPARATION, PURIFICATION AND COMPOSITION OF PECTINS FROM INDIAN FRUITS AND VEGETABLES**, v. 29, n. 4, p. 155-167, 1948.

- KULKARNI, S. G.; VIJAYANAND, P. Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa* L.). **LWT-Food Science and Technology**, v. 43, n. 7, p. 1026-1031, 2010.
- KUMAR, S.; OZUKUM, R.; MATHAD, G. M. Extraction, characterization and utilization of pectin from apple peels. **J. Pharmacogn. Phytochem**, v. 9, p. 2599-2604, 2020.
- KUTE, Anil B. *et al.* Characterization of pectin extracted from orange peel powder using microwave-assisted and acid extraction methods. **Agricultural Research**, v. 9, n. 2, p. 241-248, 2020.
- LEROUX, J. *et al.* Emulsion stabilizing properties of pectin. **Food Hydrocolloids**, v. 17, p. 455-462, 2002.
- LI, J.; DI, T.; BAI, J. Distribution of Volatile Compounds in Different Fruit Structures in Four Tomato Cultivars. **Molecules**, v. 24, n. 14, 2019.
- LICANDRO, G.; ODIO, C. E. Citrus by-products. In: **Citrus**. CRC Press, 2002. p. 173-192.
- LIM, T. K. **Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants: Volume 12 Modified Stems, Roots, Bulbs**. Cham: Springer International Publishing, 2016. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-26065-5>. Acceso en: 25 may. 2022.
- LIMA, Adelise de Almeida, **O cultivo do maracujá**, Cruz das Almas, BR: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Embrapa Mandioca e Fruticultura, 1999. (Circular Técnica no. 35).
- LIMA, Luiz. **REVISÃO LITERARIA DA EXTRAÇÃO DA PECTINA DO Citrus lemon**. 2020. 35 f. Tesis (Graduación) - Curso de Licenciatura En Química. Fundação Educacional do Municipio de Assis, Assis, 2020.
- MACORIS, Mariana *et al.* Volatile compounds from organic and conventional passion fruit (*Passiflora edulis F. Flavicarpa*) pulp. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 2, p. 430-435, 2011.
- MARIĆ, Mirela, *et al.* An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction. **Trends in Food Science & Technology**, v. 76, p. 28-37, 2018.
- MARTÍNEZ, N; CAMACHO, M.; MARTÍNEZ, J. Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. **Actividad Dietética**, v. 12, n. 2, p. 64-68, 2008.
- MAY, Colin. D. Industrial Pectins: Sources, Production and Applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 12, p. 79-99, 1989.
- MCCOLLUM, J. P. *et al.* Distribution of carotenoids in the tomato. **Food Research**, v. 20, p. 55-59, 1955.

MOPOSITA VÁSQUEZ, D.; NÚÑEZ TORRES, D. **Obtención de aceites esenciales de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*, variedad valenciana) a través del método de destilación por arrastre de vapor, utilizando tres concentraciones de bicarbonato de sodio para incrementar su rendimiento.** 2012. Tesis (Graduación) – Curso de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Estatal de Bolívar, San Miguel, 2012.

MORENO ALVAREZ, M. J. *et al.* Evaluación del contenido de carotenoides totales en cáscaras de algunas variedades de naranjas venezolanas. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 23, n. 3, p. 301-309, 2006.

NARASIMMAN, P.; SETHURAMAN, P. An overview on the fundamentals of pectin. **International Journal of Advanced Research**, v. 4, n. 12, p. 1855-1860.

NEVES, Marcos Fava *et al.* O retrato da citricultura brasileira. **Ribeirão Preto: CitrusBR**, p. 137, 2010.

NOGUERA, R. R.; VALENCIA, S; POSADA, S. L.; Efecto de diferentes aditivos sobre la composición y el perfil de fermentación del ensilaje de cáscaras de Maracuyá (*Passiflora edulis*). **Livestock Research for Rural Development**, v. 26, n. 9, p. 1-8, 2014.

PACHECO, T. M. *et al.* Structural and Rheological Properties of Pectins Extracted from Industrial Sugar Beet By-Products. **Molecules**, v. 24, n. 392, p. 1-16, 2019.

PAGANINI, Cícero *et al.* Aproveitamento de bagaço de maçã para a produção de álcool e obtenção de fibras alimentares. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 1231-1238, 2005.

PECTIN PRODUCERS. **WHERE PECTIN COMES FROM.** Página inicial. [S.I.]. PECTIN PRODUCERS, c2022. Disponible en: <https://pectinproducers.com/factsheet-hub/where-pectin-comes-from/>. Acceso en: 1 abr. 2022.

PERONDI, Daniele *et al.* CARACTERIZAÇÃO DE DIFERENTES CASCAS DE FRUTAS (LARANJA, LIMA, LIMÃO E BERGAMOTA) PARA FINS ENERGÉTICOS. **Simpósio Internacional Sobre Gerenciamento dos Resíduos Agropecuários e Agroindustriais**, 2019.

PMG ENGINEERING. **Fruit Processing Industry- An Insight.** Página inicial. [S.I.]. PMG ENGINEERING, c2022. Disponible en: <https://www.pmg.engineering/fruit-processing-industry-an-insight/>. Acceso en: 17 jun. 2022.

POJIĆ, M.; KRAVIĆ, S.; STOJANOVIĆ, Z. Determination of Moisture and Ash in Foodstuffs. In: NOLLET, Leo; TOLDRÁ, Fidel. **Handbook of Food Analysis**, v. 1, 3. ed. CRC Press. 2015. cap. 14, p. 275-296.

POSCOSECHA y Buenas Prácticas de Producción orientadas a la Agricultura Familiar. **Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)**. Turrialba, 2018. Disponible en: <https://mfiles.iica.int/CTL/CPC/LEC/M2.pdf>. Acceso en: 8 mar. 2022.

PÚA, Amparo *et al.* EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA PECTINA OBTENIDA A PARTIR DE LA CÁSCARA DE LIMÓN TAHITÍ (*CITRUS X LATIFOLIA*) EN DOS ESTADOS DE MADURACIÓN. **Alimentech. Ciencia y Tecnología Alimentaria**, v. 13, n. 2, p. 180-194, 2015.

RAMOS, Heloisa. **ESTABELECIMENTO DE UM MODELO DE EXTRAÇÃO ÁCIDA DE PECTINA DE BAGAÇO DE MAÇÃ**. Disertación (Máster) - Curso de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Estatal de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2006.

RENARD, C. M.; THIBAUT, J. Degradation of pectins in alkaline conditions: kinetics of demethylation. **Carbohydrate Research**, v. 286, p. 139-150, 1996.

REZZADORI, K.; BENEDETTI, S.; AMANTE, E. R. Proposals for the residues recovery: Orange waste as raw material for new products. **Food and bioproducts processing**, v. 90, n. 4, p. 606-614, 2012.

RODSAMRAN, P.; SOTHORNVIT, R. Extraction of phenolic compounds from lime peel waste using ultrasonic-assisted and microwave-assisted extractions. **Food bioscience**, v. 28, p. 66-73, 2019.

ROLIN, C.; DE VRIES, J. Pectin. In: BEMILLER James y WHISTLE Roy. **Industrial Gums. Polysaccharides and Their Derivatives**. 3. ed. Lille Skensved: Academic Press, Inc., 1993. cap. 10, p. 258-288.

SAAVEDRA, Lenin Alejandro. **Uso integral del maracuyá (passiflora edulis flavicarpa) en la extracción de pectina y formulación de mermeladas**. 2015. 126 f. Tesis (Graduación) - Curso de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador, Quito, 2015.

SAKAI *et al.* Pectin, Pectinase, and Protopectinase: Production, Properties, and Applications. **Advances in Applied Microbiology**, v. 39, p. 213-294, 1993.

SANTACRUZ, Yolanda. **Impregnación de lactobacillus en productos de manzana**. Disertación (Máster) - Curso de Ciencia de Alimentos. Universidad de las Américas Puebla, San Andrés Cholula, 2004.

SANTILLÁN, Miriam Magaly. **EFFECTO DEL TIPO DE ÁCIDO Y CONCENTRACIÓN DE ALCOHOL EN EL GRADO DE GELIFICACIÓN DE LA PECTINA EXTRAÍDA DE LA CÁSCARA DE NARANJA (Citrus sinensis)**. 2019. 177 f. Tesis (Graduación) - Curso de Ingeniería En Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, 2019.

SAVARY, Breet *et al.* Pectin Acetylerase - Analysis and Application for Sugar Beet Pectin Utilization. **1st Joint IIRB-ASSBT Congress**, p. 921-924, 2003.

SAYAH, Mohamed Y. *et al.* Comparative Study on Pectin Yield According To the State of the Orange Peels and Acids Used. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, v. 3, n. 8, p. 15658-15665, 2014.

SCHIEBER, Andreas *et al.* A new process for the combined recovery of pectin and phenolic compounds from apple pomace. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 4, n. 1, p. 99-107, 2003.

SCHULTZ, Alyce *et al.* Effects of pectin on diarrhea in critically ill tube-fed patients receiving antibiotics. **American Journal of Critical Care**, v. 9, n. 6, p. 403, 2000.

STASHENKO, E.; MARTÍNEZ, J. R. Algunos consejos útiles para el análisis cromatográfico de compuestos orgánicos volátiles. **Scientia Chromatographica**, v. 3, n. 3, p. 199, 2011.

SENGAR, Animesh Singh *et al.* Comparison of different ultrasound assisted extraction techniques for pectin from tomato processing waste. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 61, p. 104812, 2020.

SERRANO GARCÍA, Sara. “**VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE LA NARANJA Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**”. 2021. 21 f. Disertación (Máster) - Curso de Gestión de La Seguridad y Calidad Alimentaria, Universitat Politècnica de València, Valencia, 2021.

SHARMA, R.; OBEROI, H. S.; DHILLON, G. S. Fruit and vegetable processing waste: renewable feed stocks for enzyme production. In: **Agro-industrial wastes as feedstock for enzyme production**. Academic Press, 2016. p. 23-59.

SOTO, Edgar. **Estudio de la remoción de cu(ii) en medio acuoso utilizando el albedo de la cáscara de naranja**. 2009. 148 f. Tesis (Graduación) - Curso de Licenciatura En Química. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2009.

SPOHR VENZON, Simoni *et al.* Physicochemical properties of modified citrus pectins extracted from orange pomace. **Journal of food science and technology**, v. 52, n. 7, p. 4102-4112, 2014.

SRIAMORNSAK, Pornsak. Chemistry of pectin and its pharmaceutical uses: A review. **Silpakorn University International Journal**, v. 3, n. 1-2, p. 206-228, 2003.

SRIVASTAVA, P.; MALVIYA, R. Sources of pectin, extraction and its applications in pharmaceutical industry – **An overview**. **Indian Journal of Natural Products and Resources**, v. 2, n. 1, p. 10-18, 2011.

STRATI, I. F.; OREOPOULOU, V. Process optimisation for recovery of carotenoids from tomato waste. **Food Chemistry**, v. 129, n. 3, p. 747–752, 2011.

SUNDAR RAJ, Allwyn *et al.* A Review on Pectin: Chemistry due to General Properties of Pectin and its Pharmaceutical Uses. **Omic International**, v. 1, n. 12, p. 1-4, 2012.

TALMA *et al.* Characterization of pericarp fractions of yellow passion fruit: density, yield of flour, color, pectin content and degree of esterification. **Food Science and Technology**, v. 39, n. 2, p. 683-689, 2019.

TÉCNICO AGRÍCOLA. **Partes de un fruto cítrico, naranja, mandarina, limon, pomelo**. Página inicial. [S.I.]. TÉCNICO AGRÍCOLA, c2011. Disponible en: <https://www.tecnicoagricola.es/partes-de-un-fruto-citrico-naranja-mandarina-limon-pomelo/>. Acceso en: 05 jun. 2022.

TÉCNICO AGRÍCOLA. **Partes del fruto - manzana**. Página inicial. [S.I.]. TÉCNICO AGRÍCOLA, c2022. Disponible en: [https://www.tecnicoagricola.es/las-partes-de-la-planta-el-fruto/manzana\\_media\\_fruta\\_ecologica/](https://www.tecnicoagricola.es/las-partes-de-la-planta-el-fruto/manzana_media_fruta_ecologica/). Acceso en: 05 jun. 2022.

THAKUR, B. R.; SINGH, R. K.; HANDA, A. K. Chemistry and Uses of Pectin - A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 37, n. 1, p. 47-73, 1997.

THE LEMON AGE. **Limón y sus partes**. Página inicial. [S.I.]. THE LEMON AGE, c2022. Disponible en: <https://thelemonage.eu/elige-tus-limones/vamos-por-partes/>. Acceso en: 01 jun. 2022.

TIGCILEMA, Carlos. **Revisión de Literatura: Importancia del licopeno, métodos de extracción y propuesta para la adición de tomate en polvo en jamón Virginia**. Tesis (Graduación) - Curso de Licenciatura en Ingeniería en Agroindustria Alimentaria. Universidad Zamorano, San Antonio de Oriente, 2020.

TWINOMUHWESI, H.; GODSWILL, A. C.; KAHUNDE, D. Extraction and characterization of pectin from orange (*Citrus sinensis*), lemon (*Citrus limon*) and tangerine (*Citrus tangerina*). **American Journal of Physical Sciences**, v. 1, n. 1, p. 17-30, 2020.

VILAS BOAS, Eduardo Valério de Barros, *et al.* **Manejo de resíduos da agroindústria**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001, 110 p.

VIRK, B. S.; SOGI, D. S. Extraction and Characterization of Pectin from Apple (*Malus Pumila. Cv Amri*) Peel Waste. **International Journal of Food Properties**, v. 7, n. 3, p.693-703, 2004.

WALTER, R. H. **The Chemistry and Technology of Pectin**. 1. ed. San Diego: Academic Press, Inc., 1991.

WESTPHAL, Anna *et al.* Analytical characterisation of the seeds of two tomato varieties as a basis for recycling of waste materials in the food industry. **European Food Research and Technology**, v. 239, n. 4, p. 613-620, 2014.

WOSIACKI, Gilvan *et al.* Brazilian apple Production - twenty years later. **Fruit Processing**, v. 10, n. 12, p. 472-475, 2000.

YANG, Shunbo *et al.* Identification, Comparison and Classification of Volatile Compounds in Peels of 40 Apple Cultivars by HS-SPME with GC-MS. **Foods**, v. 10, 2021.

ZANELLA, Karine *et al.* Study of Volatiles from 'Pera' Sweet Orange Peel Using Karl Fischer Titration, GC-FID and GC/MS Techniques. **Chemical Engineering Transactions**, v. 32, p. 409-414, 2013.

ZANELLA, Karine. **EXTRAÇÃO DA PECTINA DA CASCA DA LARANJA- PERA (*Citrus sinensis* L. Osbeck) COM SOLUÇÃO DILUÍDA DE ÁCIDO CÍTRICO**. Disertación (Máster) - Curso de Ingeniería Química. Universidad Estatal de Campinas, Campinas, 2013.

ZERAIK, M. L.; YARIWAKE, J. H. Quantification of isoorientin and total flavonoids in *Passiflora edulis* fruit pulp by HPLC-UV/DAD. **Microchemical Journal**, v. 96, n. 1, p. 86-91, 2010.

ZHANG, Wei *et al.* Pectin from black tomato pomace: characterization, interaction with gallotannin, and emulsifying stability properties. **Starch-Starcke**, v. 71, n. 3-4, p. 1800172, 2018.