

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis*)  
Y MANGO (*Mangífera indica*) PARA LA ELABORACIÓN DE UN  
BIOPLÁSTICO.**

**Yandark Acosta Dreika**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**PAMPLONA, 2 julio de 2021**

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis*)  
Y MANGO (*Mangífera indica*) PARA LA ELABORACIÓN DE UN  
BIOPLÁSTICO.**

**Yandark Acosta Dreika**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERA QUÍMICA**

**Director: Alexander Luna Cortés**

**MSc. Ingeniero Químico**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**Pamplona, 2 de julio de 2021**

## TABLA DE CONTENIDO

3.1.1	Bioplásticos.....	14
3.1.2	Elaboración de polímeros a partir de desechos biológicos.....	14
3.1.3	Producción de biopolímeros a partir de biomasa de algas.....	14
3.1.4	Elaboración de bioplásticos a partir de residuos agroindustriales.....	14
3.1.5	Matriz polimérica del bioplástico.....	15
3.2.1	Mango ( <i>Mangúífera índica</i> ).....	16
3.2.2	Maracuyá ( <i>Passiflora edulis</i> ).....	16
3.2.3	Análisis termogravimétrico (TGA).....	17
3.2.4	Calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	19
4.1.1	Extracción de pectina en solución.....	22
4.2.1	Prototipo A.....	23
4.2.2	Prototipo B.....	26
4.2.3	Prototipo C.....	27
4.2.4	Prototipo D.....	30
4.2.5	Prototipo E.....	33
4.2.6	Prototipo F.....	35
4.2.7	Prototipo G.....	37
5.1.1	Porcentaje de humedad en los prototipos de bioplástico.....	39
5.1.2	Influencia del grosor del bioplástico.....	40
5.1.3	Características físicas de los prototipos de bioplásticos.....	41
5.4.1	Análisis por TGA a los prototipos obtenidos.....	46
5.4.2	Análisis por DSC a los prototipos obtenidos.....	49

## TABLA DE FIGURAS

<b>Fig 1.</b> Desperdicios de maracuyá y mango generados por la empresa Fruttec S.A.S en el año 2020 y en los 3 primeros meses del año 2021. ....	12
<b>Fig 2.</b> Estructura de la pectina. ....	15
<b>Fig 3.</b> Maracuyá (Passiflora Edulis ) .....	17
<b>Fig 4.</b> Curva de un análisis TGA de una blenda polimérica. Tomada de: chasqueweb.ufrgs.br Análisis instrumental aplicado a polímeros .....	18
<b>Fig 5.</b> Termograma diferencial de descomposición de oxalato de calcio. ....	19
<b>Fig 6.</b> Esquema general de un equipo de calorimetría diferencial de barrido. ....	20
<b>Fig 7.</b> Termograma de DSC.Tomada de: S. LAKSHMI et al Differential scanning calorimetry. ....	20
<b>Fig 8.</b> Diagrama de bloques del prototipo A.....	24
<b>Fig 9.</b> Proceso de elaboración del Prototipo A. ....	25
<b>Fig 10.</b> Diagrama de bloques del prototipo B.....	26
<b>Fig 11.</b> Lámina del prototipo B y su implementación. ....	27
<b>Fig 12.</b> Diagrama de bloques del prototipo C.....	28
<b>Fig 13.</b> Proceso de elaboración del prototipo C.....	29
<b>Fig 14.</b> Transporta vasos realizado con el prototipo C .....	30
<b>Fig 15.</b> Prototipo C escalado a para puntos de venta. ....	30
<b>Fig 16.</b> Diagrama de bloques del prototipo D.....	31
<b>Fig 17.</b> Proceso de elaboración del prototipo D. ....	32
<b>Fig 18.</b> Pizarra realizada con el prototipo D. ....	33
<b>Fig 19.</b> Diagrama de bloques del prototipo D.....	34
<b>Fig 20.</b> Proceso de elaboración del prototipo E. ....	35
<b>Fig 21.</b> Diagrama de bloques del prototipo F. ....	36
<b>Fig 22.</b> Proceso de elaboración del prototipo F. ....	36
<b>Fig 23.</b> Aislante térmico para bebidas calientes realizado con el prototipo F de bioplástico.....	37
<b>Fig 24.</b> Diagrama de bloques del prototipo G.....	37
<b>Fig 25.</b> Proceso de elaboración del prototipo G. ....	38
<b>Fig 26.</b> Empaque para rollos de dulce de fruta. ....	38
<b>Fig 27.</b> Efecto de la humedad en la sudoración del material. ....	39
<b>Fig 28.</b> Falla del material por diferencia de espesor. ....	40
<b>Fig 29.</b> Diferencia de espesor en el prototipo B. ....	41
<b>Fig 30.</b> Diferencia de partículas en el prototipo C.....	41
<b>Fig 31.</b> Unión entre cáscaras de maracuyá húmeda de gran tamaño con pectina.....	42
<b>Fig 32.</b> Tercer prototipo de bioplástico después de 2 meses de su elaboración. ....	42
<b>Fig 33.</b> Coloración de los diferentes prototipos.....	43
<b>Fig 34.</b> Paleta de colores de los diferentes prototipos de bioplástico. ....	43
<b>Fig 35.</b> Agrietamiento de las láminas D y E respectivamente.....	44
<b>Fig 36.</b> Residuos secos en el prototipo F de bioplástico.....	45

<b>Fig 37.</b> Color y aroma evaluados para los prototipos de bioplásticos. ....	45
<b>Fig 38.</b> Características de los prototipos de bioplástico. ....	46
<b>Fig 40.</b> TGA de las cáscaras de mango <sup>69</sup> .....	47
<b>Fig 39.</b> DSC yTGA de las cáscaras de mango <sup>7172</sup> . ....	48
<b>Fig 41.</b> TGA y DTG de la pectina del mango <sup>74</sup> .....	48
<b>Fig 42.</b> DSC y TGA de las cáscaras de maracuyá <sup>7172</sup> .....	49
<b>Fig 43.</b> Termogravimetría y calorimetría diferencial de barrido (TGA/DSC) para material de revestimiento optimizado y pectina de alto metoxilo. ....	50
<b>Fig 44.</b> Proceso de extracción de celulosa proveniente de la corona de la piña. ....	50

## INTRODUCCIÓN

Según la organización de naciones unidas (ONU) se estima que en el año 2050 la población mundial estará alrededor de 9.700 millones<sup>1</sup>, por ende a medida que la población aumenta, también se incrementa la demanda alimentaria. Los sectores agroindustriales y agropecuarios crecen paralelamente para suplir esta necesidad, generando mayor cantidad de residuos<sup>2</sup>. Entre éste sector agroindustrial se encuentra la empresa *Fruttec S.A.S* que genera alrededor de 42 toneladas de residuos mensuales proveniente del despulpado de frutas. Las frutas que generan mayor cantidad de residuos son el maracuyá (*pasiflora edulis*) y mango (*mangifera indica*), ya que cuentan con un rendimiento del 30 y 60% respectivamente. Para generar un aprovechamiento residual en este proyecto se sintetizan 7 prototipos de bioplástico, que su mayoría pueden ser implementados en la vida cotidiana. Los materiales fueron comparados con la literatura a través de análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC), obteniendo biomateriales con estabilidad térmica entre los 150 y 200°C y no fue posible determinar claramente una temperatura de cristalización o fusión.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradezco a Dios por iluminar mi camino profesional, a mi familia por apoyarme en todo momento, por creer en mí y brindarme su apoyo incondicional con mis ideas y proyectos. De la misma manera agradezco a todas aquellas personas que hicieron parte de este proceso de aprendizaje, a mis maestros, los cuales impartieron en mí, sabiduría y conocimientos para seguir mi camino, aportando a la sociedad ideas de innovación en pro del desarrollo de nuestro entorno. Muy especialmente agradezco a mi tutor Alexander Luna Cortés por guiarme en este recorrido y enseñarme de su experiencia a ver en cada día una oportunidad de aprendizaje.

# 1 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN

## 1.1 Definición del problema

Según la organización de naciones unidas (ONU) se estima que dentro de 29 años la población mundial pasará de 7.700 millones a 9.700 millones en 2050<sup>1</sup>. A medida que la población aumenta, también se incrementa la demanda alimentaria. Los sectores agroindustriales y agropecuarios crecen paralelamente para suplir esta necesidad, generando mayor cantidad de residuos<sup>2</sup>.

La mayoría de los residuos agroindustriales se depositan en rellenos sanitarios o simplemente se descartan en lugares inadecuados<sup>3</sup>, generando problemas ambientales e impactos económicos<sup>4</sup>. En la agroindustria *Fruttec S.A.S* se generan alrededor de 42 toneladas de residuos al mes, provenientes del proceso de despulpado de frutas como mango (*Mangifera indica*), maracuyá (*Passiflora edulis*), fresa (*Fragaria*), mora (*Rubus ulmifolius*), piña (*Ananas comosus*), guayaba (*Psidium guajava*), curuba (*Passiflora tripartita*), lulo (*Solanum quitoense*), guanaba (*Annona muricata*). La agroindustria *Fruttec S.A.S* actualmente no cuenta con estrategias ni procesos siguientes para el aprovechamiento de estos subproductos, por ende, se ve obligada a contratar a VEOLIA, empresa encargada del transporte, tratamiento y disposición final de residuos.

Las frutas que generan mayor cantidad de residuos en la agroindustria *Fruttec S.A.S* son mango (*Mangifera indica*) y maracuyá (*Passiflora edulis*), ya que presentan un menor rendimiento en el proceso de despulpado. En el proceso realizado en *Fruttec S.A.S* el mango presenta un rendimiento del 60%, y mensualmente se procesan 7,7 toneladas. El maracuyá tiene un rendimiento alrededor de 25-30%, mensualmente se procesan 6 toneladas.

## 1.2 Justificación

Los residuos agroindustriales pueden ser aprovechados como materias primas para la elaboración de productos con valor agregado tales como biopolímeros, fertilizantes<sup>5</sup>, alimentos animales<sup>6</sup>, biocombustibles<sup>7</sup> ya que son fuentes de biomasa<sup>8</sup>.

En la figura 1 y 2 se muestran los residuos de mango y maracuyá generados en el proceso de despulpado de fruta en la industria *Fruttec S.A.S*, se obtienen una extensa cantidad de cáscaras, semillas y trazas de pulpa de fruta que son desechados al medio ambiente sin ser aprovechados.



*Fig 1. Residuos de maracuyá.*

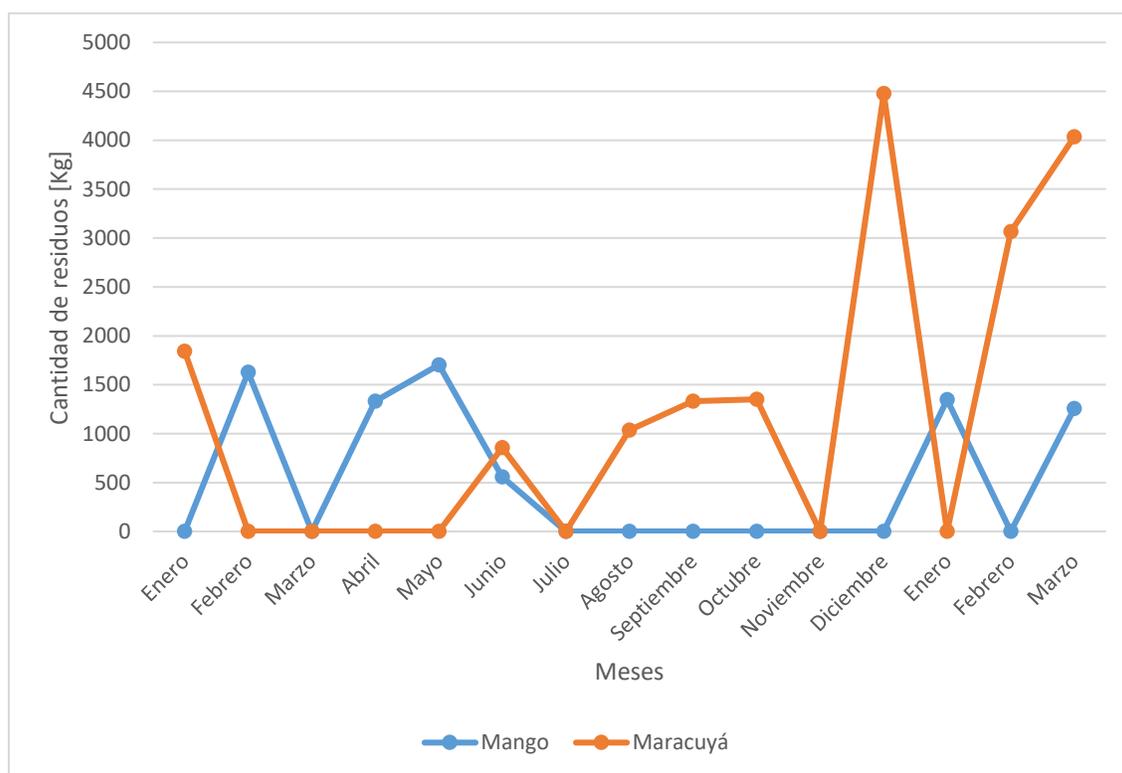


*Fig 2. Residuos de mango.*

En *Fruttec S.A.S* el año 2020 y en los 3 primeros meses del año 2021 se han generado 128.119,33 kilogramos de residuos, de los cuales 29.898,98 pertenecen a residuos de maracuyá y mango equivalente al 22,6% (Fig 3). A lo largo de este tiempo, se han procesado 54 toneladas, empacado 168.796 unidades de 125g y desperdiciado 29.9 toneladas. Se desean aprovechar estos desechos con el fin de darle un valor agregado y ser utilizados para la creación de nuevos productos, como por ejemplo el bioplástico. En este proyecto se realizan

varios tipos de bioplásticos donde se utilizan cáscaras de maracuyá y de mango, que además de ser una buena alternativa para realizar materiales biodegradables<sup>9</sup>, son frutas que generan mayor cantidad de residuos, gracias a que, presentan menor rendimiento en el proceso de despulpado. El mango tiene aproximadamente entre el 30 y 60 % de rendimiento, en enero del 2021 se procesaron 3319 kg y se desperdiciaron 1347.75 kg. El maracuyá tiene un rendimiento aproximadamente entre el 20 y 30 %, pues en marzo 2021 se procesaron 5686 kg se desperdiciaron 4033.85 kg.

Para la recuperación de los residuos generados en *Fruttec S.A.S*, surge la idea de crear un biopolímero a partir de residuos de maracuyá y de mango; se desean analizar sus propiedades mecánicas, evaluar la degradación y la transición térmica. El objetivo es conocer sus características mecánicas y térmicas, para poder realizar nuevos productos innovadores (portavasos, transportavasos, pizarras, material aislante para bebidas calientes, empaque para dulces) en la agroindustria *Fruttec S.A.S*.



**Fig 3.** Desperdicios de maracuyá y mango generados por la empresa *Fruttec S.A.S* en el año 2020 y en los 3 primeros meses del año 2021.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

- Desarrollar un biopolímero a partir de residuos de cáscara de mango y maracuyá de la empresa *Fruttec SAS*.

### 2.2 Objetivos específicos

- Analizar la estabilidad térmica del material por medio de análisis termogravimétrico (TGA).
- Observar las transiciones térmicas del biopolímero mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC).
- Determinar si el producto obtenido a partir de cáscaras de mango y maracuyá cuenta con buenas propiedades mecánicas para ser utilizado como materia prima de productos de innovación de la agroindustria *Fruttec S.A.S.*

## 3 MARCO TEÓRICO

### 3.1 Antecedentes

#### 3.1.1 Bioplásticos

Los bioplásticos son una variedad de plásticos hechos a partir de fuentes vegetales<sup>10</sup>, renovables o sintéticas. Su obtención se puede dar mediante la formación de películas biodegradables provenientes del almidón, pectinas, celulosa, quitosano<sup>11</sup>; también puede darse mediante estrategias biotecnológicas como la fermentación bacteriana, produciendo ácido poliláctico (PLA), bio-polietileno (Bio-PE) y el bio-polietilentereftalato (Bio-PET), siendo no biodegradables<sup>12</sup>.

La industria de los bioplásticos es muy amplia, pues en la actualidad se han sustituido muchos plásticos convencionales en áreas como: envases de alimentos, industria textil, alimentaria<sup>13</sup>, evidenciando que el alcance de mercado es bastante amplio para este tipo de productos. La síntesis de bioplásticos biodegradables, disminuyen la huella ambiental<sup>14</sup> al ser elaborados de recursos biológicos y ser degradados por microorganismos naturales en el agua, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y ciertos compuestos inorgánicos bajo ciertas condiciones<sup>15</sup>.

#### 3.1.2 Elaboración de polímeros a partir de desechos biológicos.

La quitina se encuentra naturalmente en conchas de crustáceos, exoesqueletos de insectos, hongos y plancton<sup>16</sup>. El cangrejo en comparación con el camarón, es quien presenta mayor cantidad de quitina en su cáscara, ya que tiene entre un 25-30%<sup>17</sup> y el camarón presenta un 17%<sup>18</sup>. En el estudio realizado por Muthulingam Seenuvasan et al<sup>16</sup>, realizaron un biopolímero a partir de las cáscaras de cangrejo, polvo de cáscara de coco (CSP) y aceite de ricino. Realizaron la síntesis de biopolímero con diferentes concentraciones de quitina extraída desde 20 a 100% (p/v) y 20 a 80% (p/v) de CSP como carga en disolvente de LiCl. El rendimiento más alto de biopolímero se observó con la composición de quitina al 60%, CSP al 25% y aceite de ricino al 15%<sup>16</sup>.

#### 3.1.3 Producción de biopolímeros a partir de biomasa de algas.

La biomasa de algas posee almidón y celulosa que se pueden extraer por diferentes rutas de obtención<sup>19</sup>. Las microalgas están conformadas por células pequeñas circulares y una pared celular rígida. Algunas de estas microalgas como *Nannochloropsis sp*, *Spirulina*, *Crorella*, *Botryococcus braunii* son materia prima para la elaboración de biopolímeros<sup>20</sup>. La proteína de las microalgas es suficiente para ser convertida en bioplástico, no necesita pretratamientos, ni aditivos, lo que lo hace una fuente rentable para la producción de biopolímero a gran escala<sup>21,22</sup>.

#### 3.1.4 Elaboración de bioplásticos a partir de residuos agroindustriales.

Los residuos agroindustriales se generan como subproductos en diferentes procesos y conllevan graves problemas con su manejo, transporte y disposición final<sup>23</sup>. En la mayoría de los procesos, estos residuos no son aprovechados. Los residuos con alta cantidad de pectina, almidón, celulosa, gluten, quitina, son fuentes para la generación de bioplásticos<sup>24</sup>.

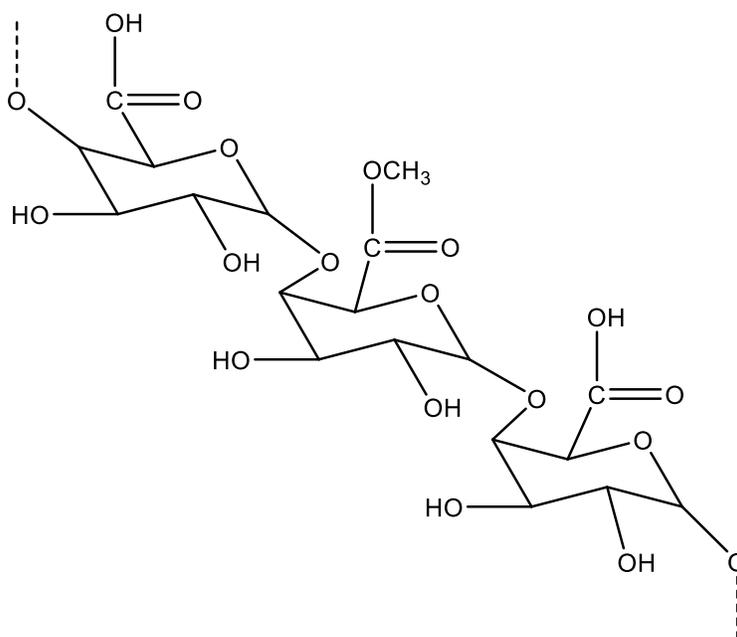
En el estudio realizado por *Escribano (2020)* utilizó como materias primas, residuos de cáscaras de maracuyá y glicerina, se realizaron 5 pruebas a diferentes composiciones, a condiciones de temperatura entre los 40°C y 80°C. Al final del estudio, se llegó a la conclusión que el bioplástico con mayor resistencia a la tracción era el compuesto 100% con maracuyá, pues resistió 30.34 MPa<sup>9</sup>.

*J. Chariguamán* caracterizó bioplástico compuesto de harina de maracuyá, almidón de maíz/yuca y glicerol, con el fin de conocer su fuerza de perforación, espesor, permeabilidad al vapor de agua, solubilidad, opacidad, deformación perforación, tensión, deformación y módulo de elasticidad, para diferentes composiciones del material. Con la incorporación a la matriz del bioplástico de la harina de albedo de maracuyá mejoró las propiedades mecánicas y empeoró las propiedades de barrera<sup>25</sup>.

Al evidenciar las mejoras en propiedades mecánicas de los bioplásticos hechos a base de maracuyá, surge la idea de realizar un bioplástico con los mayores desperdicios generados por la empresa *Fruttec S.A.S*, maracuyá y mango. Se desea obtener diferentes bioplásticos a partir de estos residuos capaces de darles una utilidad y un aprovechamiento industrialmente.

### 3.1.5 Matriz polimérica del bioplástico.

En la figura 4 se observa la posible matriz obtenida a partir del mango y el maracuyá, principalmente la matriz se basa de la presencia de la pectina extraída y alguna traza menor de ácido cítrico, agua (dependiendo del secado) y glicerina, además de compuestos remanentes de la fruta del mango y el maracuyá. Se debe aclarar que fue imposible caracterizar la presencia de ciertos componentes por alguna técnica como cromatográfica de gases<sup>26</sup> o TGA<sup>27</sup> ya que no se contó con los equipos, por lo anterior se reportan los componentes presentes en la matriz con base a similares trabajos realizados<sup>28,29</sup>.



**Fig 4.** Estructura de la pectina.

La cantidad de compuestos en los residuos del mango es bastante grande, según *Haocheng et al.*<sup>26</sup>, se encuentra presentes: terpenos, éteres, cetonas, alcoholes y aldehídos, aunque se aclara que debido al proceso de secado es posible que varios de estos se volatilicen durante esta operación. Algún índice de presencia de estos compuestos citados es la presencia de aromas durante el proceso de síntesis del bioplásticos, corroborando la información reportada por *Haocheng et al.*<sup>26</sup> también es importante mencionar que durante el proceso de secado algunos de estos compuestos se degradan o transforman, esto se podría comprobar con una análisis de espectroscopía acoplado a un TGA, la cual es una técnica que en tiempo real caracteriza compuestos mientras se someten a gradiente de temperatura<sup>30</sup>.

En cuanto al maracuyá se encuentran similares compuestos orgánicos, a diferencia del mango, el maracuyá cuenta con semillas donde podemos registrar presencia de antioxidantes, lípidos, proteínas, sólidos solubles y fibras<sup>31</sup>, dicho esto es probable que la pectina extraída de esta fruta cuente con presencia de estas especies a diferencia del mango.

## **3.2 Bases teóricas y conceptuales**

### **3.2.1 Mango (*Mangúífera índica*)**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAOSTAT) en el año 2019 el país con mayor producción de mango fue India (25'631.000 ton), en segundo lugar, China (2'415.000), tercer lugar Pakistan (2'270.229 ton), seguido de Malawi (2'083.471 ton) y por último, Brasil (1'998.561 ton)<sup>32</sup>. Las zonas de clima tropical son las adecuadas para su cultivo, pues su temperatura anual promedio debe estar entre 22 a 27 °C<sup>33</sup>. El mango es uno de los cultivos de frutas con mayor valor comercial en el mundo, ya que cuenta con altos contenidos nutricionales y un sabor exótico<sup>34</sup>, además presenta polisacáridos como la hemicelulosa, celulosa y pectina<sup>35</sup>, estas macromoléculas suelen ser agentes espumantes, emulsionantes y gelificantes<sup>36</sup>.

La cáscara de mango constituye entre el 15 y 20 % de la fruta, contiene fibra soluble e insoluble, lo que la hace excelente en su concentración de fibra dietaria. Además, presenta alto contenido de pectina, por sus concentraciones de ácido galacturónico y su grado de esterificación<sup>37</sup>.

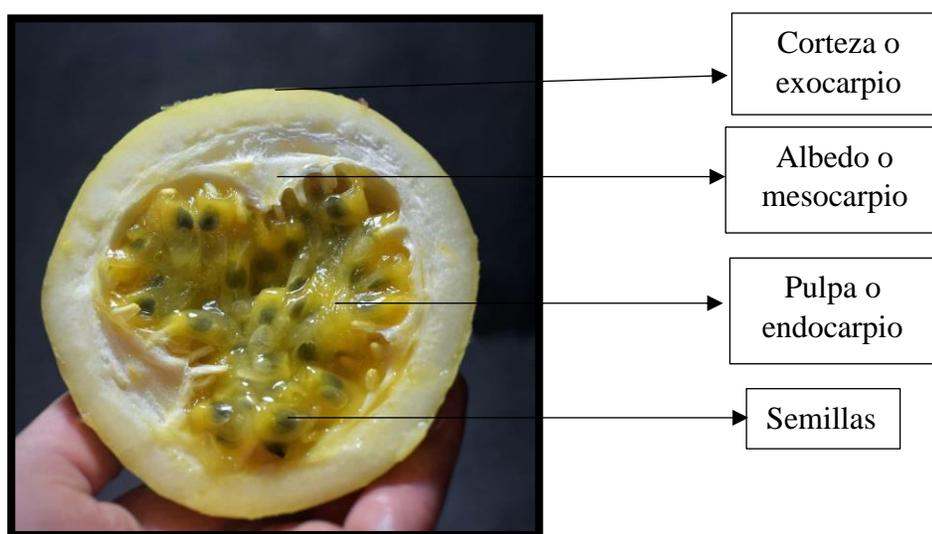
### **3.2.2 Maracuyá (*Passiflora edulis*)**

Colombia es un país rico en especies *Passifloraceae*, pues cuenta con 180 especies de las cuales 48 son endémicas<sup>38,39</sup>. A nivel mundial el maracuyá es una de las frutas más exóticas y apetecidas por las personas, pues tiene un sabor incomparable y no se tiene las condiciones adecuadas del suelo y radiación solar para ser cultivada en todos los países<sup>40</sup>. Además de su exquisito sabor, cuenta con propiedades benéficas para el organismo, por ejemplo, sus cáscaras al ser ricas en vitamina B3, hierro, calcio, fosforo, pueden ayudar a prevenir enfermedades cardiovasculares y gastrointestinales, cáncer de colon, hiperlipidemia, diabetes y obesidad<sup>41</sup>.

El maracuyá presenta unos porcentajes en relación al fruto de: cáscara 46-52%, Pulpa 37-44% y semillas 9-11%<sup>42</sup>. La cáscara es la mayor parte del fruto, por eso al ser extraída su

pulpa para el consumo, se desperdician grandes cantidades. Además, el albedo (parte blanca de la cáscara como se muestra en la figura 3) es rico en pectina<sup>43</sup>, utilizada en productos alimenticios<sup>44</sup>, farmacéuticos<sup>45</sup> y otras aplicaciones, como en este estudio que se implementará en la elaboración de bioplásticos.

La figura 5 se muestran las partes del maracuyá, donde la parte amarilla brillante es el exocarpio, cáscara o corteza del fruto, está cubierta por cera natural y puede ser de diferentes colores dependiendo de la especie de *Passifloraceae*<sup>46</sup>. El albedo o mesocarpio contiene pectina y es la parte blanca y porosa que se encuentra entre la corteza y la pulpa. En endocarpio es la sección que contiene el sabor exótico de la fruta, es bastante ácido y muy aromático<sup>46</sup>. Las semillas están compuestas por aceites esenciales, compuestos fenólicos<sup>47</sup>, flavonoides, además son una fuente natural de antioxidantes<sup>48</sup>.



*Fig 5. Maracuyá (Passiflora Edulis )*

### 3.2.3 Análisis termogravimétrico (TGA)

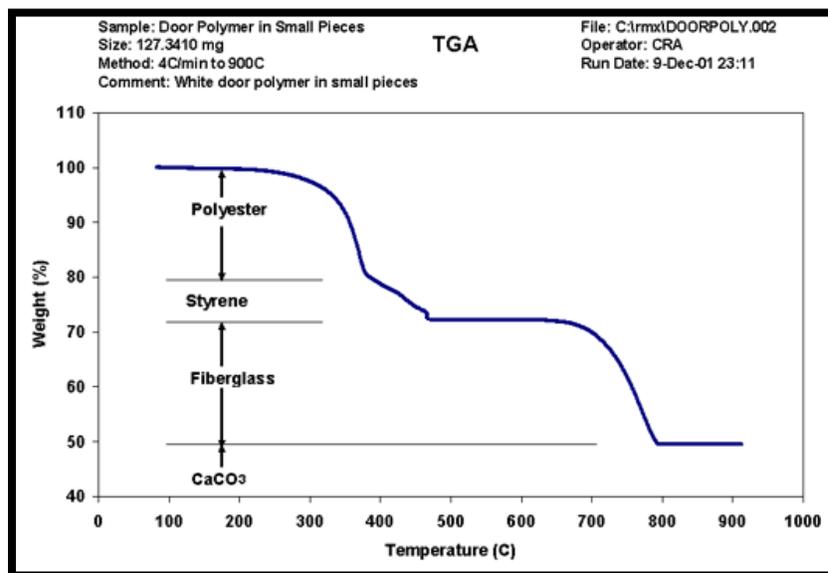
El análisis termogravimétrico (TGA) mide la cantidad y rapidez del cambio en peso de una muestra en función de la temperatura y/o del tiempo en una atmósfera controlada. Las atmosferas controladas pueden ser: inertes: N<sub>2</sub>, Ar, oxidantes: O<sub>2</sub>, aire y reductoras: H<sub>2</sub>. La mayor parte de las curvas se deben a la pérdida de peso de la muestra, cuyo origen está en reacciones químicas (descomposición, combustión, reducción de óxidos metálicos) y también se presentan las curvas de ganancia de peso referentes a reacción con componentes volátiles o adsorción de productos gaseosos<sup>49</sup>.

Las normas ASTM son una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios. Existen alrededor de 12.575 acuerdos voluntarios de normas de aplicación mundial<sup>50</sup>. La norma utilizada para realizar el TGA en materiales poliméricos es: **ASTM-E1131-08**<sup>51</sup> Método de prueba estándar para Análisis de composición por

termogravimetría, esta prueba es aplicable para líquidos y sólidos, El rango de temperatura es de 0-1000 ° C para compuestos orgánicos y este método de prueba utiliza un gas inerte.

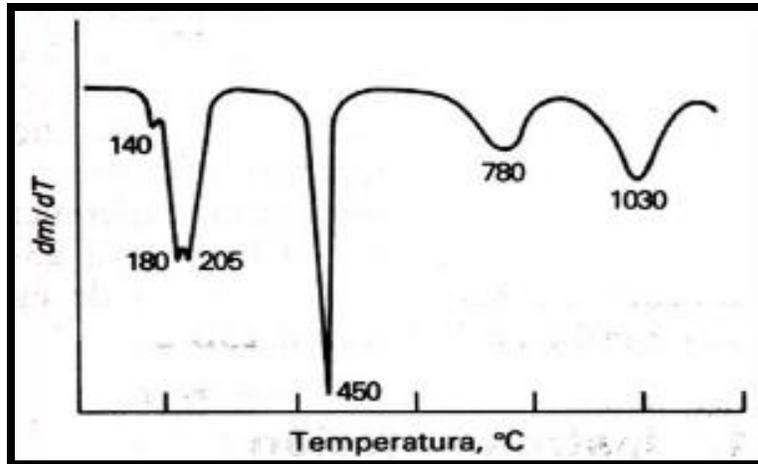
Al cumplir con la norma y al utilizar el equipo TGA que está compuesto por balanza, horno, sistema de gases, microprocesador y software se obtiene una curva de descomposición térmica o termograma, como el que se muestra en la figura 6.

La figura 4 corresponde al análisis TGA de una blanda polimérica: se observa la pérdida de masa en franjas de temperatura, correspondientes a la temperatura de descomposición de los materiales que componen la blanda, poliéster, poliestireno y fibra de vidrio, y la carga de material inorgánico restante que no sufre descomposición térmica.



*Fig 6. Curva de un análisis TGA de una blanda polimérica. Tomada de: chasqueweb.ufrgs.br Análisis instrumental aplicado a polímeros*

En el caso en que el termograma no tenga los saltos bien definidos se puede usar el termograma diferencial como se muestra en la figura 7, que no es más que la derivada de la pérdida de peso en función de la temperatura.



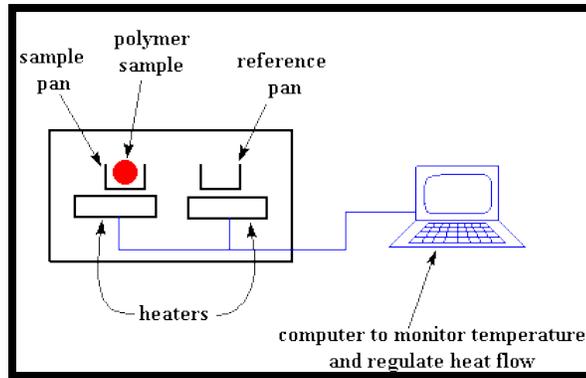
*Fig 7. Termograma diferencial de descomposición de oxalato de calcio. Tomada de: D.A Skoog et al.*

En este caso se puede distinguir los puntos de descomposición ya que los máximos o mínimos de la curva diferencial corresponden con los puntos de máxima descomposición de la curva termogravimétrica y allí se puede calcular la cantidad de masa que se descompone.

### 3.2.4 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) es una técnica térmica que se utiliza para analizar las transiciones térmicas, las cuales son cambios que presenta la muestra cuando se somete al calentamiento. Estos cambios pueden ser endotérmicos o exotérmicos<sup>52</sup>.

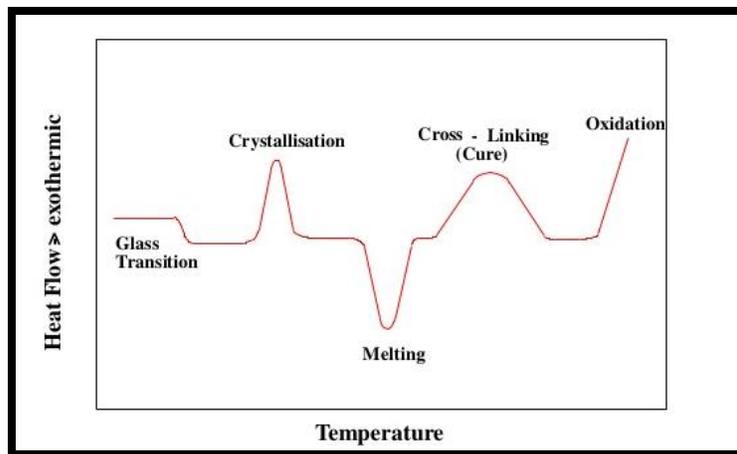
Para realizar una calorimetría diferencial de barrido a un polímero se debe poner la muestra en una de las dos bandejas de calentamiento del equipo DSC como se representa en la figura 8, el otro es el plato de referencia el cual no lleva muestra. Cada plato se apoya sobre la parte superior de un calentador. Luego a través del software se encienden los calentadores de modo que se calienten las dos bandejas a una velocidad específica (rampa de calentamiento) dependiendo de la norma. Para los materiales poliméricos las normas utilizadas para realizar el DSC son: **ASTM E1356**: Temperatura de transición vítrea, **ASTM E1269**: Capacidad calorífica específica, **ASTM E2716**: Capacidad calorífica específica por DSC modulado, **ASTM E3418**<sup>53</sup>: Transición vítrea, entalpía de fusión y cristalización.



**Fig 8.** Esquema general de un equipo de calorimetría diferencial de barrido.  
 Tomada de: <http://pslc.ws/spanish>

Las bandejas del equipo DSC deben calentarse a la misma velocidad. La bandeja de calentamiento sin muestra polimérica se toma como punto de referencia (blanco) para las mediciones, pues el software compara que tanta energía debe suministrarle al material polimérico para que éste presente sus transiciones térmicas<sup>52</sup>.

Como resultado se obtiene un termograma como el de la *figura 9* de calor suministrado vs temperatura o tiempo donde se puede observar las transiciones térmicas del polímero o el material analizado.



**Fig 9.** Termograma de DSC. Tomada de: S. LAKSHMI et al  
 Differential scanning calorimetry.

## 4 DESARROLLO DEL PROYECTO

### 4.1 Metodología

Los residuos de maracuyá y de mango son recolectados del proceso de despulpado en la agroindustria *Fruttec S.A.S*, estos residuos salen del despulpador con cierto porcentaje de humedad que se debe a residuos de pulpa presentes en el subproducto. Las cáscaras son separadas de las semillas y desinfectadas, para eliminar cualquier vector que interfiera en la elaboración del bioplástico. La desinfección se realiza con Sannity Beta, adquirido de la empresa *COSMOGREEN S.A.S* y está conformado por PHMB (Polyhexametilen Biguanida) y (Diclorofenol)<sup>54</sup>,

Los bioplásticos se realizan a diferentes composiciones (Tabla 1 y Tabla 2) y condiciones de proceso. Se toman porcentajes de pectina en solución mayores al 60% pues presentan mayores propiedades mecánicas en el material<sup>9</sup>. Las cáscaras de mango y maracuyá varían su porcentaje para conocer como afectaba en las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del. La glicerina se utiliza como plastificante y su composición en los bioplásticos varían desde 3.1 a 15%. Las composiciones de los prototipos son tomadas de esta manera, de acuerdo a la respuesta que tuvieron a pruebas rápidas de esfuerzo y resistencia.

*Tabla 1. Composición de los ensayos realizados.*

Ensayo	Pectina en solución [g]	Cáscaras de maracuyá [g]	Cáscaras de mango [g]	Glicerina [g]
A	60	12.5	12.5	15
B	180	60	30	30
C	240	80	40	40
D	180	45	60	15
E	866.9	30	30	30
F	81	2	2	15
G	80	5	0	15

*Tabla 2. Composición en porcentaje de los ensayos realizados.*

Ensayo	Pectina en solución [%]	Cáscaras de maracuyá [%]	Cáscaras de mango [%]	Glicerina [%]
A	60	12.5	12.5	15
B	60	20	10	10
C	60	20	10	10
D	60	15	20	5
E	90.6	3.1	3.1	3.1
F	81	2	2	15
G	80	5	0	15

Se extrae pectina en solución del albedo de maracuyá por medio de hidrólisis ácida con ácido cítrico al 99.5% y se mezcla con glicerina al 99.62%, cáscaras de maracuyá y mango. La glicerina y el ácido cítrico se obtienen de la empresa *Químicos & Químicos* ubicada en Cúcuta, Norte de Santander.

#### 4.1.1 Extracción de pectina en solución.

La pectina del maracuyá se extrae por medio de hidrólisis ácida, con la ayuda de ácido cítrico. Las enzimas pectinasas se inactivan poniendo las cáscaras con agua en ebullición<sup>55</sup>. El pH de la solución debe estar entre 1.5 y 3<sup>55</sup>, por lo tanto, se agrega ácido cítrico hasta obtener un pH entre el rango anterior mencionado. Al poner la muestra en cocción, se obtiene una mezcla densa. Las concentraciones utilizadas para la extracción de pectina son mostradas en la Tabla 2. Los tiempos de extracción varían dependiendo de la cantidad de materia prima mezclada. La temperatura de cocción se mantiene en un intervalo de 80 y 95 °C, con el fin de inactivar las enzimas pectinasas y eliminar microorganismos presentes en la mezcla. Este rango de temperatura se debe a que por debajo de 80°C la solución no llega a su punto de ebullición.

Los ensayos mostrados en la Tabla 3, se toman en una relación aproximada de 1:3. La cantidad de pectina en solución obtenida se debe a la calidad de la materia prima, pues es directamente proporcional la cantidad de albedo de maracuyá, con la pectina en solución obtenida. La extracción de pectina se da en diferentes ensayos, con el fin de evitar su descomposición a lo largo de la síntesis de los diferentes biopolímeros.

**Tabla 3.** Concentraciones para la extracción de pectina en los diferentes ensayos.

Ensayo	Agua [mL]	Cáscaras de maracuyá [g]	Ácido cítrico [g]	pH	Pectina en solución [mL]
1	300	100.5	4.7	2.5	60
2	900	300	17.8	2.5	190
3	900	300	17	2.4	490
4	1290	430	18.9	2.5	1091.9

#### 4.2 Resumen de prototipos

Se asigna una nomenclatura para distinguir cada prototipo, los nombres de los bioplásticos se genera la tabla 4 donde se muestran los prototipos, composición y resultado final.

**Tabla 4.** Resumen de prototipos.

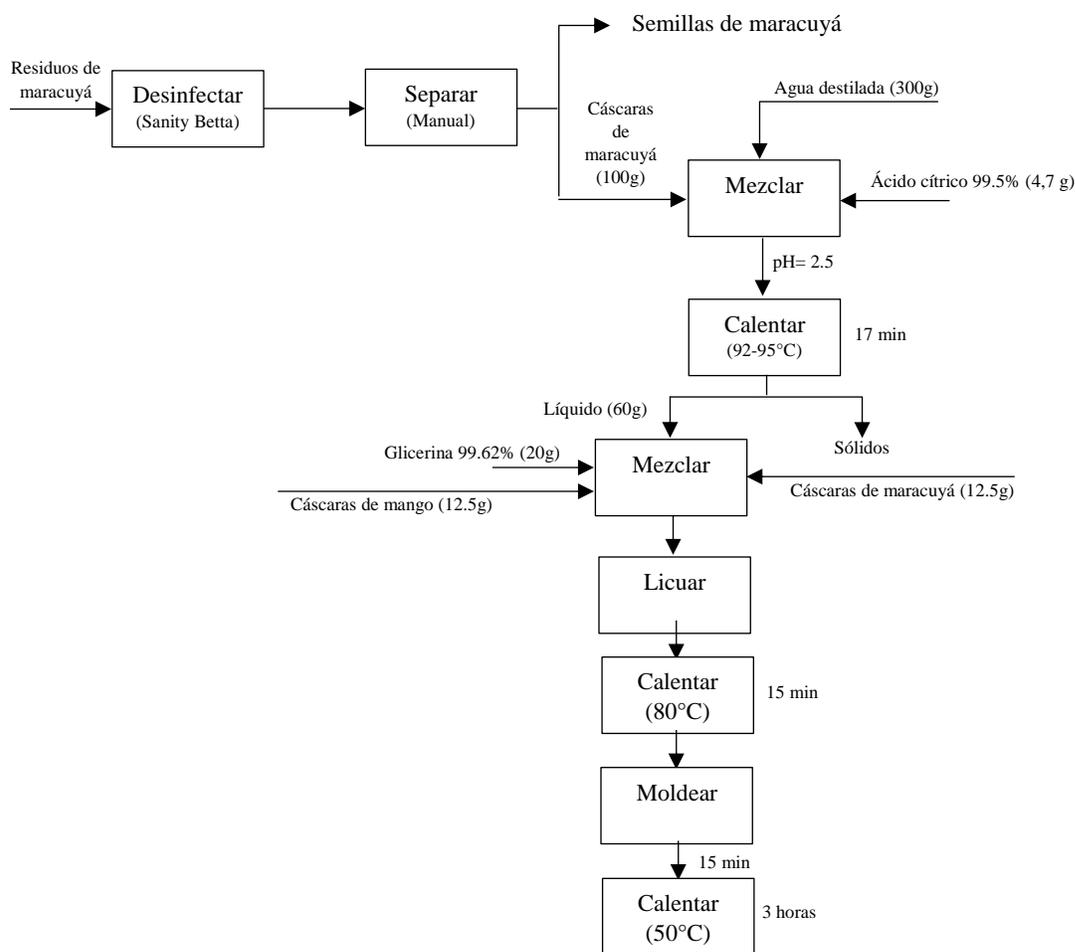
Prototipo	Composición	Bioplástico
A	Pectina en solución: 60% Maracuyá humedo: 12.5% Mango humedo: 12.5% Glicerina: 15%	

B	Pectina en solución:60% Maracuyá humedo:20% Mango humedo:10% Glicerina:10%	
C	Pectina en solución:60% Maracuyá humeda:20% Mango seco:10% Glicerina:10%	
D	Pectina en solución:60% Maracuyá seco:15% Mango seco:20% Glicerina:5%	
E	Pectina en solución:90.6% Maracuyá seco:3.1% Mango seco:3.1% Glicerina:3.1%	
F	Pectina en solución:81% Maracuyá seco:2% Mango seco:2% Glicerina:15 %	
G	Pectina en solución:80% Maracuyá seco:5% Glicerina:15%	

#### 4.2.1 Prototipo A.

Para elaborar el bioplástico con composición de 60% p/p de pectina en solución, 12.5% p/p de cáscaras de maracuyá, 12.5% p/p de cáscaras de mango y 15% p/p de glicerina. Se separan las cáscaras de maracuyá de las semillas, se desinfectan con *Sannity Beta* al 19%, obtenido de la empresa *Cosmogreen*((a) fig 11), se pesan 100.5g ((b)fig 11) y se adicionan en agua destilada en relación 1:3<sup>55</sup>, se estabiliza la solución a un pH de 2.5 con 4,7g de ácido cítrico al 99.5%((c) fig 11). La solución acidulada se lleva a ebullición (92°C-95°C) durante 17 min ((d) fig 11), se deben retirar los sólidos suspendidos de gran tamaño, por medio de un tamiz de diámetro de 2mm ((e) fig 11), se obtiene una pasta densa((f) fig 11). Se licuan las cáscaras de maracuyá y de mango, con la glicerina al 99.62% y la pectina en solución((g) fig 11), se eleva la temperatura a 80°C durante 15 min hasta obtener una mezcla viscosa ((h) fig 11), ésta se extiende en una superficie plana ((i) fig 11) y se lleva a un horno de convección ((j) fig 11) durante 3h a 50 °C. Por último, se obtiene una lámina de bioplástico ((k) fig 11) lista para adecuarla y llevar a cabo las pruebas mecánicas y térmicas((l) fig 11).

La composición de la pectina en solución se establece de 60% p/p ya que a mayor cantidad de pectina aumentan las propiedades mecánicas del material<sup>9</sup>, por esta razón se establece de más del 50% p/p de la muestra. Además de la pectina, la glicerina al 15% p/p también actúa como plastificante, aumenta la movilidad de las cadenas poliméricas y reduce las fuerzas intermoleculares<sup>56</sup>. A mayor cantidad de glicerina, mayor fragilidad y elasticidad<sup>57</sup>. La cantidad de mango y maracuyá restante (25% p/p) se distribuye equitativamente para conocer las propiedades que estos materiales orgánicos aportan al bioplástico.



**Fig 10.** Diagrama de bloques del prototipo A.



*Fig II. Proceso de elaboración del Prototipo A.*

#### 4.2.2 Prototipo B.

Para elaborar el bioplástico con composición de 60% de pectina en solución, 20% de cáscaras de maracuyá, 10% de cáscaras de mango y 10% de glicerina. Se separan las cáscaras de maracuyá de las semillas manualmente, se desinfectan con *Sannity Beta* al 19%, se pesan 300 g y se adicionan en agua destilada en relación 1:3<sup>55</sup>, se estabiliza la solución a un pH de 2.5 con 17.8 g de ácido cítrico 99.5%. La solución acidulada se lleva a ebullición durante 1h 27 min para disminuir el volumen de la mezcla y liberar la mayor cantidad de pectina posible, se deben retirar los sólidos suspendidos de gran tamaño, por medio de un tamiz de diámetro de 2mm, se obtiene una pasta densa. Se licuan las cáscaras de maracuyá y de mango, con la glicerina 99.62% y la pectina en solución, se eleva la temperatura a 80°C durante 15 min hasta obtener una mezcla viscosa, ésta se vierte en un molde y se lleva a un horno de convección durante 3h a 50 °C. Por último, se obtiene una lámina de bioplástico lista para adecuarla y llevar a cabo las pruebas mecánicas y térmica (a)fig 13. Con la misma mezcla de bioplástico se elabora un portavasos (b) fig 13 con el logo de la agroindustria *Fruttec S.A.S* ((c) fig 13, la única diferencia en el proceso de elaboración, es que necesita 4h en el horno de convección.

En este segundo prototipo se disminuyó el contenido de glicerina, pues en el prototipo 1 se presentó sudoración en el material después de 4 días de su elaboración. Se aumenta el contenido de cáscaras de maracuyá para conocer que propiedades aportan al bioplástico.

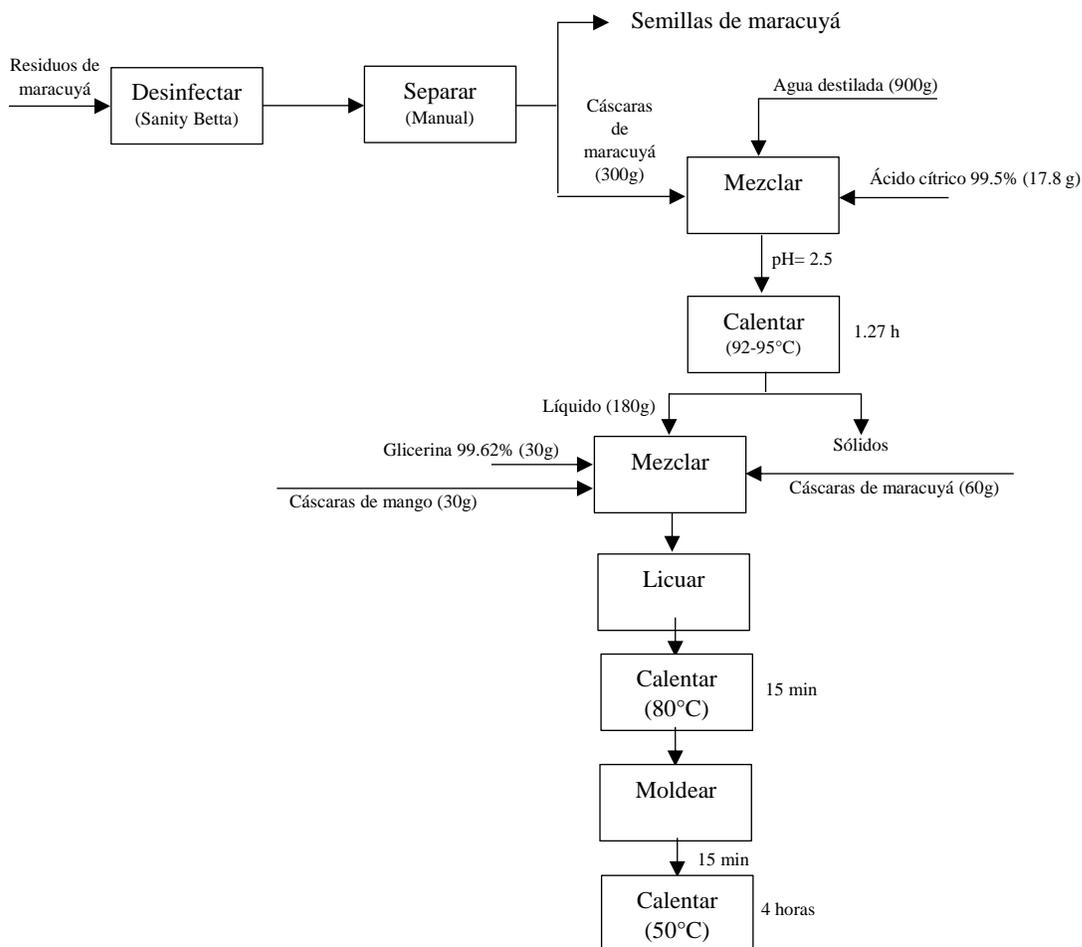
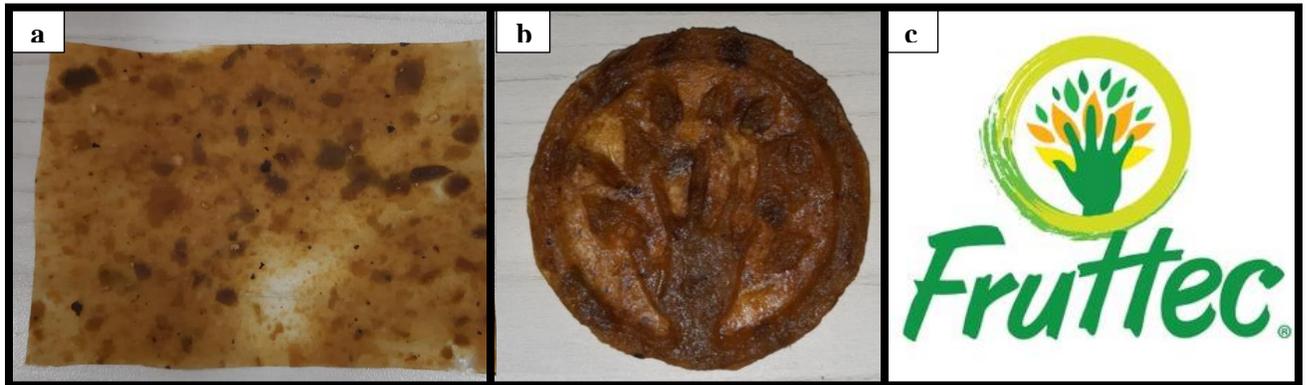


Fig 12. Diagrama de bloques del prototipo B.

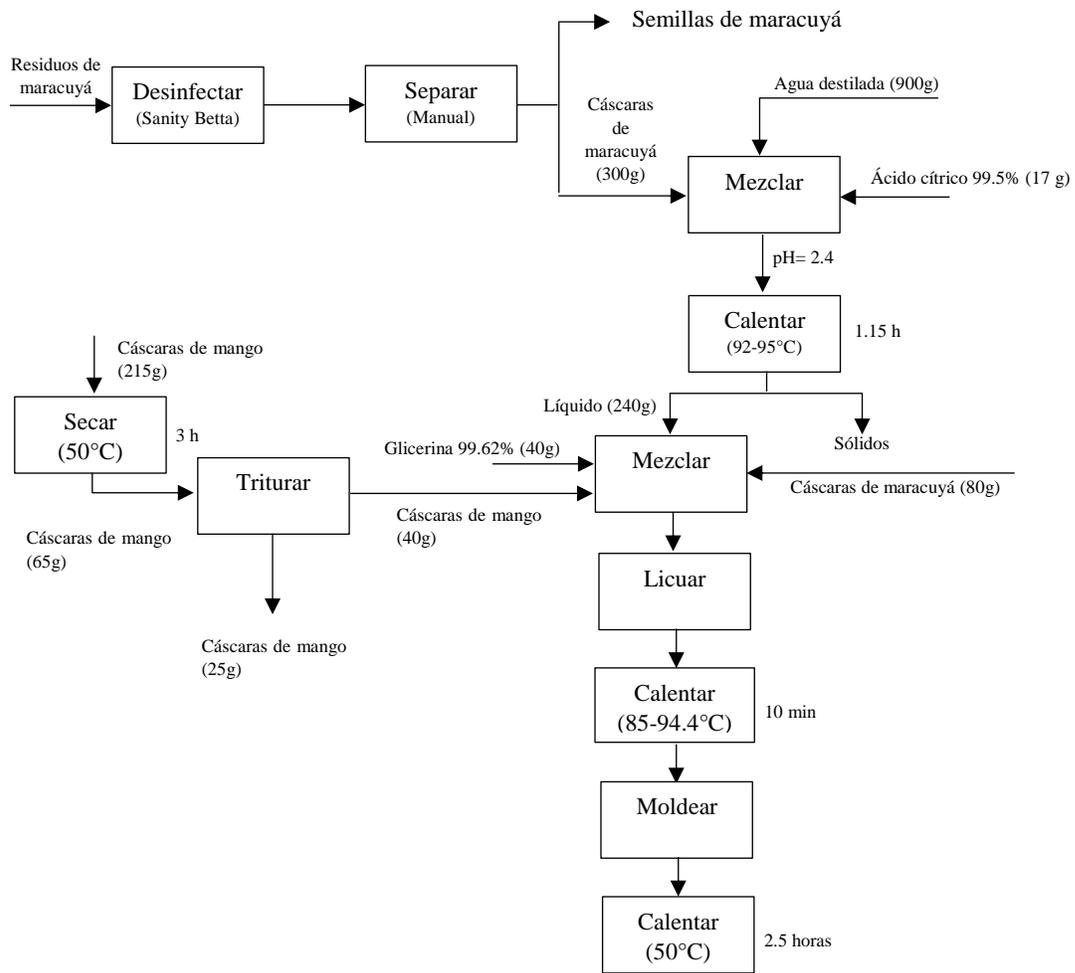


*Fig 13. Lámina del prototipo B y su implementación.*

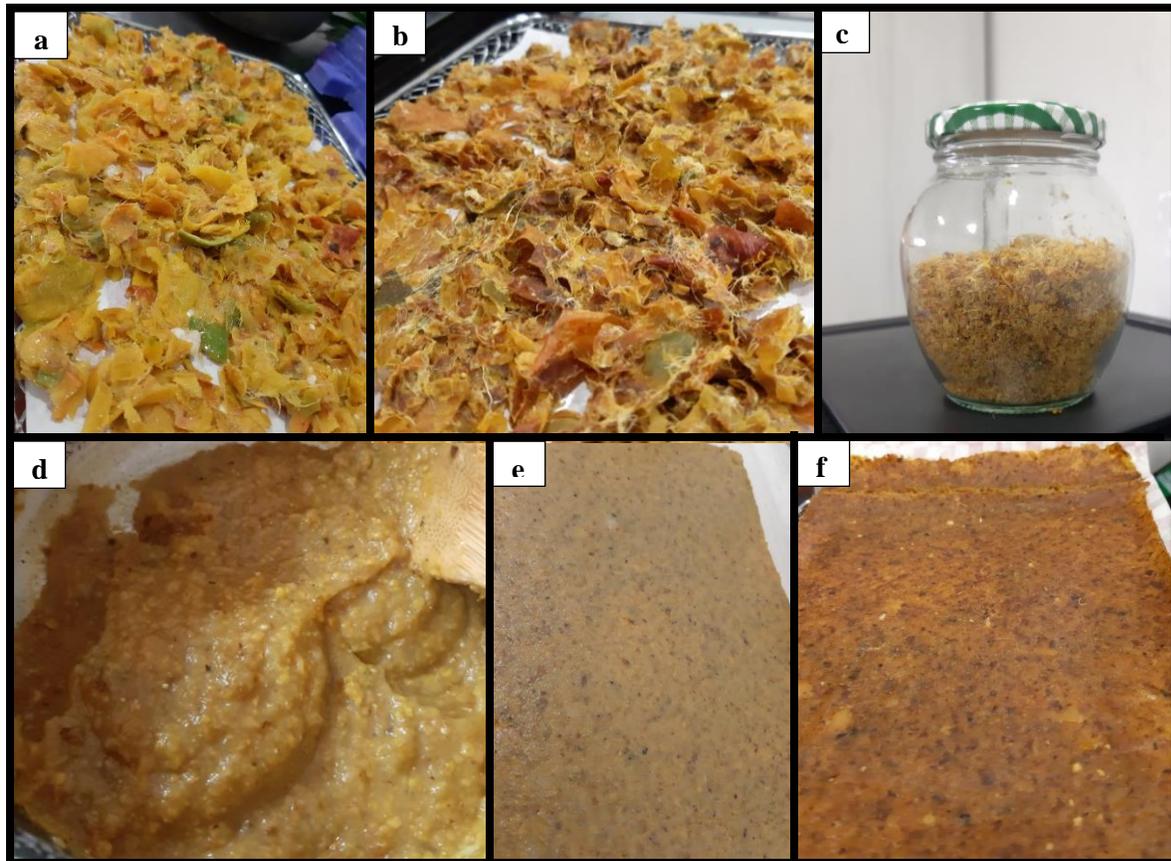
#### **4.2.3 Prototipo C.**

Los residuos de mango son tratados el mismo día del procesamiento, por lo tanto, presentan su color natural (fig 2), se pesan 215g y se someten a 50°C en un horno de convección por 3 horas ((a)Fig 15) con el fin de reducir el contenido de humedad. Después del secado, se obtiene 65g de cáscaras de mango ((b)Fig 15), equivalente a un 69,76% de humedad en la muestra calculada con la ecuación 1. Se trituran las cáscaras de mango seco y 40 gramos son mezclados con 40 g de glicerina, 80 g de cáscaras de maracuyá frescas y 240 g de pectina en solución ((d) Fig 15). La mezcla se licua y se somete a calentamiento entre 85-94.4°C por 10 min, se vierte en molde((e) Fig 15) y se lleva a 50°C por 2.5 horas ((f) Fig 15). El bioplástico se corta en el molde (fig 15) para realizar un transporta vasos (Fig 16).

$$\%Humedad = \frac{Agua\ extraída\ [g]}{Peso\ de\ la\ muestra\ inicial\ [g]} \quad \text{Ecuación (1)}$$



*Fig 14. Diagrama de bloques del prototipo C.*

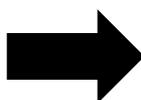


*Fig 15. Proceso de elaboración del prototipo C.*

En la figura 17, se muestra el prototipo C escalado para capacidad de 2 vasos, realizado e implementado en los puntos de venta de la empresa Fruttec S.A.S.



**Fig 16.** Transporta vasos realizado con el prototipo C

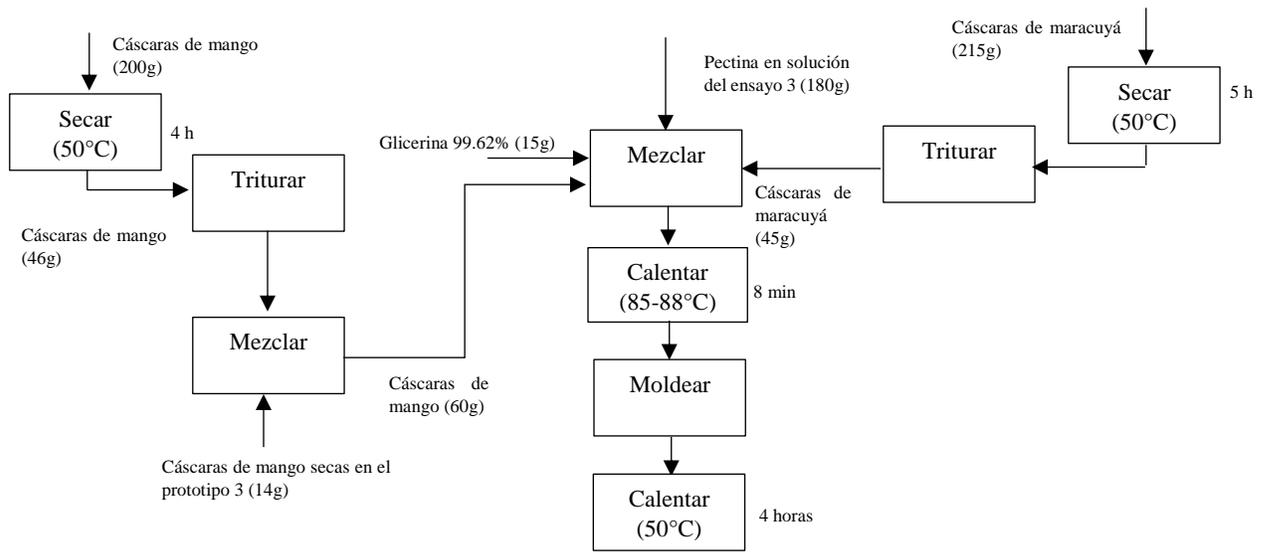


**Fig 17.** Prototipo C escalado a para puntos de venta.

#### 4.2.4 Prototipo D.

Inicialmente se toman 180g de pectina en solución que fue preparada con anterioridad, se mezclan con 60g de mango seco ((b) Fig 19), 45 g de maracuyá y 15g de glicerina, equivalente al 5% p/p de la mezcla. Estas composiciones se distribuyen de esa manera, ya que se desea un bioplástico menos elástico, más rígido y con mayor resistencia a la tensión. Las materias primas de cáscaras de mango y de maracuyá se secan para aumentar el tiempo de vida útil y disminuir el contenido de agua en la muestra, evitando la formación de pequeñas gotas de fluido en la superficie. Las cáscaras de maracuyá y de mango ((a,c) Fig 19) se secan a 50°C por 5 y 4 horas respectivamente. El material seco se muele hasta obtener un tamaño de partícula reducido, menor a 2mm ((c,d) Fig 19). Se lleva a calentamiento las cáscaras de fruta, glicerina y la pectina en solución durante 8 min entre 85 y 88 °C ((e)Fig 19), el tiempo en exposición es menor a los prototipos anteriores, ya que al contener mayor cantidad de mango y maracuyá secos la mezcla presenta una textura pastosa. La mezcla se lleva a 50°C durante 4 horas ((f, g) Fig 19) hasta que reduzca su contenido de humedad. Se obtiene una lámina de bioplástico ((h,i,j) Fig 19) se dispone para ser una pizarra de notas (Fig 20).

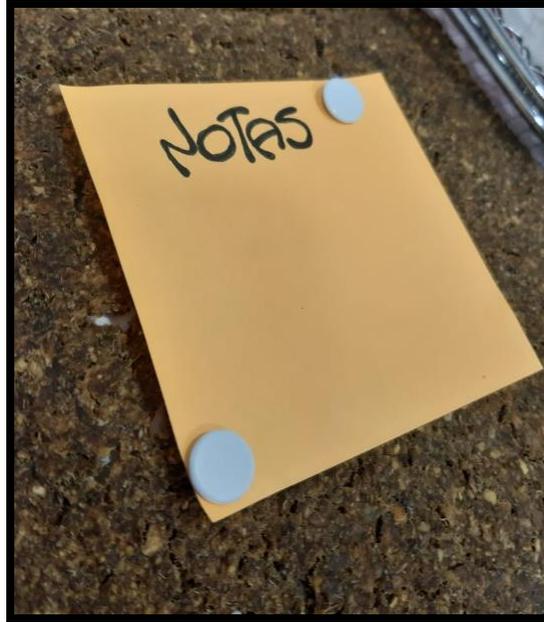
Las cáscaras de mango pardeadas se secan después de un mes de congelación, por eso la diferencia en coloración del prototipo C ((c) Fig 15). Las cáscaras de mango se mantienen en congelación para ser preservadas durante el tiempo de elaboración del proyecto. El peso del mango inicialmente es de 200g ((a) Fig 19), después de cuatro horas a 50°C se cuenta con una masa de mango seco de 46 g ((b) Fig 19), por lo tanto, presenta 77% de humedad. Igualmente, las cáscaras de maracuyá son sometidas durante 5 horas a 50°C en un horno de convección, para disminuir el porcentaje de humedad equivalente a 79.06%.



**Fig 18.** Diagrama de bloques del prototipo D.



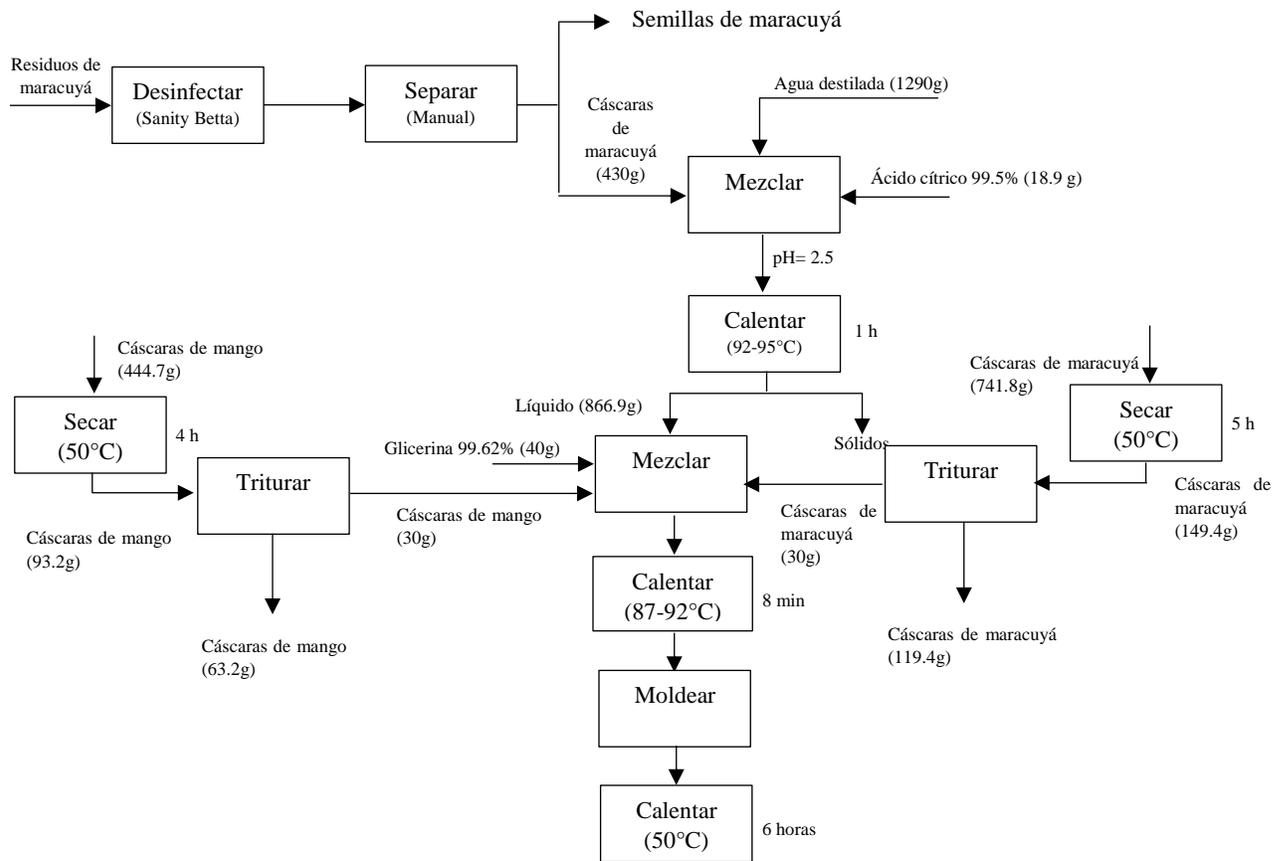
*Fig 19. Proceso de elaboración del prototipo D.*



*Fig 20. Pizarra realizada con el prototipo D.*

#### **4.2.5 Prototipo E**

Se toman 866.9 g de pectina en solución, 30 g de mango, 30 g de maracuyá y 30 g de glicerina. La pectina en solución se extrae con anterioridad como se muestra en el ensayo 4 de la Tabla 2. El mango ((a) Fig 22) se lleva a 50°C durante 4 horas en un horno de convección, para eliminar su contenido de humedad equivalente a 79.04%, pues su peso varía de 444.7 g a 93.2g, posteriormente es triturado ((b) Fig 22). El maracuyá ((c) Fig 22) se calienta a 50 °C durante 4h en un horno de convección, pasando de un peso de 741.8 g a 149.4 g, debido al 79,85 % de humedad extraído. El maracuyá seco es triturado a un tamaño de partícula menor a 2mm ((d) Fig 22). La mezcla se lleva entre 87 y 92°C durante 8 min. Al finalizar este tiempo se cuenta con una pasta viscosa lista para ser vertida en el molde. Se lleva a 50°C durante 6 horas. El tiempo de secado de la lámina aumenta debido a la cantidad de pectina en solución de la muestra, también presenta un cambio en su coloración a diferencia de los otros prototipos, posiblemente por el incremento de la temperatura en el proceso de cocción.



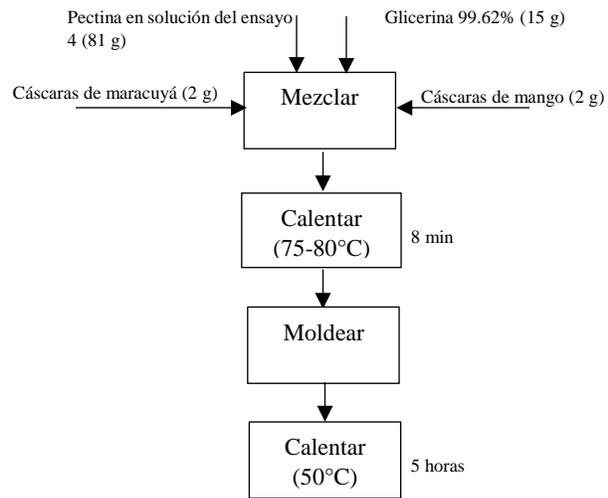
**Fig 21.** Diagrama de bloques del prototipo D.



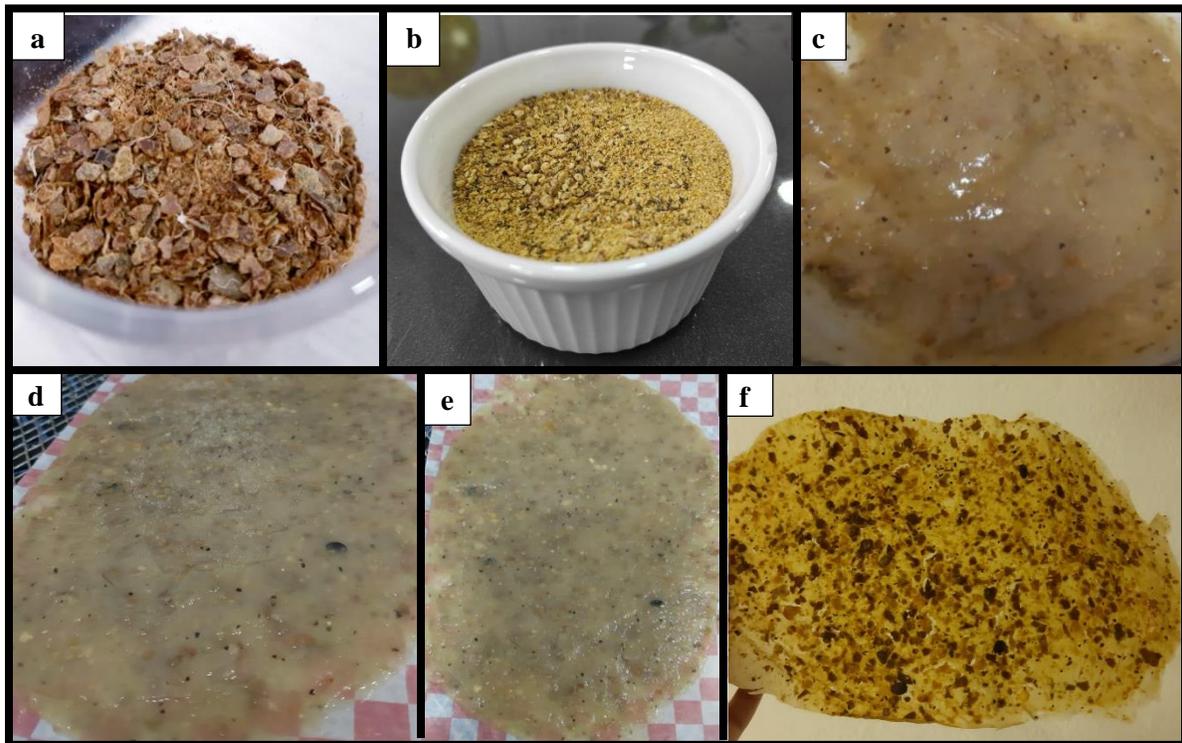
*Fig 22. Proceso de elaboración del prototipo E.*

#### **4.2.6 Prototipo F.**

El prototipo F de bioplástico se realiza con 81 %p/p de pectina en solución, 2% p/p de mango triturado deshidratado((a) Fig 24), 2%p/p de maracuyá deshidratada((b) Fig 24) y 15%p/p de glicerina al 99.62%. La mezcla es llevada entre 75 y 80 °C durante 4 min((c) Fig 24), con el objetivo de evitar el pardeamiento del mango triturado como se vio reflejado en el prototipo E. Se disminuye considerablemente la cantidad de material seco agregado, pues en grandes cantidades el material pierde su comportamiento plástico y se presenta grietas en el mismo. La mezcla al ser vertida en el molde((d,e) Fig 24), se calienta a 50 °C durante 5 horas hasta obtener una lámina elástica((f) Fig 24). La lámina se adapta a un vaso para ser utilizada como aislante térmico (Fig 25).



*Fig 23. Diagrama de bloques del prototipo F.*



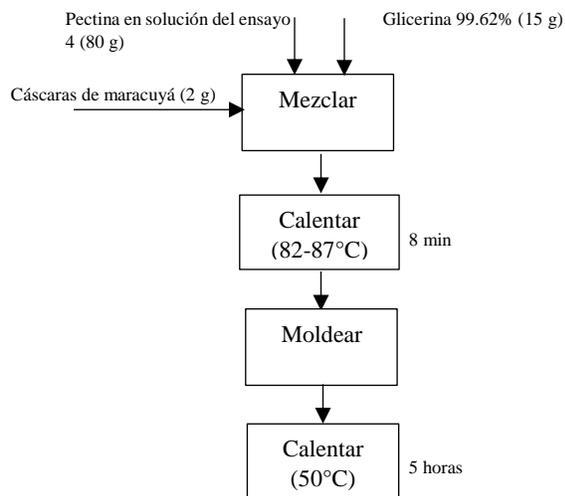
*Fig 24. Proceso de elaboración del prototipo F.*



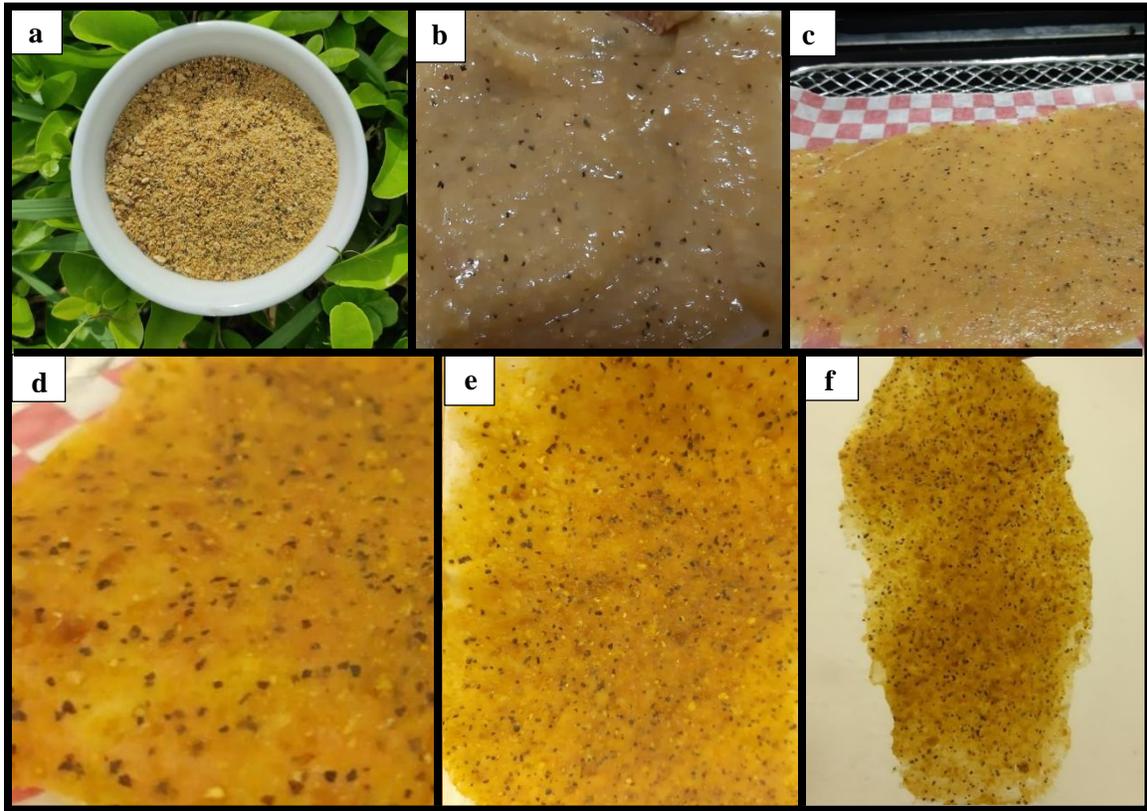
*Fig 25. Aislante térmico para bebidas calientes realizado con el prototipo F de bioplástico*

#### 4.2.7 Prototipo G.

Para evitar el pardeamiento del mango, se realiza una prueba con bioplástico realizado 85%p/p de residuos de maracuyá. Se toman 5g de maracuyá seca y triturada ((a) Fig 27), 80g de pectina en solución y 15g de glicerina. La mezcla se lleva entre 82 y 87 °C durante 8 min, hasta obtener una pasta viscosa ((b) Fig 27). Por último, se vierte en un molde((c) Fig 27) y se lleva a 50°C durante 5 horas((d) Fig 27), con el fin de conseguir una lámina resistente y elástica((e,f) Fig 27). Se desea implementar este bioplástico como empaque de dulces de rollos de fruta (Fig 28), pues en la agroindustria *Futtec S.A.S* se planea lanzar al mercado a mediano plazo este tipo de producto para su comercialización.



*Fig 26. Diagrama de bloques del prototipo G.*



*Fig 27. Proceso de elaboración del prototipo G.*



*Fig 28. Empaque para rollos de dulce de fruta.*

## 5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Análisis y comparación de la síntesis de los prototipos

La extracción de la pectina depende de la cantidad de albedo presente en las cáscaras de maracuyá. Experimentalmente mayor cantidad de albedo, mayor es el rendimiento de la pectina en solución. El ensayo 4 obtuvo el mayor rendimiento de extracción de pectina, equivalente al 62.8%. La coloración de la pectina se debe a los carotenoides<sup>58</sup> presentes en las cáscaras de maracuyá, si con anterioridad se separan manualmente las cáscaras del albedo, se obtendría pectina en solución de color blanco.

#### 5.1.1 Porcentaje de humedad en los prototipos de bioplástico

Dada la experimentación en la elaboración de bioplástico la humedad es un factor muy importante para la textura y tiempo de vida útil del material. En los prototipos realizados se tenían tres fuentes directas de humedad, la pectina en solución, la glicerina y el agua presente en los residuos de maracuyá y de mango. Por lo tanto, se realizan diferentes prototipos variando la cantidad de los componentes mencionados anteriormente.

El prototipo A de bioplástico presenta sudoración después de 4 días, la consistencia del fluido es grasosa, se cree que es proveniente de la glicerina añadida al proceso. Al realizar el prototipo B de bioplástico se llega a la conclusión que la sudoración no es generada por el porcentaje de glicerina, pues al reducir el 15% al 10 % no hay cambio en la superficie del material al cabo de 4 días. La otra fuente factible de humedad en la muestra, es el agua presente en las cáscaras de maracuyá y de mango, se decide que los prototipos siguientes (C-G) se realicen con un porcentaje de residuos secos.

En el prototipo B se elimina la humedad de las cáscaras de mango equivalente al 69,76% y el material no presenta sudoración. En la figura 29 se muestra la relación entre la sudoración del material y la humedad extraída. Siendo 100% los materiales que presentaron sudoración en la superficie al cabo de 4 días y 0 las láminas sin ningún tipo de fluido después de pasado este tiempo. Porcentaje

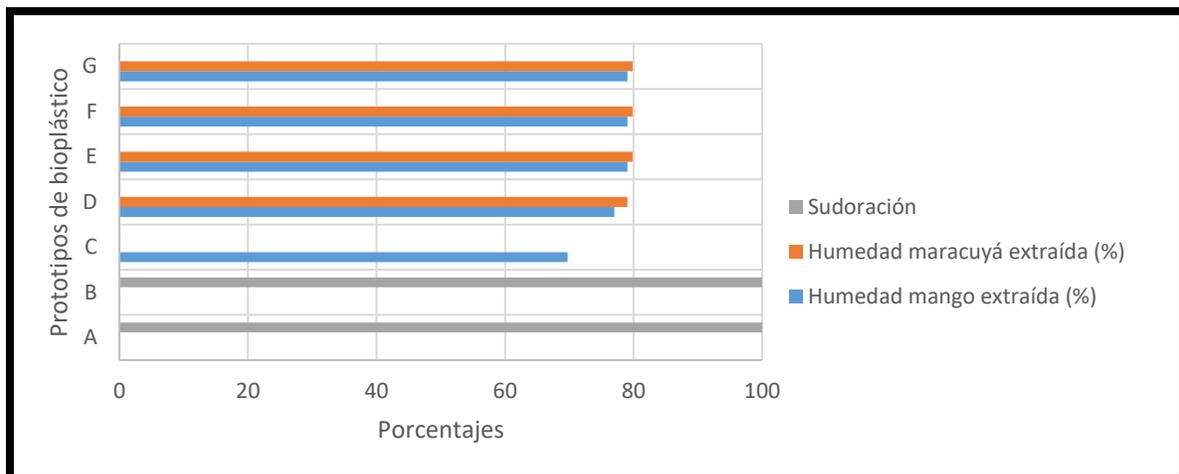
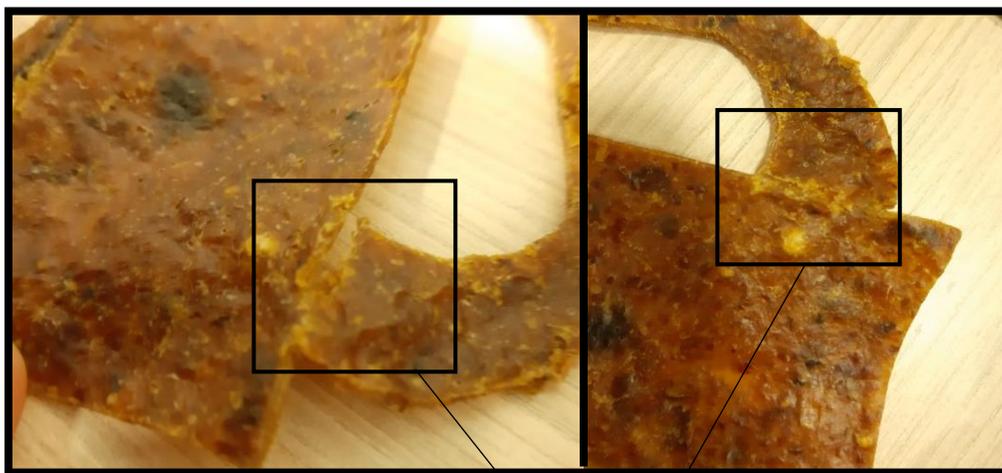


Fig 29. Efecto de la humedad en la sudoración del material.

La cantidad de humedad extraída varía entre 69.76% y 79.04% para las cáscaras de mango y para las cáscaras de maracuyá entre 79.06% y 79.85%. Las cáscaras de mango pueden llegar a contener 82 % de humedad<sup>59</sup>, este porcentaje se puede obtener con mayor tiempo en exposición a 50°C.

### 5.1.2 Influencia del grosor del bioplástico

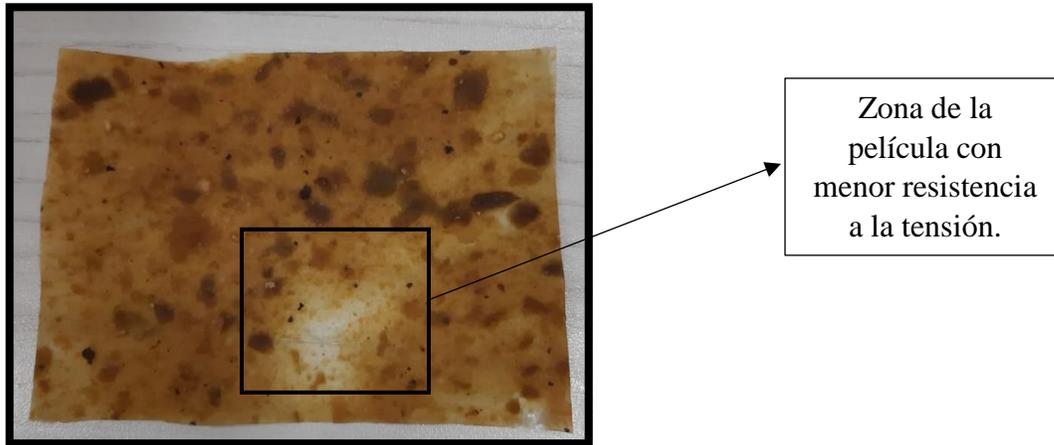
El grosor de la película influye en la resistencia del material, pues al realizar el transportavaso con el prototipo C no soporta un peso mayor de 200g. Las agarraderas son de 1.5 mm y 1 mm de espesor, al aplicar una fuerza de tensión, el material falla por la agarradera de menor grosor (Fig 30).



*Fig 30. Falla del material por diferencia de espesor.*

Agarradera de 1mm de espesor, razón de falla.

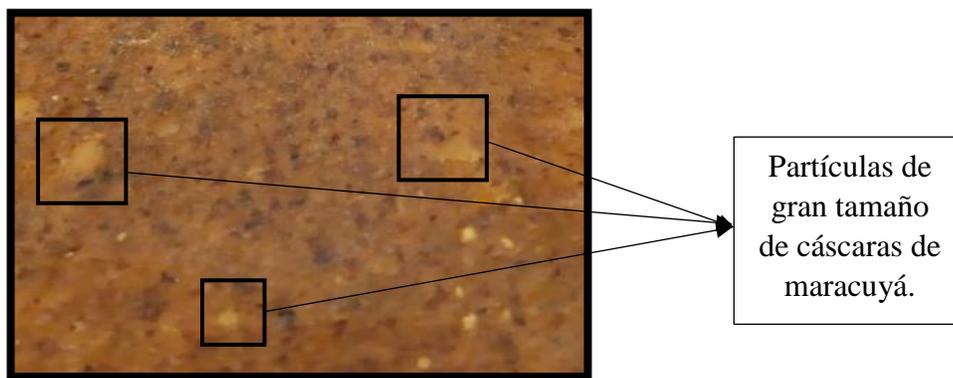
En la figura 31 se muestra la diferencia de espesor en la lámina del prototipo B, esto genera fragilidad en el material, pues al aplicar una carga no tiene la capacidad de deformarse, sino se presenta su fractura.



*Fig 31. Diferencia de espesor en el prototipo B.*

### 5.1.3 Características físicas de los prototipos de bioplásticos.

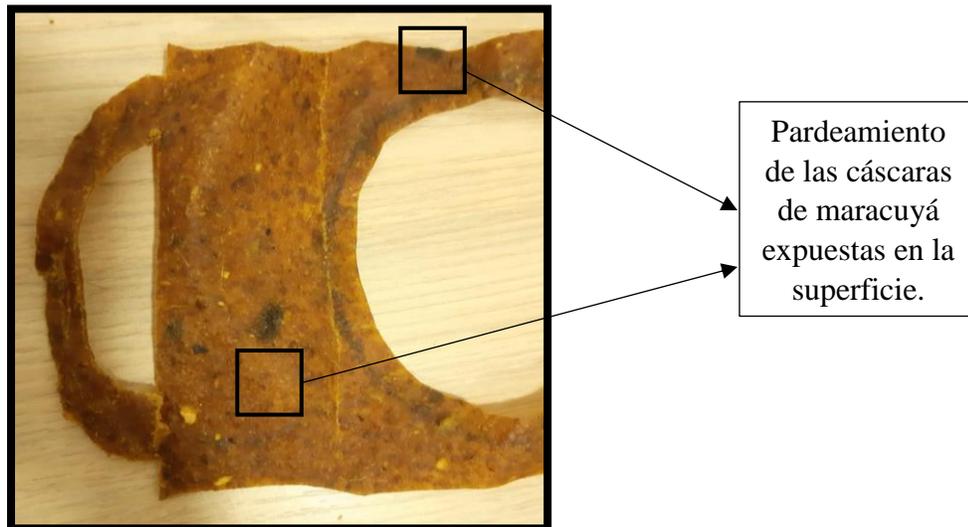
La **textura** del bioplástico se ve afectada por el tamaño de partícula de las cáscaras de maracuyá y de mango. A pesar de la trituración del mango, el material no se ve uniforme por el tamaño de partícula del maracuyá, como se muestra en la figura 32. Las partículas de gran tamaño de cáscaras húmedas crean concentradores de esfuerzo en la unión con la pectina y demás residuos, haciendo que el material falle (Fig 33). Además de la desigualdad en el tamaño, las partículas húmedas de maracuyá expuestas en la superficie del material al cabo de dos meses presentan pardeamiento como se evidencia en la figura 34.



*Fig 32. Diferencia de partículas en el prototipo C*



*Fig 33. Unión entre cáscaras de maracuyá húmeda de gran tamaño con pectina.*



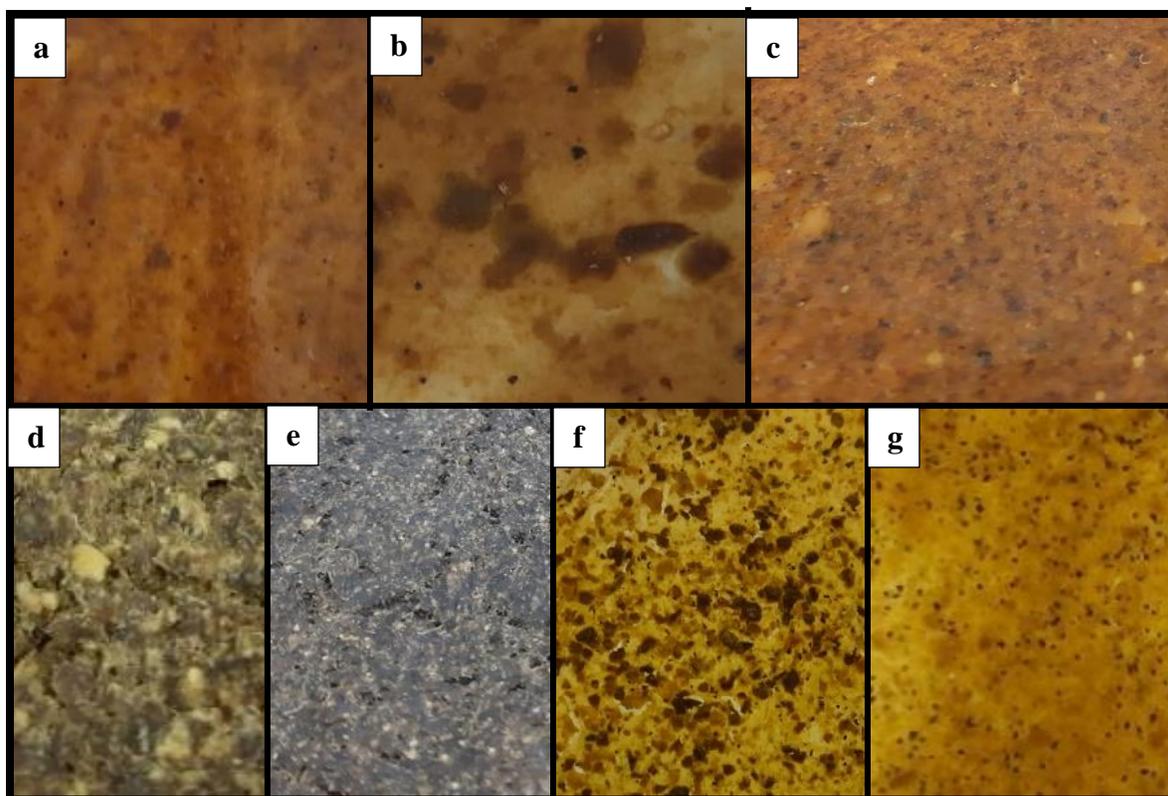
*Fig 34. Tercer prototipo de bioplástico después de 2 meses de su elaboración.*

**El color** de los prototipos de bioplástico se ve directamente influenciado por las condiciones del proceso y el tipo de residuo utilizado. En la figura 26 se muestra la coloración de las láminas obtenidas. En los prototipos A-C las partículas más oscuras pertenecen a las cáscaras de mango, su pardeamiento enzimático se cataliza gracias a la Enzima Polifenol Oxidasa<sup>60</sup>, creando o-quinonas a partir de o-difenoles con ayuda de la oxigenación<sup>61</sup>. Además, la temperatura y el pH son componentes que afecta la velocidad de este proceso, por esta razón se evidencia que las mezclas para la elaboración de los bioplásticos A-F no se encontraban a un pH menor a 3, pues de ser así la Enzima Polifenol Oxidasa debía inactivarse<sup>62</sup>.

En las figuras 35 y 36 se observa la tonalidad en las láminas de bioplástico y su paleta de colores respectiva, reflejando que la apariencia de las muestras varía dependiendo de su composición. A mayor cantidad de maracuyá se observa una gama de color amarillo, el

mango refleja tonos cafés y en su mayor pardeamiento enzimático llega a obtener tonos grises. La paleta de colores se extrajo a partir de un Software online gratuito *Pinetools*.

En los prototipos F y G se evidencia que, a menor contenido de residuos secos, se pueden obtener colores más vivos a diferencia de los prototipos D y E. Se pueden variar las composiciones de los bioplásticos para conseguir una tonalidad adecuada al producto final que se desea obtener.



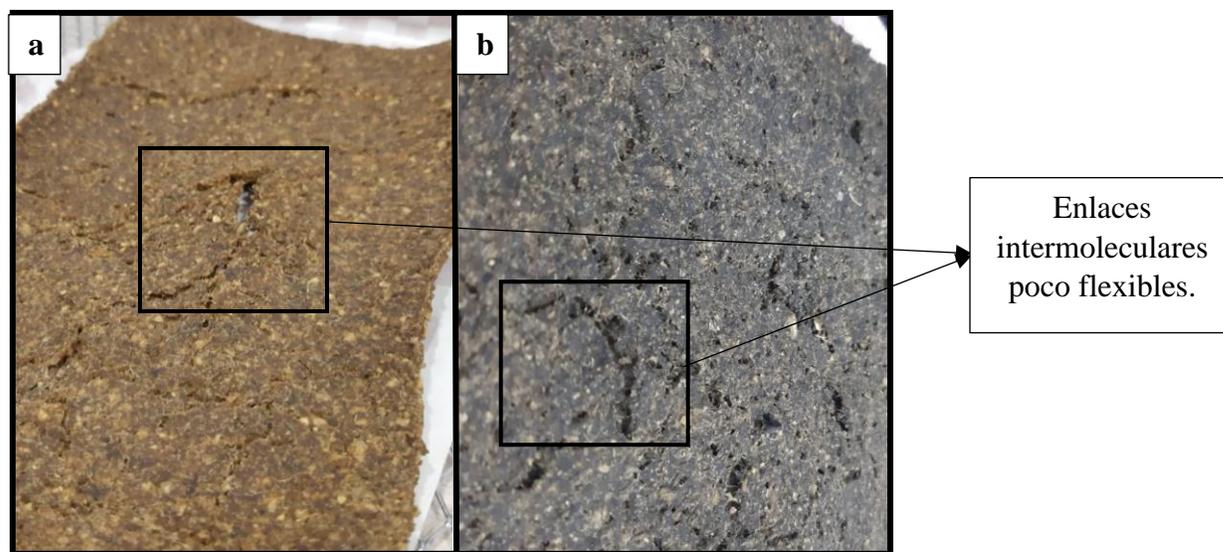
**Fig 35.**Coloración de los diferentes prototipos



**Fig 36.**Paleta de colores de los diferentes prototipos de bioplástico.

En la figura 37 se evidencia el efecto que tiene la glicerina en los prototipos D y E, pues ésta actúa como lubricante, facilitando el movimiento de las cadenas poliméricas, al disminuir las fuerzas intermoleculares<sup>63</sup>. Al adicionar mayor cantidad de glicerina, aumenta la elongación y la deformación del material<sup>64</sup>. Por esta razón el material no es resistente al esfuerzo y no presenta alta flexibilidad. Otro efecto importante que se pudo observar en la elaboración de

los bioplásticos D y E fue que a medida que se disminuye la glicerina y se aumentan los residuos secos, se incrementa la viscosidad de la mezcla, ya que la distancia de las macromoléculas es menor y el material opone mayor resistencia para fluir<sup>65</sup>. Al secar las láminas D y E de bioplástico a 50°C se presenta el agrietamiento mostrado en la figura 37, podría ser atribuido por no tener suficiente agua y glicerina (plastificantes) que generen la unión entre las moléculas de cáscaras de mango, cáscaras de maracuyá y pectina. También puede atribuirse a un mal mezclado, lo que genera un aumento de viscosidad en la mezcla.

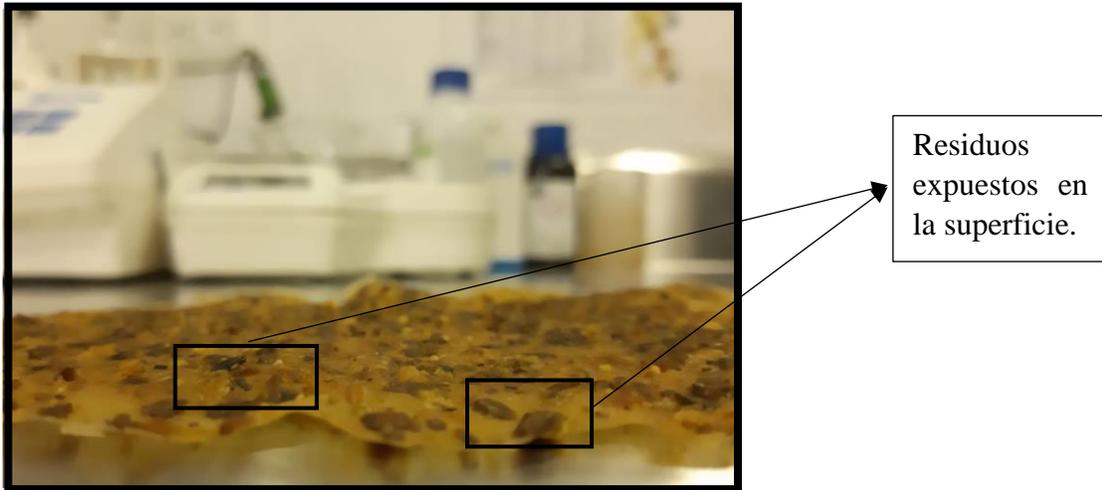


*Fig 37. Agrietamiento de las láminas D y E respectivamente*

## 5.2 Propiedades térmicas

Los aislantes térmicos son materiales de baja conductividad térmica, estos se utilizan para reducir la transferencia de calor entre el material de contacto<sup>66</sup>. La conductividad térmica aumenta a medida que incrementa el porcentaje de humedad<sup>67</sup> (conductividad térmica del agua: 0.58 W/K\*m) en las láminas de bioplástico, por lo tanto, los prototipos menos conductores son C-G, pues los residuos usados tuvieron un pretratamiento de secado antes de su implementación. Otros parámetros importantes para la conductividad térmica son: la porosidad y tamaño de partícula de los residuos en el material; a mayor cantidad de residuos secos se generan más espacios de aire que amortiguan la conducción de calor, inhibiendo su transferencia. A menor tamaño de partícula menor es su conductividad térmica<sup>68</sup>, por eso se decide triturar el material seco a un tamaño de partícula menor a 2 mm en los prototipos.

El prototipo F de bioplástico con 2% de cáscaras de maracuyá y 2% de cáscaras de mango es adecuado para la implementación como aislante térmico, pues disminuye la transferencia de calor por conducción mientras está en contacto con el recipiente. La porosidad del material ayuda a aislar el calor, pues los materiales secos quedan expuestos en la superficie (fig 38), además su textura no es incómoda para sujetarlo. Al disminuir el porcentaje de humedad a los residuos, inhibe la creación de hongos, bacterias y demás microorganismos que ayuden a la descomposición del material, aumentando su vida útil.

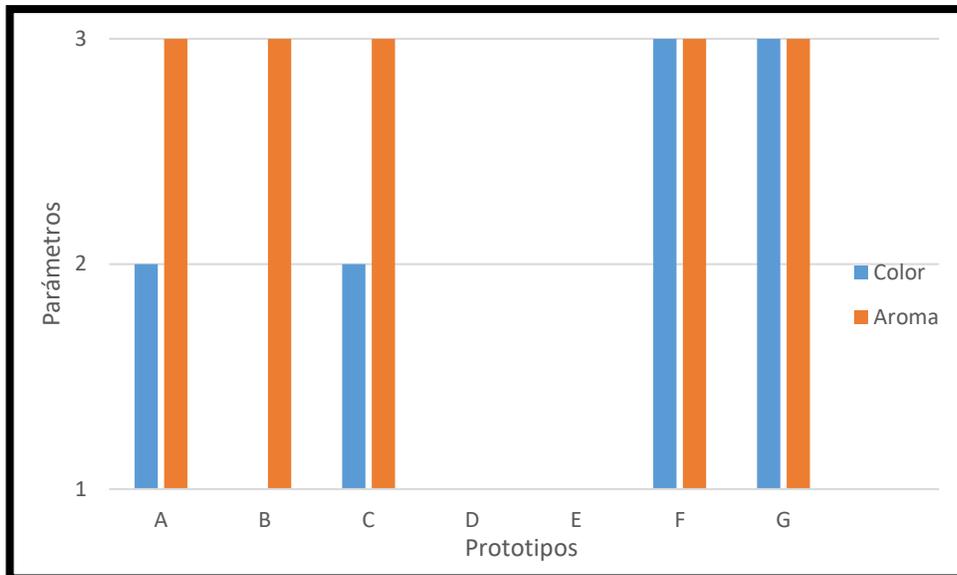


*Fig 38. Residuos secos en el prototipo F de bioplástico.*

El prototipo F tuvo excelentes propiedades aislantes. En la experimentación se puso en contacto con un vaso de cartón cargado de agua a 85°C, al pasar los 2.18 min, se empezó a calentar el material, llegando a una temperatura de 33°C después de 8 min de calentamiento. Sensorialmente el material impedía el paso del calor por conducción desde el vaso a la mano del receptor.

### 5.3 Evaluación de los prototipos

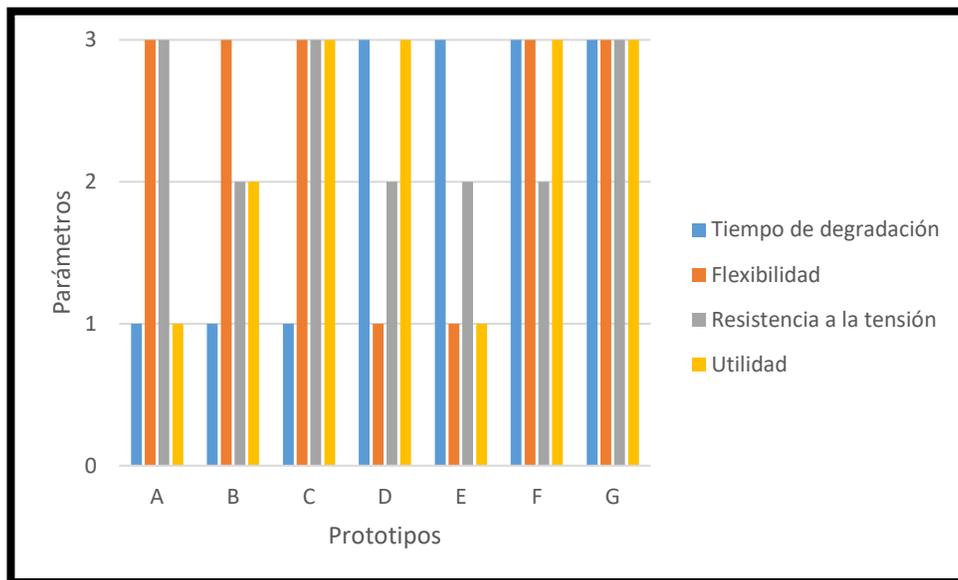
Finalmente, las características de los prototipos fueron evaluadas entre cada tipo de bioplástico realizado, mas no en función de su utilidad. En la figura 39 se encuentran enumerados cada parámetro evaluado, siendo 1,2 y 3 los valores desagradable, agradable y muy agradable respectivamente.



*Fig 39. Color y aroma evaluados para los prototipos de bioplásticos.*

Se refleja en la figura 39 que los prototipos F y G cuentan con color y aroma muy agradable, a diferencia de los prototipos D y E que son los únicos que no cumplen con ninguno de los dos parámetros.

En la figura 40 se encuentran enumerados cada parámetro evaluado, siendo 1,2 y 3 los valores bajo, medio y alto respectivamente.



*Fig 40. Características de los prototipos de bioplástico.*

Los prototipos de bioplásticos que cumplen con todos o la mayoría de parámetros planteados son C, F y G, sobresaliendo de los demás por tener mayor calificación en los aspectos anteriormente nombrados.

La composición del material afecta su resistencia, El prototipo F resistió una fuerza de 17.6KPa y el prototipo G de 8.8KPa, evidenciando que las cáscaras de mango posiblemente ayudan a aumentar la resistencia del material.

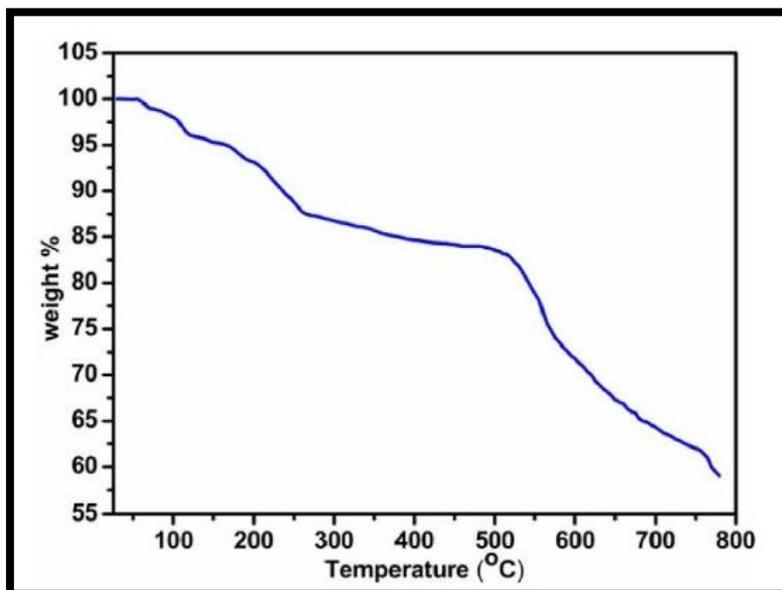
## 5.4 Análisis térmicos

Debido a la situación de la pandemia COVID-19, que desencadenó en la no posibilidad de usar los equipos de laboratorio, se realizaron los análisis térmicos TGA y DSC de manera teórica, los resultados son presentados a continuación:

### 5.4.1 Análisis por TGA a los prototipos obtenidos

En la figura 41 se muestra el termograma de cáscaras de mango realizado según el estándar internacional **ASTM-E1131-08**<sup>51</sup> en un instrumento *PerkinElmer TGA 4000*. Donde la muestra se analizó a una temperatura de 10 a 1000°C, con flujo constante de gas nitrógeno<sup>69</sup>, siendo una atmosfera inerte. Inicialmente se da la pérdida de peso del 2.3% equivalente a la evaporación de humedad, se da desde los 0 hasta los 105°C. A partir de los 110 °C se da la descomposición de las cáscaras de mango hasta una temperatura de 265°C, equivalente al 10% del peso de la muestra<sup>69</sup>. Después de los 265 °C se muestra una disminución curva del

termograma, lo que posiblemente equivale a la oxidación de las cáscaras de mango con la formación de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$ <sup>70</sup>.



*Fig 41. TGA de las cáscaras de mango*<sup>69</sup>

En la figura 42 se muestran los termogramas para las cáscaras de mango analizados desde 25 °C hasta 800 °C, por medio del equipo *TGA / SDTA 851, Mettler – Toledo*, a una atmosfera inerte de nitrógeno<sup>71,72</sup> con un caudal de 50 mL/min. Generalmente la perdida masa, debido a la degradación térmica se da en tres fases: la evaporación del contenido de agua y la desvolatilización de alguna materia volátil ligera (50-200 °C), seguida de una degradación térmica extensa de la materia orgánica biodegradable en la muestra –500 °C) y finalmente, por degradación de la materia carbonosa en los residuos (500–800 °C)<sup>71</sup>. El grafico **a** y **b** de la figura 39 muestran los análisis termogravimétricos y sus derivadas, donde las curvas rojas y azules representan las cáscaras de mango en la figura **a** y **b**, respectivamente. En las dos gráficas es notable el pico agudo formado a 280 °C aproximadamente, equivalente a una pérdida de peso en la muestra<sup>72</sup>, lo que representa que el material obtenido a partir de residuos de mango no podría soportar una temperatura mayor a este valor reportado.

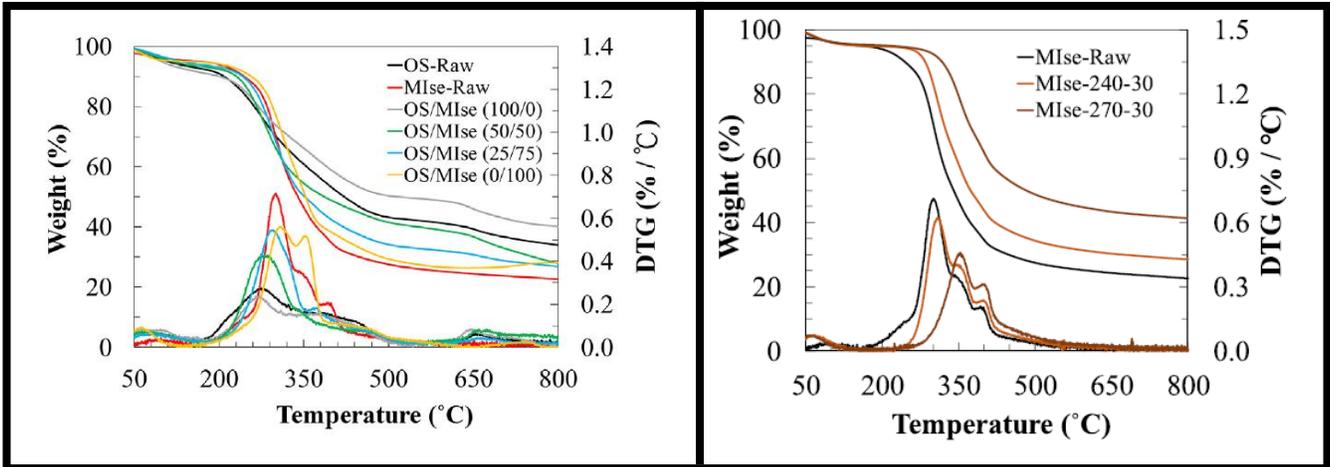


Fig 42. DSC y TGA de las cáscaras de mango<sup>71,72</sup>.

La pectina es otro factor muy importante en la elaboración de los prototipos de bioplástico por lo tanto, es importante conocer su degradación térmica. En la figura 43 se muestra el análisis termogravimétrico y su derivada (DTG) de la pectina en las cáscaras de mango. Inicialmente en la curva TGA se muestra una pérdida de peso del 15% entre los 50 y 210°C equivalente a la evaporación del agua. Desde los 210°C a 300°C se muestra una pérdida de peso aproximadamente del 35% posiblemente por la degradación de la estructura de la pectina<sup>73</sup>. Se puede observar de los 300 a 420°C una pérdida de peso de 15% aproximadamente<sup>74</sup> posiblemente debido a polisacáridos residuales de bajo peso molecular ligados a la pectina y a la degradación oxidativa de la pectina<sup>75,76</sup>.

El pico más notorio del DTG se encuentra en los 230°C aproximadamente se debe a la descomposición de la pectina a medida que aumenta la temperatura. Además, se puede observar otro pico centrado en 300°C que podría deberse a impurezas, unidas a la pectina<sup>74</sup>. Es posible que los prototipos de bioplástico no soporten temperaturas aproximadas a los 230°C, pues está hecho en su mayor porcentaje de pectina.

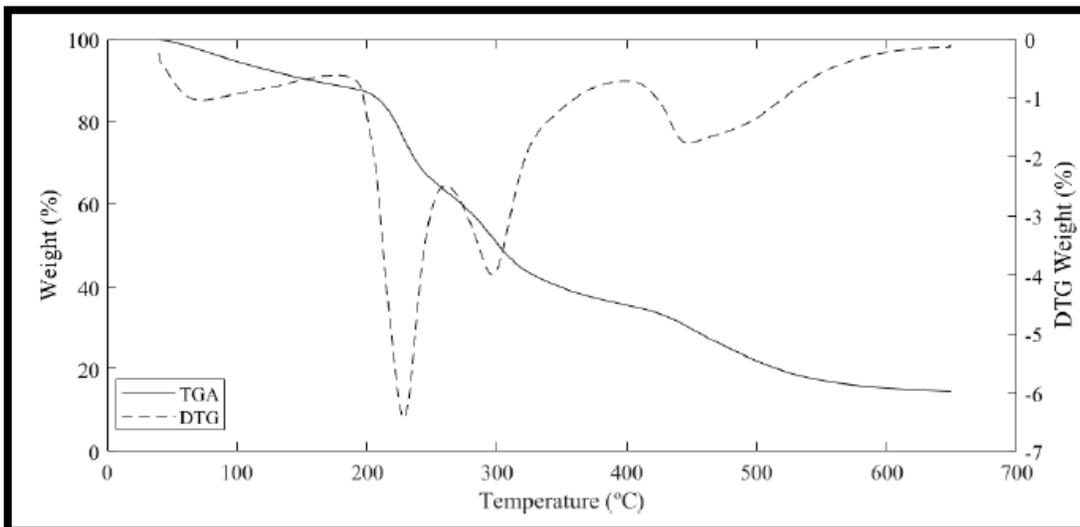
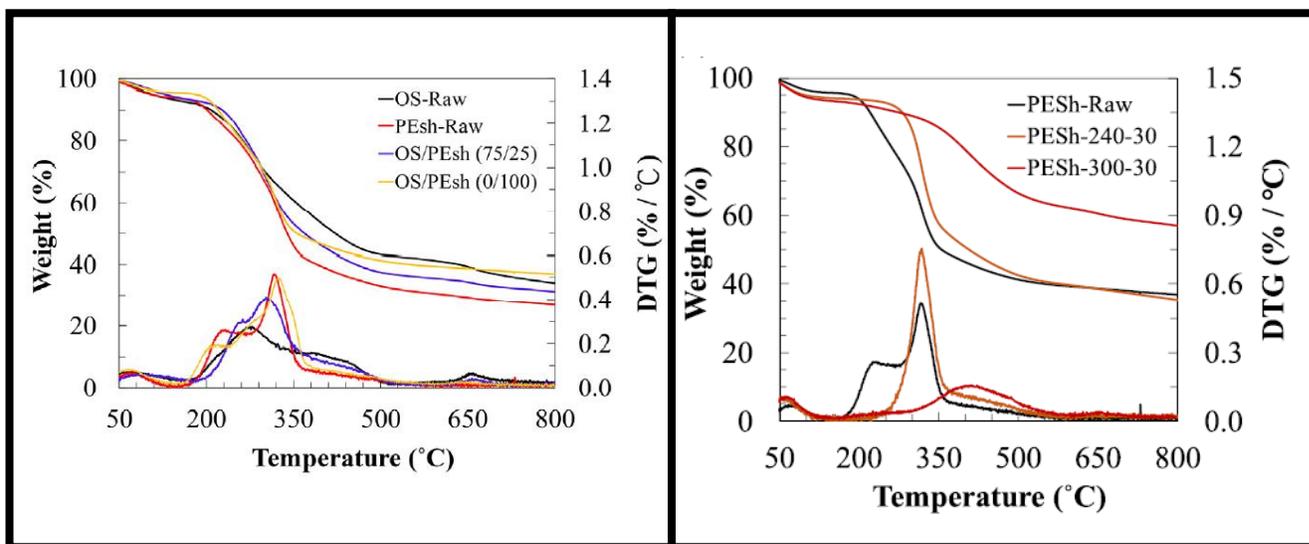


Fig 43. TGA y DTG de la pectina del mango<sup>74</sup>.

En la figura 44 se muestran los TGA y DTG de las cáscaras de maracuyá, se representan con las líneas rojas y negras de los gráficos (a) y (b) respectivamente. Las curvas evidencian que a los 230°C se presenta una pérdida de peso, posiblemente por la descomposición de la celulosa y la hemicelulosa<sup>71</sup>.



*Fig 44. DSC y TGA de las cáscaras de maracuyá<sup>7172</sup>.*

Las muestras realizadas en este proyecto se asimilan en composición con los artículos estudiados en esta tesis, por lo tanto, su comportamiento se puede reflejar en la posible degradación térmica de los prototipos. La estabilidad térmica de los siete bioplásticos sintetizados se aproxima a los 200°C.

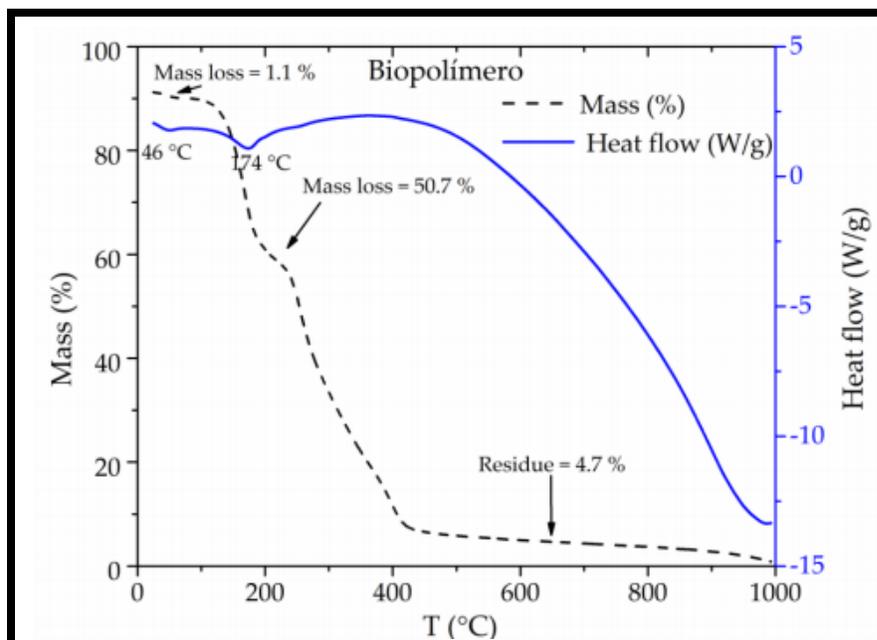
#### 5.4.2 Análisis por DSC a los prototipos obtenidos

En la figura 45 se muestra el análisis termogravimétrico TGA y el gráfico de calorimetría diferencial de barrido realizado para un material compuesto por pectina, glicerol y aceite<sup>77</sup>. Este material es similar a los prototipos realizados, pues en su mayor proporción está hecho de pectina, por lo tanto, su estabilidad y transiciones térmicas podrían asemejarse.

Se analiza un termograma de un material similar al bioplástico sintetizado en esta investigación. En la figura 45 se observan los eventos térmicos caracterizados por dos degradaciones a los 105 y 275°C. Haciendo una similitud en cuanto a la composición de pectina del material teórico vs biopolímero de este proyecto se podría concluir que alrededor de los 275°C se degrada aproximadamente 50% de la muestra.

Los resultados obtenidos en el análisis TGA/DSC indican el comportamiento térmico del material, sin embargo, no es posible determinar claramente una temperatura de cristalización o fusión, a la temperatura de 174,93°C se presenta una leve disminución del flujo de calor que coincide con una relativa estabilidad en la pérdida de peso, mas no podemos asumir que

se trate de una cristalización de la pectina. Nesic et al. (2017) reporta que en películas de pectina y glicerol la temperatura a la que inicia la degradación de la pectina es 195 °C y el glicerol disminuye la temperatura debido a la generación de enlaces intermoleculares que genera una estructura más frágil de la pectina. Se reportan temperaturas de transición vítrea para la pectina de 131°C



*Fig 45. Termogravimetría y calorimetría diferencial de barrido (TGA/DSC) para material de revestimiento optimizado y pectina de alto metoxilo.*

La estabilidad térmica de los prototipos de bioplástico consultados por bibliografía se pueden asemejar con los obtenidos en esta investigación, se recomienda realizar las pruebas mecánicas y térmicas cuando la emergencia sanitaria COVID-19 garanticen las condiciones de bioseguridad aptas para trabajar en laboratorio.

## 6 CONCLUSIONES

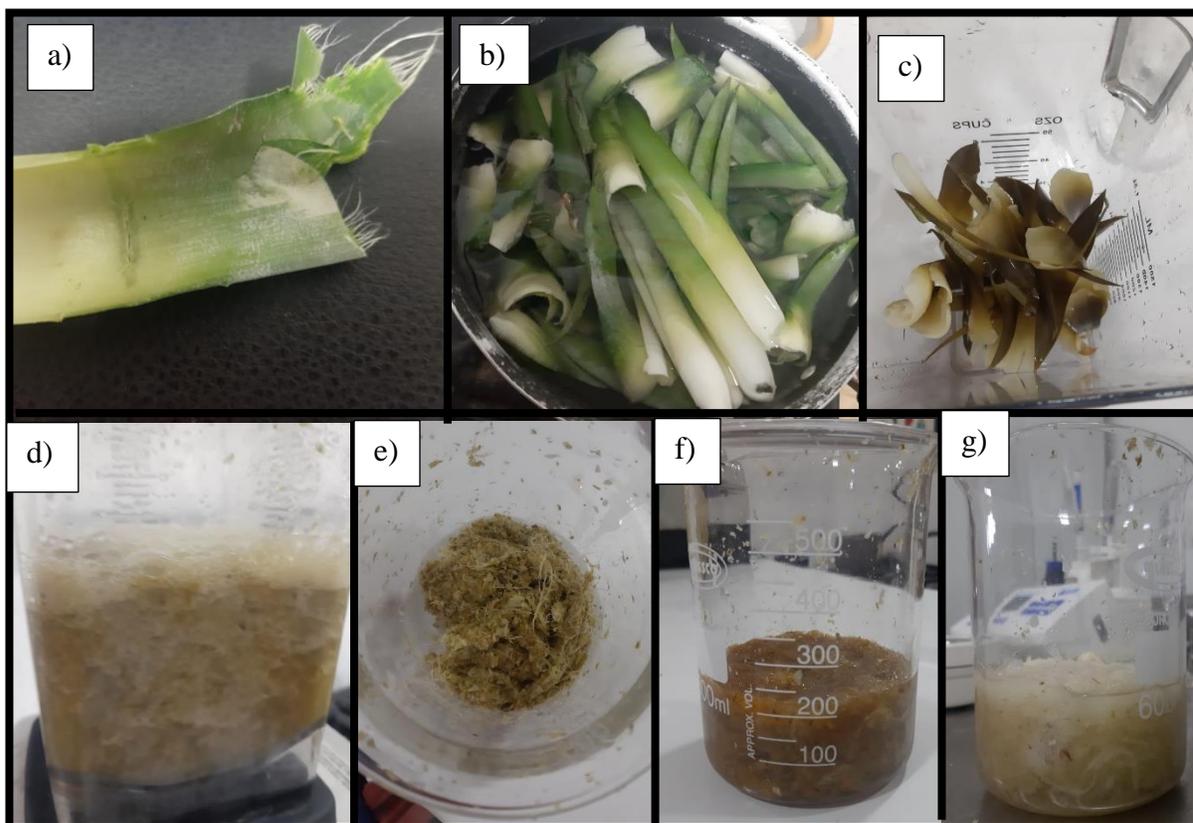
- Se desarrolló exitosamente un conjunto de bioplásticos a partir de cáscaras de mango y maracuyá, provenientes de los residuos generados de la agroindustria *Fruttec S.A.S*, y se analizaron los materiales obtenidos apoyándose en la bibliografía referenciada y análisis experimentales.
- Las muestras realizadas en este proyecto se estudiaron por medio de análisis termogravimétrico (TGA) y reflejaron una posible degradación térmica aproximada entre 150- 200 °C, por lo tanto, se puede concluir que los biomateriales en esta investigación asemejan su estabilidad térmica en este rango reportado.
- Los resultados obtenidos en el análisis de calorimetría diferencial de barrido DSC indicaron el comportamiento térmico del material, sin embargo, no fue posible determinar claramente una temperatura de cristalización o fusión, a la temperatura de 174,93°C se presentó una leve disminución del flujo de calor que coincidió con una relativa estabilidad en la pérdida de peso, mas no se puede asumir que se trate de una cristalización de la pectina.
- Se concluye que los bioplásticos sintetizados en este proyecto a partir de cáscaras de mango y maracuyá contaron con buenas propiedades mecánicas, lo que permitieron un uso aprovechable como **portavasos, transportavasos, pizarras, material aislante térmico para bebidas calientes y empaques de dulce deshidratados de fruta.**

## 7 RECOMENDACIONES

Las coronas de las piñas son desechadas en restaurantes, agroindustrias, negocios alimenticios, generando toneladas de residuos, estas pueden ser aprovechadas en la industria textil<sup>78</sup>, absorbentes metálicos<sup>79</sup>, papel, además de ser utilizado como refuerzo para una matriz polimérica, materiales de construcción.

Las fibras están conformadas principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina<sup>80</sup>, siendo buen aislante térmico, ya que se ha demostrado que al ser implementado en un material, disminuye su conductividad térmica<sup>81</sup>. Estas fibras vegetales pueden ser extraídas como el procedimiento mostrado en la figura 46.

En la figura 46 inicialmente se muestran las fibras presentes en la corona de la piña (a), se pasan a un recipiente donde se pondrán solución y serán calentadas durante 10 minutos(b), hasta que cambie su coloración(c), posteriormente se trituran con un poco de agua, para reducir el tamaño de partícula de las fibras y extraerlas a profundidad (d), las fibras se pasan por un proceso de colado, para separar el líquido de la materia sólida (e), por último, se mezcla con hipoclorito puro y se dejan en reposo durante 3 horas (f), hasta obtener las fibras vegetales blancas (g), listas para su implementación.



*Fig 46. Proceso de extracción de celulosa proveniente de la corona de la piña.*

Al implementar las fibras vegetales a un prototipo de bioplástico es posible que su conductividad térmica disminuya, y podría obtenerse un material ecológico y con buenas propiedades térmicas, por lo tanto, los autores recomiendan adicionar fibras de la corona de la piña a los prototipos de bioplásticos. Existe un campo muy importante en la ingeniería de los polímeros el cual se refiere a los polímeros compuestos, los autores de este documento recomiendan agregar aditivos para obtener mejores propiedades térmicas y mecánicas. Se espera extender este estudio, a un estudio de postgrado.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ONU. Desafíos Globales - Población. Organización de las Naciones Unidas. 2019. Acceso el 4 de mayo, 2021.
2. Cremonez PA, Teleken JG, Weiser Meier TR, Alves HJ. Two-Stage anaerobic digestion in agroindustrial waste treatment: A review. *J Environ Manage*. 2021;281:1-2.
3. Freitas LC, Barbosa JR, da Costa ALC, Bezerra FWF, Pinto RHH, Carvalho Junior RN de. From waste to sustainable industry: How can agro-industrial wastes help in the development of new products? *Resour Conserv Recycl*. 2021;169(February).
4. Santos LA dos, Valença RB, Silva LCS da, et al. Methane generation potential through anaerobic digestion of fruit waste. *J Clean Prod*. 2020;256:1-2.
5. Kuittinen S, Hietaharju J, Kupiainen L, et al. Bioethanol production from short rotation *S. schwerinii* E. Wolf is carbon neutral with utilization of waste-based organic fertilizer and process carbon dioxide capture. *J Clean Prod*. 2021;293:1-8.
6. Dennehy C, Lawlor PG, McCabe MS, et al. Anaerobic co-digestion of pig manure and food waste; effects on digestate biosafety, dewaterability, and microbial community dynamics. *Waste Manag*. 2018;71:532-541.
7. Lee XJ, Ong HC, Gao W, et al. Solid biofuel production from spent coffee ground wastes: Process optimisation, characterisation and kinetic studies. *Fuel*. 2021;292(January):120309.
8. Cui Y, Dong X, Tong J, Liu S. Degradation of lignocellulosic components in unpretreated vinegar residue using an artificially constructed fungal consortium. *BioResources*. 2015;10(2):3434-3450.
9. Manuel BECV. DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN BIOPLÁSTICO A PARTIR DE CÁSCARA DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis*). 2020.
10. Cardoso MFG, Green SJ, Trespalacios RAN, Paz MS. *BIOPLÁSTICOS: SOLUCIONES AMBIENTALES*.; 2016.
11. Romero M, Eduardo J, Baena W. Bioplástico. 2019.
12. Prieto A. *Los Bioplásticos, ¿Qué Son? ¿Cuántos Hay? ¿Cómo Se Producen?*; 2020.
13. Friedrich D. Market and business-related key factors supporting the use of compostable bioplastics in the apparel industry : A cross-sector analysis. *J Clean Prod*. 2021;297:126716.
14. Kakadellis S, Harris ZM. Don ' t scrap the waste : The need for broader system boundaries in bioplastic food packaging life-cycle assessment e A critical review. *J Clean Prod*. 2020;274:122831.
15. EuropeanBioplastics. *What Are Bioplastics?*; 2018.

16. Seenuvasan M, Malar CG, Growther L. Production of a biopolymer film from biological wastes and its statistical analysis. *Bioresour Technol Reports*. 2021;13(November 2020):1-5.
17. Pandharipande SL, Bhagat PH, Professor A, Tech B, Semester T. Synthesis of Chitin from Crab Shells and its Utilization in Preparation of Nanostructured Film. *Int J Sci Eng Technol Res*. 2016;5(5):1378-1383.
18. Rødde RH, Einbu A, Vårum KM. A seasonal study of the chemical composition and chitin quality of shrimp shells obtained from northern shrimp (*Pandalus borealis*). *Carbohydr Polym*. 2008;71(3):388-393.
19. Khoo CG, Dasan YK, Lam MK, Lee KT. Algae biorefinery: Review on a broad spectrum of downstream processes and products. *Bioresour Technol*. 2019;292:1-9.
20. Kartik A, Akhil D, Lakshmi D, et al. A critical review on production of biopolymers from algae biomass and their applications. *Bioresour Technol*. 2021;329:1-8.
21. Devadas VV, Khoo KS, Chia WY, et al. Algae biopolymer towards sustainable circular economy. *Bioresour Technol*. 2021;325:1-8.
22. Dianursanti, Khalis SA. The Effect of Compatibilizer Addition on *Chlorella vulgaris* Microalgae Utilization as a Mixture for Bioplastic. *E3S Web Conf*. 2018;67:2-6.
23. Álvarez DOG. Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos funcionales: una aproximación desde la nutrición animal. 2013.
24. Zoungran Y, Lynda E, Dobi-Brice KK, Tchirioua E, Bakary C, Yannick DD. Influence of natural factors on the biodegradation of simple and composite bioplastics based on cassava starch and corn starch. *J Environ Chem Eng*. 2020;8(5):104396.
25. Chariguamán C. JA, Ruano J, Cardona J. Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.). 2015.
26. Chromatography G, Spectrometry M. Aromatic Characterization of Mangoes (*Mangifera indica* L.) Using Solid Phase Extraction Coupled with. 2020.
27. Ríos MD, Muñoz KG, Tabizón EF, et al. Caracterización y capacidad de adsorción de la especie vegetal *Larrea tridentata* como adsorbente de color. *Cult Científica y Tecnológica*. 2016;0(54).
28. Singh NP, Jerath N, Singh G, Gill PPS. Physico-chemical characterization of unexploited mango diversity in sub-mountane zone of northern India. *Indian J Plant Genet Resour*. 2012;25(3):261-269.
29. Cuevas-Glory LF, Sauri-Duch E, Sosa-Moguel O, Pino JA. Characterization of odor-active compounds in mango 'Ataulfo' (*Mangifera indica* L.) fruit. *Chem Pap*. 2020;74(11):4025-4032.

30. Sutcliffe L. Applied spectroscopy reviews, volume I. *Polymer (Guildf)*. 1969;10(June 2013):556.
31. Silva RM, Placido GR, Silva MAP, Castro CFS, Lima MS, Caliari M. Chemical characterization of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) seeds. *African J Biotechnol*. 2015;14(14):1230-1233.
32. Naciones Unidas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
33. Gamboa Porras J, Mora Montero J. Guía para el cultivo del mango (*Mangifera indica* L.) en Costa Rica. 2010:62.
34. Lawson T, Lycett GW, Ali A, Foan C. Characterization of Southeast Asia mangoes (*Mangifera indica* L ) according to their physicochemical attributes. *Sci Horti (Amsterdam)*. 2019;243(August 2018):189-196.
35. Bruno de Sousa Sabino L, Leônia da Costa Gonzaga M, de Siqueira Oliveira L, et al. Polysaccharides from acerola, cashew apple, pineapple, mango and passion fruit co-products: Structure, cytotoxicity and gastroprotective effects. *Bioact Carbohydrates Diet Fibre*. 2020;24(October 2019):1-9.
36. Banerjee P, Jana S, Mukherjee S, et al. The heteropolysaccharide of *Mangifera indica* fruit: Isolation, chemical profile, complexation with  $\beta$ -lactoglobulin and antioxidant activity. *Int J Biol Macromol*. 2020;165:93-99.
37. Cedeño J, Zambrano J. Cáscaras de piña y mango deshidratadas como fuente de Fibra Dietética en producción de galletas. *Esc Super Politec Agropecu Manabi Man Felix Lopez*. 2014:98.
38. Ávila FA, Funk VA. *Catálogo de Plantas y Líquenes.*; 2016.
39. Manuel J. Lista de Especies de Passifloraceae de Colombia. *Biota Colomb*. 2000;1(3)(3):320-335.
40. Landauro Leiva J (ORCID: Extractos acuosos de semilla, hoja y fruto de *Passiflora edulis* como antibacteriano contra *Salmonella enterica* frente a ciprofloxacino, in vitro. 220AD.
41. Mora KRQ. Niveles de Harina de Cáscara de Maracuyá (*Passiflora edulis*) en Elaboración de yogur natural. *J Chem Inf Model*. 2013;53(9).
42. Orjuella Barquero NM, Campos Alba S, Sánchez Nieves J, Melgarejo LM, Hernández MS. Manual de manejo poscosecha de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). *Poscosecha la gulupa (Passiflora edulis Sims)*. 2011;(April 2016):7-22.
43. Kulkarni SG, Vijayanand P. LWT - Food Science and Technology Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L . ). *LWT - Food Sci Technol*. 2010;43(7):1026-1031.

44. Gamonpilas C, Buathongjan C, Kirdsawasd T, et al. Pomelo pectin and fiber: Some perspectives and applications in food industry. *Food Hydrocoll.* 2021:38.
45. Pre-proof J. Pectin-based Injectable and Biodegradable Self-Healing Hydrogels for Enhanced Synergistic Anticancer Therapy. *Acta Biomater.* 2021:1-30.
46. Fischer G. *Cultivo , Poscosecha y Comercialización de Las Pasifloráceas En Colombia : Maracuyá , Granadilla , Gulupa y Curuba.*; 2009.
47. Yepes A, Ochoa-bautista D, Murillo-arango W, Quintero-saumeth J, Bravo K, Osorio E. Purple passion fruit seeds ( *Passiflora edulis f. edulis Sims* ) as a promising source of skin anti-aging agents : Enzymatic , antioxidant and multi-level computational studies. *Arab J Chem.* 2021;14(1):102905.
48. Mariane E, Giroux HJ, Lamothe S, et al. Use of passion fruit seed extract ( *Passiflora edulis Sims* ) to prevent lipid oxidation in dairy beverages during storage and simulated digestion. *LWT - Food Sci Technol.* 2020;123(October 2019):109088.
49. Widmann G. *Información TA: Interpretación de Curvas TGA.*; 2001.
50. Worldwide IS. *Qué Es ASTM International?*; 2003.
51. ASTM E1131-08. *Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry 1.*; 2010.
52. ROBALINO HOG. CARACTERIZACIÓN DE HIDROCARBUROS Y ALCOHOLES PARA UN CICLO RANKINE ORGÁNICO MEDIANTE CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC) TRABAJO. 2016;4(4).
53. ASTM International. *Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning.* Vol D4318-08.; 2012.
54. Cosmogreen. *Ficha Técnica de Ultralimpiador Desinfectante Sanity Beta.*; 2018.
55. Devia Pineda J. Proceso para producir Pectinas Cítricas. *Rev Univ EAFIT.* 2003;39(129):21-29.
56. Mali S, Grossmann MVE, Garcia MA, Martino MN, Zaritzky NE. Microstructural characterization of yam starch films. *Carbohydr Polym.* 2002;50(4):379-386.
57. Juliana Meneses, Catalina Corrales MV. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *EIA.* 2007;8(5):57-67.
58. Renteria J. Procesamiento de frutas de maracuyá (*Passiflora edulis*) para obtención de pectina. 2014.
59. Stefanello C, Rosa C. Composición aproximada de las cáscaras de diferentes frutas. *Rev Cienc y Technol.* 2012;(17):0-0.
60. DENOYA G, BENÍTEZ C. Efecto de la aplicación de tratamientos combinados de

aditivos sobre la inhibición del pardeamiento enzimático en manzanas cv. Granny Smith mínimamente procesadas. *RIA Rev Investig Agropecu.* 2012;38(3):263-267.

61. Morante Carriel J, Agnieszka Obrebska A, Nieto Rodríguez JE, Carranza Patiño MS, Pico-Saltos R, Bru-Martínez R. Distribución, Localización E Inhibidores De Las Polifenol Oxidasas En Frutos Y Vegetales Usados Como Alimento. *Cienc y Tecnol.* 2014;7(1):23-31.
62. Cabezas Serrano AB. Estrategias dirigidas a retrasar el pardeamiento enzimático en productos destinados a la IV Gama: alcachofas y patatas. 2013.
63. Villada HS, Acosta HA, Velasco RJ. Investigación de almidones termoplásticos, precursores de productos biodegradables. *Inf Tecnol.* 2008;19(2):3-14.
64. Pilla Barroso IA. Desarrollo de un material termoplástico obtenido a partir de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y plastificantes. 2017.
65. Ruiz G. Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidon de yuca. *Ingeniería y Cienc.* 2006;2:5-28.
66. Babalola R, Ayeni AO, Joshua PS, et al. Synthesis of thermal insulator using chicken feather fibre in starch-clay nanocomposites. *Heliyon.* 2020;6(11):e05384.
67. Ahn HK, Sauer TJ, Richard TL, Glanville TD. Determination of thermal properties of composting bulking materials. *Bioresour Technol.* 2009;100(17):3974-3981.
68. Nourbakhsh A, Karegarfard A, Ashori A, Nourbakhsh A. Effects of particle size and coupling agent concentration on mechanical properties of particulate-filled polymer composites. *J Thermoplast Compos Mater.* 2010;23(2):169-174.
69. Laskar IB, Gupta R, Chatterjee S, Vanlalveni C, Rokhum L. Taming waste: Waste *Mangifera indica* peel as a sustainable catalyst for biodiesel production at room temperature. *Renew Energy.* 2020;161:207-220.
70. Gunindra P, Diparjun D, Kalyani R, Lalthazuala R. Exploiting waste: Towards a sustainable production of biodiesel using *Musa acuminata* peel ash as a heterogeneous catalyst Gunindra. *Green Chem.* 2018:1-9.
71. Lin Y, Zheng N. Biowaste-to-biochar through microwave-assisted wet co-torrefaction of blending mango seed and passion shell with optoelectronic sludge. *Energy.* 2021;225:120213.
72. Lin Y, Zheng N. Torrefaction of fruit waste seed and shells for biofuel production with reduced CO<sub>2</sub> emission. *Energy.* 2021;225:120226.
73. Misra NN, Yadav SK. Extraction of pectin from black carrot pomace using intermittent microwave, ultrasound and conventional heating: Kinetics, characterization and process economics. *Food Hydrocoll.* 2020:105592.
74. Valdivia-rivera S, Herrera-pool IE, Ayora-talavera R, Alejandro M. Pectin from

Mangifera indica L . cv . Haden residues : Kinetic , thermodynamic , physicochemical , and economical characterization Statement of Novelty Declarations Funding Acknowledgements. :1-21.

75. Matharu A, Houghton J, Covadonga L, Moreno A. Acid-Free Microwave-Assisted Hydrothermal Extraction of Pectin and Porous Cellulose from Mango Peel Waste – Towards a Zero Waste Mango Biorefinery. *Green Chem.* 2016:1-9.
76. Moreira RB, Teixeira JA, Furuyama-lima AM, Souza NC De, Siqueira AB. Thermochimica Acta Preparation , characterization and evaluation of drug-delivery systems : Pectin and mefenamic acid fi lms. *Elsevier BV.* 2014;590:100-106.
77. López DF, Osorio O, Checa OE. Propiedades Mecánicas de un Material de Pectina para Revestimiento de Fibras Naturales Utilizadas en Aplicaciones Agrícolas. *Inf tecnológica.* 2019;30(3):189-198.
78. Hazarika D, Gogoi N, Jose S, Das R, Basu G. Exploration of future prospects of Indian pineapple leaf, an agro waste for textile application. *J Clean Prod.* 2017;141:580-586.
79. Zhuang Y, Liu J, Chen J, Fei P. Modified pineapple bran cellulose by potassium permanganate as a copper ion adsorbent and its adsorption kinetic and adsorption thermodynamic. *Food Bioprod Process.* 2020;122:82-88.
80. Kim J, Sunagawa M, Kobayashi S, Shin T, Takayama C. Developmental localization of calcitonin gene-related peptide in dorsal sensory axons and ventral motor neurons of mouse cervical spinal cord. *Neurosci Res.* 2016;105:42-48.
81. Azzouzi D, Rabahi W, Seddiri F, Hemis M. Experimental study of the fibres content effect on the heat insulation capacity of new vegetable composite plaster-pea pod fibres. *Sustain Mater Technol.* 2020;23:e00144.