



**CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN EL RAMBUTÁN (*Nephelium lappaceum*) E IMPLEMENTACIÓN DE LIGNINA EXTRAÍDA DEL PERICARPIO COMO MATERIA PRIMA EN BIOPELÍCULAS**

**Trabajo de grado para optar por el título de:**

**Ingenieros Químicos**

**Modalidad: Trabajo de investigación**

**Presentado por:**

**GUSTAVO ALEXIS ACOSTA LEON  
JULIAN DAVID MORA ANTIVAR**

**Bajo la dirección de:**

**MARTHA PATRICIA TARAZONA DÍAZ. PH.D.  
Ingeniera de Alimentos.**

**Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
Departamento de Ingeniería  
Programa de Ingeniería de Alimentos**

**Bogotá, D.C.- Colombia  
2019**

# CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN EL RAMBUTÁN (*Nephelium lappaceum*) E IMPLEMENTACIÓN DE LIGNINA EXTRAÍDA DEL PERICARPIO COMO MATERIA PRIMA EN BIOPELÍCULAS

## 1. Resumen

En este trabajo se caracterizó el Rambután (*Nephelium lappaceum*), se desarrolló una biopelícula de lignina extraída de la corteza del Rambután con una mezcla de almidón (yuca) y glicerol, la mezcla de materias primas se manejó en un diseño experimental con rango de almidón (60-80%), glicerol (10-30%) y lignina (0-20%). A las biopelículas se caracterizaron propiedades mecánicas de elongación, tensión y módulo de Young, se estudiaron las interacciones moleculares por método de Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR).

La caracterización presentó Capacidad antioxidante DPPH: Pericario  $27,53 \pm 0,37$ , Semilla  $9,07 \pm 0,08$ , Arilo  $2,96 \pm 0,24$  (g Trolox/L muestra), Capacidad antioxidante FRAP Pericarpio  $14,53 \pm 0,34$ , Semilla  $0,67 \pm 0,008$ , Arilo  $0,32 \pm 0,02$  (g Trolox/L muestra), Polifenoles totales Folin-Ciocalteu Pericarpio  $8,66 \pm 0,60$ , Semilla  $2,10 \pm 0,39$ , Arilo  $0,90 \pm 0,28$  (g Ácido Gálico/100 g fruto), Contenido de Vitamina C Semilla  $48,05 \pm 6,84$ , Arilo  $62,38 \pm 22,08$  (mg Ácido Ascórbico/L muestra). la cantidad de desecho que genera el fruto es de 51,13% Las biopelículas presentaron valores de tensión entre 0.375-3.04 MPa, con elongación entre 1.48 y 20.232 % en cuanto a biopelícula sin lignina presenta un 18.486% más que si tuviera lignina, en concentraciones bajas de glicerol, y sin contenido de lignina las interacciones intramoleculares del almidón dan un comportamiento con menor rigidez y fragilidad, en presencia de lignina y concentraciones bajas de glicerol, su rigidez y fragilidad se aumenta y favorece las interacciones intramoleculares partir de los resultados obtenidos se presenta una opción en aplicaciones de recubrimientos y empaques.

**Palabras clave:** biopelícula, lignina, rambután, pericarpio, arilo.

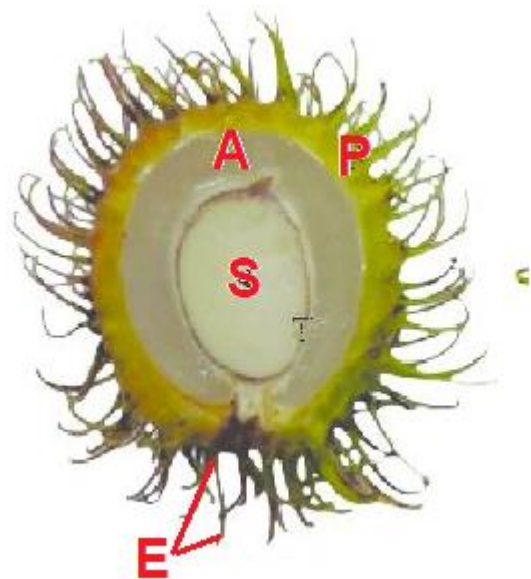
## 2. Introducción

La producción global de frutas tropicales exóticas ha disminuido debido a los cambios climáticos, en 2017 llegó a 24 millones de toneladas de frutos tropicales cosechados con un valor estimado de 20 millones de dólares para el mismo año, mayormente producido por Asia que representa el 86 por ciento de la producción global (FAO, 2018), el rambután en específico alcanzó un volumen de producción de 1,4 millones de toneladas en 2015-2017 (FAO, 2018).

En Colombia se encuentran árboles de rambután de diferentes variedades (R 134, R156, R162, R167) con rendimientos aproximados de 77 kg anuales de fruto por planta (Arias et al., 2016). La demanda del mercado mundial de las frutas tropicales cada vez genera así mismo una producción de desecho, el rambután posee porcentajes de corteza no comestible (37-62 %), piel comestible (34-54 %) y semilla (4-9 %) con características aprovechables (Cheok et al., 2016). Algunos estudios sobre desechos del pericarpio de rambután citan su uso farmacéutico (Okonogi et al., 2007; Riyanto et al., 2017), uso como bioadsorbentes en recuperación de oro de soluciones acuosas, (Rubcumintara, Aksornpan, Jonglertjunya, Koo-Amornpattana, & Tasaso, 2012), carbón activado a partir de la corteza mediante activación de KOH (Njoku et al., 2014), los extractos de sus semillas se estudiaron como , biocoagulantes comparándolo con

el alumbre para su uso potencial en la eliminación de turbidez en la industria de tratamiento de agua (Zurina et al., 2014). Composición de Rambután, posee 0,68% de grasa, 0,91 % de proteína, Sodio 20,8 mg/100g, vitamina C 59,4mg/100g, glucosa 2,9%, fibra 0,05%, además de 17,2% de azúcares totales (Osorio et al., 2017).

A= Arilo  
E= Espiternos  
P= Pericarpio  
S= Semilla



La corteza del rambután contiene lignina, este es uno de los polímeros que más abunda en las plantas, se genera como subproducto de procesos lignocelulósico con el fin de obtener polisacáridos, su estructura en las paredes de los frutos y plantas es de gran importancia en su desarrollo apoya la estructura en los órganos de la planta proporcionando rigidez a las células y permite el transporte de sustancias como solutos y agua por su hidrofobicidad y gran resistencia es asociado contra el ataque de microorganismos (Kubo & F., 2004), Lignina es sintetizada a partir de tres monómeros de alcohol hidroxicinamil ( p- coumaryl, coniferyl y alcoholes sinapílicos).

La implementación de lignina para aplicaciones es una alternativa para evitar el empleo de materiales que son obtenidos de petróleo y manteniendo características similares, como las mezclas con almidón en variación de sus concentraciones en la formación de biopelículas (Lepifre et al., 2004)

Dado el continuo aumento de la población y desarrollo de tecnologías, la contaminación ambiental ha sido una amenaza constante los últimos años, más del 60 % de los desechos son

principalmente envases, que en su mayoría están fabricados a partir de polímeros sintéticos (Marsh & Bugusu, 2007). Motivo por el cual el desarrollo de materiales biodegradables son una herramienta para contrarrestar la contaminación de dichos envases, estudios muestran la fabricación de biopelículas, y envolturas fabricadas parcial o totalmente de materia orgánica o biológica (Lange & Wyser, 2003). Estas biopelículas están elaboradas para que puedan descomponerse en cualquier sistema aerobio o anaerobio en función de la fabricación, a partir de polipéptidos, ligninas, pectinas, polisacáridos como celulosas o almidones (Stepto, 2003, Cruz et al., 2015, Batori et al., 2017).

Por esto es importante contar con alternativas para proyectar nuevos materiales no solo como envases si no como recubrimientos que garanticen propiedades similares según la aplicación, por ende, el objetivo de este proyecto consistió en la caracterización del rambután, extracción de la lignina a partir de su desecho (Pericarpio), para ser usado en biopelículas y determinar las composiciones aptas y proponer una biopelícula como recubrimiento o sustituyente de materiales que son perjudiciales para el ambiente.

### **3. Materiales y métodos**

#### **3.1 Productos químicos**

Los reactivos utilizados fueron trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid), DPPH (2,2-diphenyl-picrylhydrazyl), 2-nitroanilina y TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine), suministrados por Auros químicos LTDA. (Bogotá, Colombia); el ácido acético glacial, ácido ascórbico, ácido clorhídrico 37%, ácido sulfúrico, acetato de sodio, cloruro férrico hexahidratado, cloruro de potasio, hidróxido de sodio y nitrito de sodio fueron proporcionados por Merck S.A. (Bogotá, Colombia); el etanol 96% y metanol fueron adquiridos en Ciacomeq (Bogotá, Colombia) y el ácido oxálico en Carlo Erba Reagents S.A. (Sabadell, España).

#### **3.2 Material vegetal**

El fruto usado para este proyecto fue rambután (*Nephelium lappaceum*), obtenido en un mercado local en la ciudad de Bogotá, comercializado desde el departamento del Valle del Cauca; se seleccionaron treinta ejemplares de rambután que fueron lavados con agua destilada y secados con papel absorbente para su posterior almacenaje a 3°C hasta su utilización de caracterización inicial.

La separación de partes del fruto fue hecha con un escalpelo para obtener cortes limpios, al separar el pericarpio y la semilla, se secaron con papel absorbente, posteriormente cada parte fue triturada en una licuadora (Imusa Infinyforce 12v, Medellín, Colombia) y almacenadas a  $-3 \pm 1$  °C.

#### **3.3 Caracterización fisicoquímica del rambután**

La masa de cada parte del fruto fue medida en una balanza analítica (Pyoneer Analytical, Ciudad de México, México), los diámetros ecuatorial y longitudinal fueron medidos con un pie de rey (Stanley 78-201, Bogotá, Colombia) al igual que la longitud de espiternos del rambután. Posteriormente se realizaron pruebas de pH con el potenciómetro (S20 SevenEasy™ pH, Columbus, USA) y grados Brix con el refractómetro (DR-A1 Plus, Tokyo, Japón), ambos para el arilo.

Después de esto se desarrollaron ensayos analíticos con los cuales se determinó la capacidad antioxidante, la cantidad de polifenoles totales y el contenido de vitamina C, en cada parte de la fruta por triplicado.

### **3.3.1 Capacidad antioxidante - ensayo DPPH**

Se inició con una extracción descrita por (Horvitz et al., 2017), mezclando 1 g de muestra sólida con 20 mL de solución etanol, agua destilada, ácido fórmico en proporciones (50:48:2), adicionalmente se tomó la muestra líquida directamente de la pulpa triturada. De forma consecutiva se sometieron las muestras a 100 rpm durante 30 minutos en un shaker (MaxQ™ HP, Waltham, USA) y después a 6000 rpm por 15 minutos más en una centrífuga (Mikro 120, Tuttlingen, Germany); seguido de esto se tomó el sobrenadante para poder registrar el volumen del extracto.

Esta prueba fue evaluada de acuerdo al método de reducción de DPPH descrito por (Brand-Williams et al., 1995) en el cual se tomaron 75  $\mu$ L de muestra diluida en etanol 96%(v/v) a un factor de 0,01 y se mezclaron con 1425  $\mu$ L de reactivo DPPH en tubos eppendorf con aislamiento de luz, posteriormente se homogeneizó la mezcla en un agitador tipo vortex (Mistral mixer 1192, Molund East, India) y se colocó bajo incubación a 37°C durante 1 hora en un baño termostataado (WNE 7, Schwabach, Alemania). Transcurrido este tiempo se leyó la absorbancia a 515 nm en el equipo (Evolution 300 UV-Vis Spectrophotometer, Waltham, USA) y su resultado fue comparado en la curva de calibración de Trolox ( $R^2=0,9915$  entre 100,3 - 601,7  $\mu$ M Trolox).

### **3.3.2 Capacidad antioxidante - ensayo FRAP**

Fue determinada mediante la metodología de reducción de  $Fe^{3+}$  con FRAP, descrita por (Benzie & Strain, 1996), usando el mismo extracto del numeral 3.3.1. Consistió en mezclar en tubos eppendorf aislados de luz 940  $\mu$ L de reactivo FRAP (solución (10:1:1) de buffer acetato de sodio pH 3,6 300 mM, cloruro férrico 20 mM y TPTZ 0,01 M), 30  $\mu$ L de etanol 96%(v/v) y 30  $\mu$ L de muestra diluida en etanol 96%(v/v) a un factor de 0,02, luego se homogeneizó en un vortex (Mistral mixer 1192, Molund East, India) y se colocó a incubar por 1 hora a 37°C en un baño termostataado (WNE 7, Schwabach, Alemania). Finalmente se hizo lectura de absorbancia a 593 nm en el equipo (Evolution 300 UV-Vis Spectrophotometer, Waltham, USA) y se contrastó el resultado en la curva de calibración de Trolox ( $R^2=0,9943$  entre 0 - 606,5  $\mu$ M Trolox).

### **3.3.3 Contenido de polifenoles totales - método Folin - Ciocalteu**

Se realizó el extracto según la metodología descrita por (Ainsworth & Gillespie, 2007), se elaboró una mezcla en relación 1 g de muestra sólida en 100 mL de metanol, adicionalmente se tomó la muestra líquida directamente de la pulpa triturada, posteriormente se sometieron las muestras a 100 rpm por 30 minutos en un shaker y luego se centrifugó a 6000 rpm durante 15 minutos en una centrífuga (Mikro 120, Tuttlingen, Germany). Al acabar este tiempo se tomó el sobrenadante y se anotó el volumen de la extracción.

Seguido de ello se homogeneizaron las muestras en un vortex (Mistral mixer 1192, Molund East, India), tubos eppendorf aislados de luz con la mezcla de 200  $\mu$ L de reactivo Folin - Ciocalteu 10% y 100  $\mu$ L de muestra diluida en metanol a un factor de 0,02, seguido de esto se dejó en reposo por 4 minutos y se agregaron 800  $\mu$ L de carbonato de sodio 700mM; luego de dejar incubando durante 2 horas a temperatura ambiente se leyó su absorbancia a 765 nm en el

equipo (Evolution 300 UV-Vis Spectrophotometer, Waltham, USA), cuyo resultado fue analizado en la curva de calibración de ácido gálico ( $R^2=0,9940$  entre 0 - 1003,6  $\mu\text{M}$  Á. gálico).

### **3.3.4 Cuantificación de vitamina C - método colorimétrico 2-nitroanilina**

La cuantificación de ácido ascórbico se hizo bajo la metodología de Bernal de Ramírez (1998), donde para extracción de muestras sólidas se mezcló 1 g de muestra con 20 mL de ácido oxálico 0,15% (p/v) en un shaker (MaxQ™ HP, Waltham, USA) a 100 rpm durante 15 minutos, seguido de esto se centrifugó a 6000 rpm por 15 minutos más y finalmente se reportó el volumen final del extracto.

Para muestras líquidas se tomó 1 mL de muestra y se mezcló con 4 mL de ácido oxálico 0,15%, luego se dejó en reposo durante 3 minutos para posteriormente llevarlo a la centrifuga (Mikro 120, Tuttlingen, Germany) por 15 minutos a 6000 rpm y registrar el volumen del extracto luego de este tiempo.

El ensayo se lleva a cabo en tubos eppendorf distintos de forma paralela para muestra sólida y líquida según el mismo autor, en el cual se mezclaron 10  $\mu\text{L}$  de 2-nitroanilina 0,16% (p/v), 20  $\mu\text{L}$  de nitrito de sodio 0,08%, 380  $\mu\text{L}$  de etanol 96%(v/v) y 100  $\mu\text{L}$  de una dilución (50:50) de extracto de muestra sólida con ácido oxálico 0,15%, al igual que la misma alícuota por separado para la dilución con factor 0,5 del extracto de muestra líquida. Adicionalmente se mezclan 120  $\mu\text{L}$  de hidróxido de sodio y 380  $\mu\text{L}$  de agua destilada. Esta mezcla se homogeneizó en un agitador tipo vortex (Mistral mixer 1192, Molund East, India) y en seguida se leyó su absorbancia a 540 nm en el equipo (Evolution 300 UV-Vis Spectrophotometer, Waltham, USA), la cual se comparó con la curva patrón de ácido ascórbico ( $R^2=0,9973$  entre 0 - 212 ppm Á. ascórbico).

### **3.3.5 Extracción de lignina**

Las muestras de pericarpio previamente congeladas se sometieron a deslignificación según el procedimiento TAPPI T-222 om-02 (TAPPI, 2006), teniendo el pericarpio ya triturado con tamaño de partícula de  $1,19\pm 0,22\text{mm}$ , se dividió en tres partes iguales de 21g, seguido de esto se realizaron dos lavados con agua destilada en constante agitación a  $55\pm 0,5^\circ\text{C}$ , posteriormente se realizó un secado de muestra en un horno universal (Mettler, Schwabach, Alemania) a  $55\pm 5^\circ\text{C}$  durante  $15\pm 1$  horas. Transcurrido ese tiempo se sometió a la remoción de pigmentos presentes en la corteza por medio de extractores Soxhlet, de los cuales se colocaron tres montajes, cada uno con 7,0g de corteza y 150mL de etanol 96%(v/v) durante 3 horas.

El contenido de los cartuchos Soxhlet fue solubilizado con NaOH 5%(p/v), adicionalmente se separó la lignina y la fibra por precipitación con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  72% (p/v), este precipitado resultante fue centrifugado y finalmente secado durante  $15\pm 1$  horas en un horno universal (Mettler, Schwabach, Alemania) a  $55\pm 5^\circ\text{C}$  para la obtención de lignina.

## **3.4 Diseño experimental**

Se propusieron 2 diseños experimentales (DoE) usando Design-Expert® Software versión 9 con las adaptaciones del enfoque factorial bajo los parámetros independientes de concentración en uno involucra el uso de almidón y glicerol en una relación constante de 3:1, lignina y fibra como se muestra en la tabla 1 para un total de 8 experimentos, el otro con el uso de las 3 materias primas almidón, glicerol y lignina, cada variable recibió una cota de alta y baja como se muestra en la tabla 2, para un total de 11 experimentos.

**Tabla 1.** *Parámetros factoriales de diseño y composiciones experimentales con materias primas almidón-glicerol relación 3:1, lignina y fibra.*

Factores	Niveles porcentuales	
	Bajo (-1)	Alto(+1)
Alm-Gli	0.8	0.98
Lignina	0.0	0.2
Fibra	0.0	0.05

**Tabla 2.** *Parámetros factoriales de diseño y composiciones experimentales con materias almidón, lignina y fibra.*

Factores	Niveles porcentuales	
	Bajo (-1)	Alto(+1)
Almidón	0.6	0.8
Glicerol	0.1	0.3
Lignina	0.0	0.2

### **3.5 Formación de biopelículas**

Posteriormente se procedió a elaborar biopelículas con la lignina extraída, el residuo de fibra en la extracción, almidón de yuca y glicerol en formulaciones similares a las mostradas por (Oluwasina et al., 2016); en esta parte del proceso se hizo una gelatinización de los componentes mezclados en beakers de 50mL y seguido de ello se dispuso cada una de las mezclas en láminas de polipropileno delimitadas con cinta de enmascarar para generar los moldes de las medidas deseadas en las probetas. Se condujo al secado en un horno universal (Memmert, Schwabach, Alemania) a 35°C durante 8 horas.

### **3.6 Pruebas mecánicas y caracterización de biopelículas por FTIR**

Se halló tensión, porcentaje de elongación y módulo de Young en las biopelículas elaboradas de acuerdo a la norma ASTM D638, con probetas cortadas de forma rectangular de dimensiones 40 X 100 mm, usando la computadora de control electromagnético universal T sante achine M. WDW - 30 analizado a una velocidad de 50 mm/min, adicionalmente se realizó caracterización por lectura FTIR en el equipo (Cary 630, Santa Clara, USA).

### **3.7 Análisis estadístico**

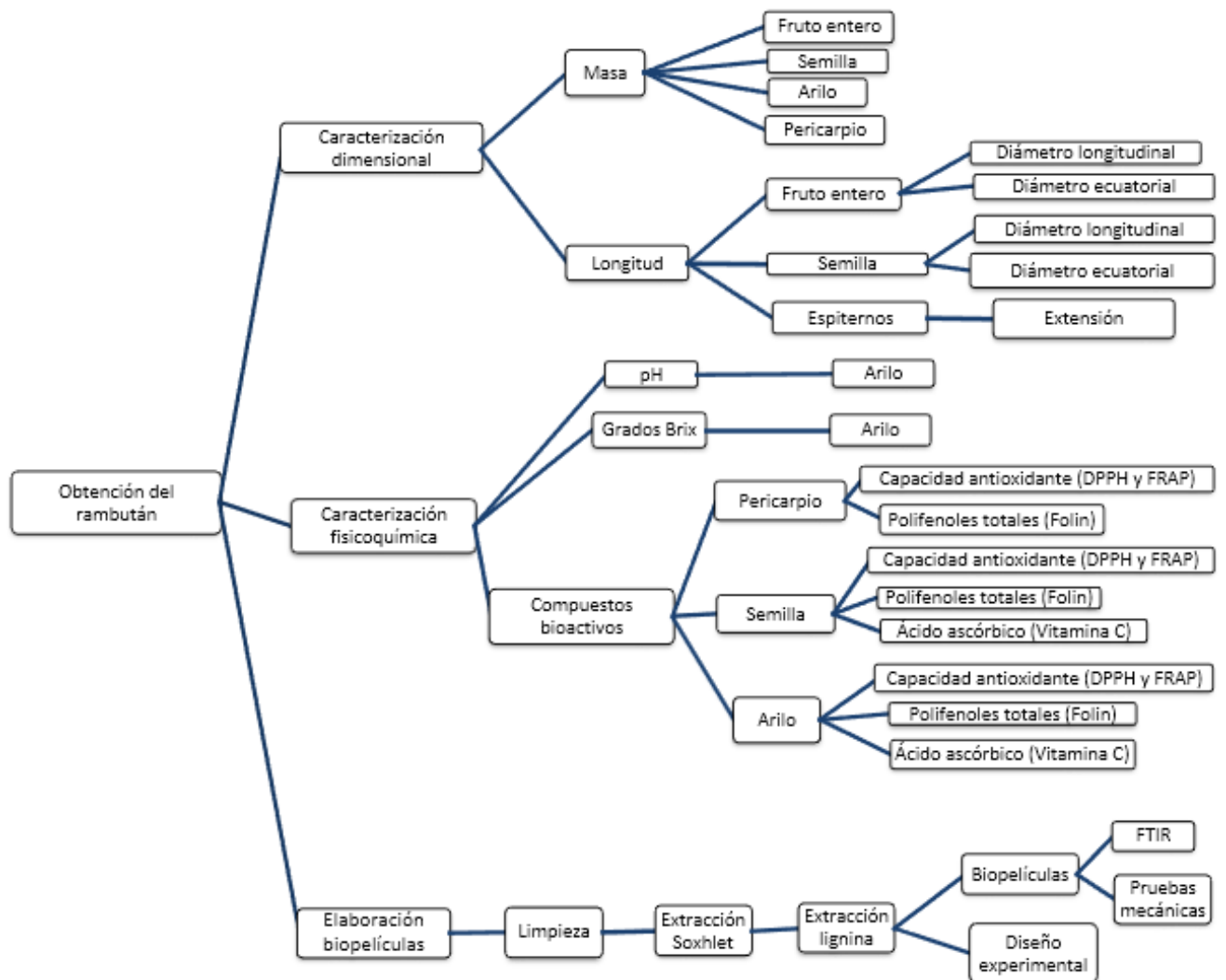
Los resultados fueron expresados como (media  $\pm$  desviación estándar).

Para el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza (ANOVA,  $P \leq 0.05$ ; Statgraphics Centurion 18, software shop, Bogotá, Colombia), a un nivel de significancia del 95%. Las diferencias entre las muestras fueron analizadas comparando los valores medios mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS).

Adicionalmente, la formulación de biopelículas fue hecha en el software Design Expert, con un modelo Simplex Lattice para visualizar su composición.

### **3.8 Resumen metodológico**

*Figura 1. Procedimiento del proyecto*



## 4. Resultados y análisis

### 4.1 Caracterización dimensional del fruto.

La Tabla 1, muestra los diámetros longitudinal, ecuatorial y largo, tanto del fruto entero como la semilla y el espiterno. Estos datos son similares a los obtenidos por (Andrade et al., 2008), donde se puede contrastar estos resultados con los de las variedades (A04, B03, B11, B67 y F08), cuyos valores promedio de diámetro longitudinal y ecuatorial fueron de 4,08cm, 3,40cm para fruto entero y 1,98cm, 1,32cm para semilla respectivamente. De igual forma, el largo de espiterno reportado en este estudio genera un error del 37,11% comparado con el 1,09cm obtenido por Andrade et al., (2008), el porcentaje de pulpa obtenido en este estudio (48,87%) se encuentra dentro del rango (35,08 - 50,83%) reportado por Andrade et al., (2008)

**Tabla 3.** Valores dimensionales promedio de fruto entero, semilla y filamentos externos (media  $\pm$  desviación estándar, n=30) (N/A, no aplica para medida).

	<b>Diámetro longitudinal (cm)</b>	<b>Diámetro ecuatorial (cm)</b>	<b>Largo (cm)</b>
<b>Fruto entero</b>	4,10 $\pm$ 0,22	3,05 $\pm$ 0,34	N/A
<b>Semilla</b>	2,34 $\pm$ 0,08	1,34 $\pm$ 0,18	N/A
<b>Espiterno</b>	N/A	N/A	1,50 $\pm$ 0,30

**Tabla 4.** Valores máxicos promedio y totales del fruto y sus partes (media  $\pm$  desviación estándar, n=30) (N/A, no aplica para medida).

	<b>Fruto entero (g)</b>	<b>Pericarpio (g)</b>	<b>Semilla (g)</b>	<b>Arilo (g)</b>
<b>Masa promedio</b>	19,48 $\pm$ 2,42	8,30 $\pm$ 2,70	1,77 $\pm$ 0,28	6,10 $\pm$ 1,45
<b>Masa total (30 ejemplares)</b>	616,13	257,90	57,11	301,11
<b>Composición Porcentual</b>	N/A	41,85%	9,28%	48,87%

El consumidor aprovecha en promedio únicamente el 48,87% del rambután, lo cual corresponde al porcentaje de Arilo, el 51,13% restante se desecha. Por lo tanto, se optó por la utilización del pericarpio, cuya composición es de 41,85% respecto al total, para la extracción de lignina con la cual se fabricaron biopelículas que podrían ser usadas como recubrimientos biodegradables y antimicrobianos para frutos mínimamente procesados en fresco.

## 4.2 Caracterización de compuestos en el rambután

Se presentan en la siguiente tabla los resultados de componentes bioactivos, capacidad antioxidante (DPPH, FRAP), Polifenoles totales - Folin-Ciocalteu, Contenido de Vitamina C, grados Brix, y pH en el rambután

**Tabla 5.** Resultados de caracterización (media  $\pm$  desviación estándar, n=30) (N/A, no aplica para medida).

<b>Parámetro*</b>	<b>Pericarpio (P)</b>	<b>Semilla (S)</b>	<b>Arilo (A)</b>
Capacidad antioxidante - DPPH: <i>P</i> y <i>S</i> (g Trolox/100 g fruto) : <i>A</i> (g Trolox/L muestra)	27,53 $\pm$ 0,37	9,07 $\pm$ 0,08	2,96 $\pm$ 0,24

Capacidad antioxidante - FRAP: <b>P y S</b> (g Trolox/100 g fruto) : <b>A</b> (g Trolox/L muestra)	14,53 ±0,34	0,67 ±0,008	0,32 ±0,02
Polifenoles totales - Folin-Ciocalteu: <b>P y S</b> (g Ácido Gálico/100 g fruto) : <b>A</b> (g Ácido Gálico/L muestra)	8,66 ±0,60	2,10 ±0,39	0,90 ±0,28
Contenido de Vitamina C: <b>P y S</b> (mg Ácido Ascórbico/100 g fruto) : <b>A</b> (mg Ácido Ascórbico/L muestra)	N/A	48,05 ±6,84	62,38 ±22,08
grados Brix	N/A	N/A	18,76±0.44
pH	N/A	N/A	4,32±0,28

**nota\*:** se hace la diferencia de unidades, (P) y (S) son muestras sólidas, mientras que (A) es una muestra líquida.

Tomando en cuenta frutas tropicales el contenido de polifenoles de frutas como longan 4,77-5,67 (g AG/100 g), lichi 5,18 (g AG/100 g), rambután 2,75-3,95 g AG/100 g, piña 9,51-10,8 g AG/100 g y naranja 7,87 g AG/100 g (Yahya et al., 2017) la muestra es similar a lo reportado para el rambután en el estudio y presenta una cantidad importante respecto a las frutas tropicales. DPPH y FRAP para la capacidad antioxidante los valores determinados en el estudio están encima de lo que reportan para el pericarpio, entre  $(9,85 \times 10^{-3} - 1,02 \times 10^{-2} \text{g Trolox/100 g})$  para DPPH y  $(5,53 \times 10^{-3} - 6,38 \times 10^{-3} \text{g Trolox/100 g})$  para FRAP (Yahya et al., 2017).

Teniendo en cuenta las mismas variedades mencionadas antes, estudiadas por (Andrade et al. 2008) se pueden contrastar los resultados de azúcares solubles en pulpa, pues en este estudio, presentó un valor promedio de 18,76° Brix, mientras que los de las especies indicadas están entre 16,63 - 19,50° Brix.

Por otra parte, según el estudio realizado por (Sukasih & Setyadjit., 2015) el pH del jugo de arilo de rambután se encuentra entre 4,4 - 4,7. Estos datos consisten con el valor de 4,32 obtenido en este estudio, cabe resaltar que la acidez reportada fue mayor a la del estudio comparativo.

Adicionalmente, se comparó el contenido de vitamina C del rambután con el de la guayaba, dado que este es un fruto tropical conocido con alta concentración de dicho compuesto. Lo reportado por (Cuastumal et al., 2016) en cuanto a vitamina C de guayaba fresca es de 187,31 (mg ácido ascórbico/100 g fruto), dado que la guayaba se compone mayormente de pulpa, se compara con lo obtenido en pulpa para el rambután, es decir, 62,38 (mg ácido ascórbico/L de pulpa) arrojando que, pese a sus grandes propiedades antioxidantes, el rambután contiene una tercera parte de vitamina C que contiene la guayaba. Por lo tanto, no es tan efectivo su consumo si se busca tener como fuente principal de este nutriente esencial.

Finalmente, los resultados mostrados en la Tabla 5 ponen en evidencia el gran potencial que tiene la cáscara del rambután para distintas aplicaciones, por sus propiedades antioxidantes y

antimicrobianas, además de propiedades quelantes de metales pesados, como lo menciona Li et al. (2018).

### 4.3 Análisis de FTIR de la lignina extraída de la cáscara de rambután

*Figura 2. Espectro FTIR de lignina de la cáscara del rambután.*



La estructura de la lignina es variable ya que depende del origen de la extracción y el método usado, para esto el FTIR permite determinar los grupos funcionales que posee la estructura y determinar qué tipo de lignina es el compuesto obtenido.

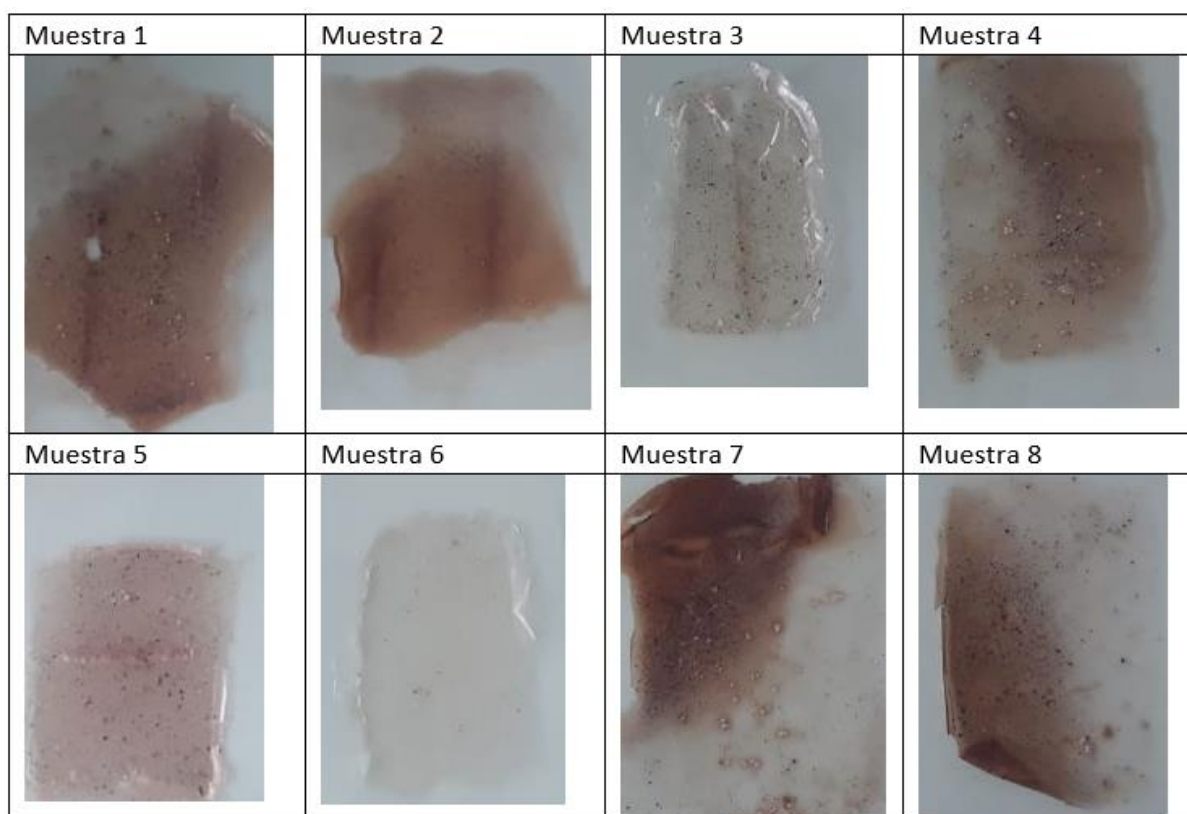
Las bandas del espectro posee una longitud de onda 3338.703 cm<sup>-1</sup> es la tensión de enlace -OH, 2928.389cm<sup>-1</sup> donde C-H presenta un aromático y tensión asimétrica de -CH alifático, 2119.437cm<sup>-1</sup> la asignación es de un C≡C, 1614.930 y 1521.049 cm<sup>-1</sup> Anillo aromático tensión C=C de unidades guaiacilo y siringilo, 1446.485cm<sup>-1</sup> Anillo aromático (deformación O-CH<sub>3</sub> en unidades guaiacilo y siringilo), 1197.312cm<sup>-1</sup> Vibración C-O en estructuras de tipo guaiacilo, 1095.809cm<sup>-1</sup> n-(C-O-C) éter, 1048.339cm<sup>-1</sup> Estiramiento -OH, alcohol primario en C-O-H, 876.858cm<sup>-1</sup> Flexión C-H aromático (fuera del plano).

Se observan señales semejantes en 3338, 2928, 2119, 1614, 1521, 1446, 1048, 879 cm<sup>-1</sup> con respecto a datos de la literatura (Alzagameem et al., 2018), que estima la composición química funcional de la lignina.

**Tabla 6.** Muestra las composiciones de las biopelículas formuladas por el diseño experimental, que involucra las materias primas almidón y glicerol en una relación fija de 3:1, y composiciones variables de lignina y fibra.

<b>Biopelícula</b>	<b>Composición (AlmGli-Lignina-Fibra) %</b>
1	85,92-14,08-0,00
2	81,64-18,36-0,00
3	96,5-0,00-3,5
4	89,3-9,10-1,6
5	86,35-8,65-5
6	98,87-1,13-0,00
7	80-16,85-3,15
8	89,3-9,10-1,60

*Figura 3. Resultado - Biopelículas con fibra*



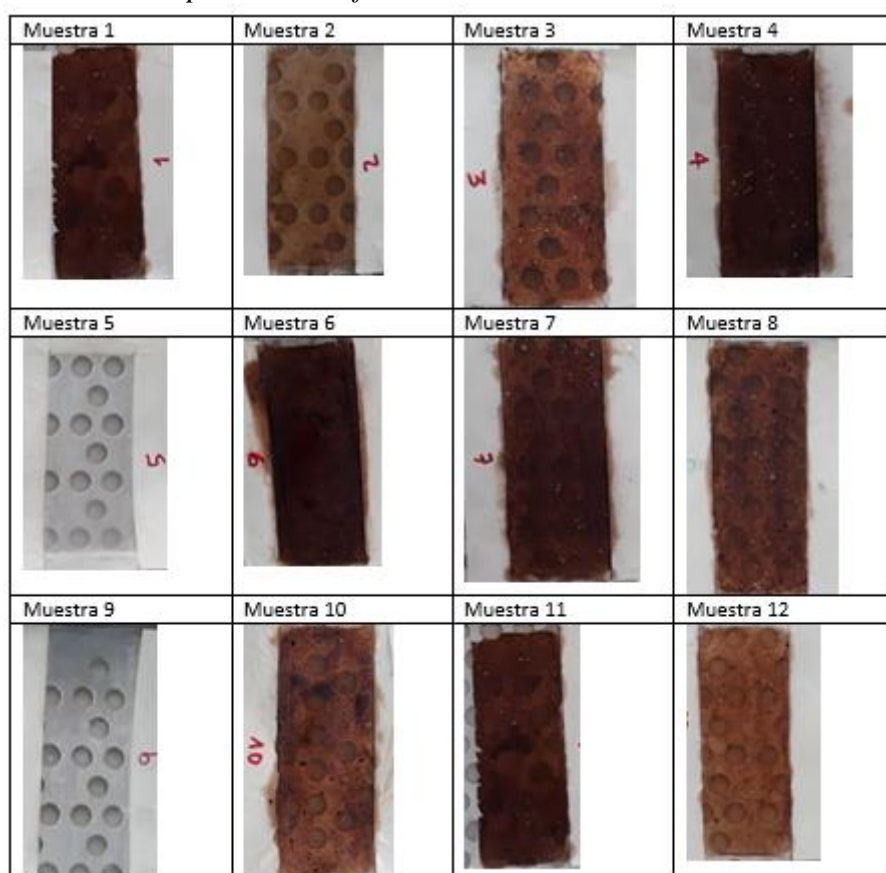
El empleo de fibra en las biopelículas provocó una fragmentación de las probetas, lo que imposibilita los ensayos mecánicos por lo cual se descartó el uso de fibra en las mismas.

**Tabla 7.** Muestra las composiciones de las biopelículas formuladas por el diseño experimental, que involucra las materias primas almidón glicerol y lignina.

N° Biopelícula	Composición (Almidón-Glicerol-Lignina) %
1	70,15-20,25-9,60
2	73,18-23,62-3,2
3	60-30-10
4	65,15-14,85-20
5	80-20-0
6	72,92-10,60-16,48
7	60-21,65-18,35

8	64,13-24,10-11,77
9	70-30-0
10	80-10-10
11	70,15-20,25-9,60
12	65,31-29,44-5,25

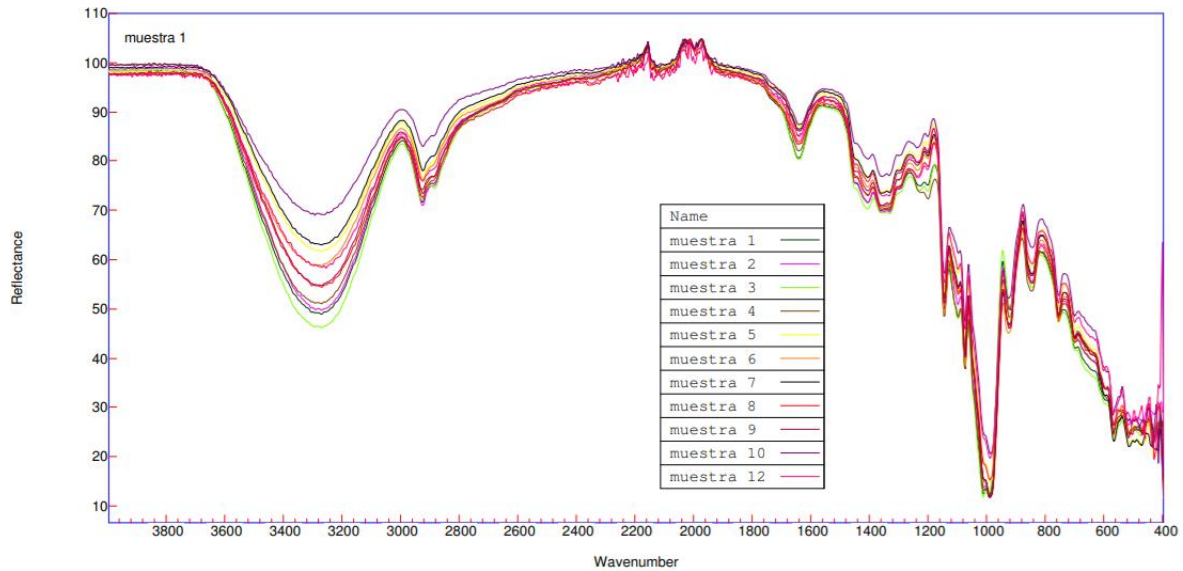
**Figura 4. Resultado - Biopelículas sin fibra**



#### **4.4 Análisis de FTIR de las biopelículas (almidón-glicerol-lignina)**

En la figura se detallan los espectros FTIR de las biopelículas desarrolladas, variando su composición (Almidón, Glicerol, Lignina).

**Figura 5.** FTIR combinado para las biopelículas.



El análisis FTIR arroja que no existen variaciones en las películas desarrolladas, ya que los componentes comparten las mismas longitudes de onda en las vibraciones de los grupos funcionales, solo resalta la presencia de mayor o menores composiciones.

**Tabla 8.** Resultados de propiedades mecánicas (media  $\pm$  desviación estándar,  $n=3$ ).

Película	Composición Alm-Gli-Lig (%)	Tensión (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de Young (Mpa)
1	70,14/20,25/9,60	0.44 $\pm$ 0,21 c	8 $\pm$ 0,98 c	3.911 $\pm$ 7.54 b
4	65,15/14,84/20	0.37 $\pm$ 0,32 c	20.23 $\pm$ 4.07 b	1.242 $\pm$ 3.90 b
5	80/20/0	0.87 $\pm$ 0,33 b	38.72 $\pm$ 4,9 a	1.809 $\pm$ 5.17 b
6	72,92/10,59/16,48	0.96 $\pm$ 0,23 b	5.01 $\pm$ 1.02 c	18.02 $\pm$ 6.81 b
10	80/10/10	3.04 $\pm$ 0.36 a	1.48 $\pm$ 1.09 c	188.34 $\pm$ 17.53 a

Letras iguales en la misma fila no presentan diferencia significativa por el test de tukey con un 5% de probabilidad.

Se obtuvieron 12 probetas de biopelículas, de las cuales sólo las (1, 4, 5, 6, 10) se pudieron analizar por el equipo, el restante no cumple con las características para evaluar sus propiedades mecánicas por este método, las probetas sometidas a ensayo presentaron valores de tensión entre 0.375-3.04 MPa, de acuerdo a la tensión la probeta (10) presenta diferencias significativas con respecto a las demás presentando mayor valor, esto quiere decir que la tensión que es la relación entre la fuerza de tracción aplicada en la dirección del eje longitudinal, y la sección transversal de la probeta es mayor que el resto por lo tanto el material presenta mayor tensión a una ruptura, por tener mayor concentración de Almidón, y un porcentaje de lignina no excesivo, que pudiera aumentar su fragilidad.

La elongación estuvo en un rango 1.48 - 38.72 % presentándose diferencias significativas entre las muestras, siendo la biopelícula (4) la que presenta mayor diferencia significativa respecto a las demás, esto quiere decir que puede deformarse y recuperar su forma de mejor manera que las otras biopelículas, hasta un porcentaje de 38.72%, debido a la concentración de glicerol ya que es la más alta, y su contenido bajo de lignina.

Con respecto al módulo de young la película número (10) presentó diferencias significativas siendo este valor mayor con diferencia a las demás biopelículas, esto quiere decir que la relación entre la tensión y deformación al ser el mayor más rígido es el material.

los resultados obtenidos tienen similitud a los reportados en composiciones similares de almidón y lignina cercanos al 20% según (Baumberger et al., 1998), por consiguiente la mejor formulación se define para la Composición Alm-Gli-Lig (80-10-10) por ciento respectivamente ya que tiene el mayor alcance en tensión y rigidez que le permitiría comportarse como un material de recubrimiento similar a otros como los que reportan en Muñoz et al., (2012) con tensiones entre los 2,67-4,68 MPa y ampliar su estudio.

los valores de tensión comparando con la biopelícula (10) son mucho menores a los reportados por Dick et al., (2015) también por (Farahnaky et al., 2013), en biopelículas a base de nopal (*Opuntia ficus-indica* L) con valores 0.4-0.95 MPa sus valores presentan gran similitud a la tensión en las biopelículas restantes (1,4,5,6), igualmente que en biopelículas con contenido de proteína de suero láctico con valores de 2,67 -4,68 MPa Muñoz et al., (2012), que presenta semejanza únicamente en la biopelícula que mayor tensión muestra la biopelícula (10). La elongación presenta valores similares con (Farahnaky et al., 2013; Espino et al., 2010).

## **5. Conclusiones**

La cantidad de desechos generados por el fruto es de 51,13%, que corresponde a la semilla con 9,28% y pericarpio 41,85% consumiéndose solo el arilo con un 48,87%.

El pericarpio es la parte del fruto que contiene mayor contenido de compuestos polifenoles totales de 8,66 g/100g de corteza; con resultados de la capacidad antioxidante de 27, 53 y 14,53 g/100g de corteza, para los ensayos de DPPH y FRAP respectivamente.

La lignina obtenida de los residuos de corteza del rambután representa un material con potencial de desarrollo para biopelículas a base de almidón y glicerol.

La presencia de lignina en concentraciones entre 10 y 16 % aumenta la tensión de las películas a diferencia de las que no contienen lignina.

El aumento de la lignina aumenta la tonalidad de color rojizo en las biopelículas, la elongación se ve mejorada en concentraciones menores de lignina, este material desarrollado a partir de la lignina de rambután, almidón de yuca y glicerol representa alternativas para aplicar en recubrimientos, ya que no posee propiedades mecánicas que puedan ser tomadas en cuenta como un material independiente.

## **6. Recomendaciones**

Se propone evaluar tiempos de degradación de las diferentes biopelículas, además de estudiar el efecto de las biopelículas sobre el rambután entero y mínimamente procesado en fresco; también la formulación diseño experimental con atmósferas modificadas de fruto rambután y compararlo con biopelículas por inmersión al mismo fruto, evaluando tiempos de degradación por ambas vías.

Se podría estudiar el uso del pigmento removido desde la limpieza del pericarpio de rambután en aplicaciones textiles, alimenticias y cosméticas.

## 7. Referencias

Ainsworth, E. A., & Gillespie, K. M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature Protocols*, 2(4), 875–877. <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.102>

Alzagameem, A., Khaldi-Hansen, B., Büchner, D., Larkins, M., Kamm, B., Witzleben, S., & Schulze, M. (2018). Lignocellulosic Biomass as Source for Lignin-Based Environmentally Benign Antioxidants. *Molecules*, 23(10), 2664. <https://doi.org/10.3390/molecules23102664>

Andrade, R. A. de, Lemos, E. G. de M., Martins, A. B. G., Paula, R. C. de, & Pitta Junior, J. L. (2008). Caracterização morfológica e química de frutos de rambutan. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(4), 958–963. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000400020>

Arias Cruz, M. E., Velásquez Ramírez, H. A., Mateus Cagua, D., Chaparro Zambrano, H. N., & Orduz Rodríguez, J. O. (2016). Rambután: un nuevo frutal tropical para Colombia con potencial para el mercado interno y de exportación. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 262–272. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5761>

Baumberger, S. Lapierre, C. & Monties, B. (1998). Utilization of Pine Kraft Lignin in Starch Composites: Impact of Structural Heterogeneity. *J. Agric. Food Chem.* 46(6). 2234-2240. <https://doi.org/10.1021/JF971067H>

Batori, Veronika & Jabbari, Mostafa & Åkesson, Dan & Lennartsson, Patrik & Taherzadeh, Mohammad & Zamani, Akram. (2017). Production of Pectin-Cellulose Biofilms: A New Approach for Citrus Waste Recycling. *International Journal of Polymer Science*. 2017. 10.1155/2017/9732329.

Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay, 76, 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>

Bernal de Ramírez, I. (1998). Fruits and vegetables and their products. In *Food Analysis* (3rd ed.). Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 114–116.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

Cheok, C. Y., Mohd Adzahan, N., Abdul Rahman, R., Zainal Abedin, N. H., Hussain, N., Sulaiman, R., & Chong, G. H. (2016). Current trends of tropical fruit waste utilization. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–27. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1176009>

Cruz, Luana Conceição da, Miranda, Cleidiane Souza de, Santos, Wilton Jesus dos, Gonçalves, Ana Paula Bispo, Oliveira, Jamerson Carneiro de, & José, Nadia Mamede. (2015). Development of Starch Biofilms Using Different Carboxylic Acids as Plasticizers. *Materials Research*, 18(Suppl. 2), 297-301. Epub December 04, 2015. <https://dx.doi.org/10.1590/1516-1439.370814>

Cuastumal, H. G., Valencia, B. L., & Ordóñez, L. E. (2004). Revista Lasallista de investigación. Revista Lasallista de Investigación (Vol. 13). Corporación Universitaria Lasallista. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-44492016000100008&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492016000100008&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

Dick, M., Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties, *Carbohydrate Polymers*, 130, 198-205 (2015)

Espino, M., Development and characterization of edible films based on mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.), *Journal of Food Science*, 75(6), E347-E352 (2010)

FAO (2018). Food Outlook- BIENNIAL REPORT ON GLOBAL FOOD MARKETS. (July 2018) 67-74. Retrieved July 8, 2019, from <http://www.fao.org/3/a-I8080e.pdf>

Horvitz, S., Chanaguano, D., & Arozarena, I. (2017). Andean blackberries (*Rubus glaucus* Benth) quality as affected by harvest maturity and storage conditions. *Scientia Horticulturae*, 226(September), 293–301. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.002>

Kubo, S., & F., K. J. (2004). Poly(Ethylene Oxide)/Organosolv Lignin Blends: Relationship between Thermal Properties, Chemical Structure, and Blend Behavior. <https://doi.org/10.1021/MA0490552>

Lange, J., & Wyser, Y. (2003). Recent innovations in barrier technologies for plastic packaging? a review. *Packaging Technology and Science*, 16(4), 149–158. <https://doi.org/10.1002/pts.621>

Lepifre, S., Baumberger, S., Pollet, B., Cazaux, F., Coqueret, X., & Lapiere, C. (2004). Reactivity of sulphur-free alkali lignins within starch films. *Industrial Crops and Products*, 20(2), 219–230. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.04.023>

Li, Y., Li, Z., Hou, H., Zhuang, Y., & Sun, L. (2018). Metal Chelating, Inhibitory DNA Damage, and Anti-Inflammatory Activities of Phenolics from Rambutan (*Nephelium*

lappaceum) Peel and the Quantifications of Geraniin and Corilagin. *Molecules*, 23(9), 2263. <https://doi.org/10.3390/molecules23092263>

Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food Packaging? Roles, Materials, and Environmental Issues. *Journal of Food Science*, 72(3), R39–R55. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x>

Muñoz, L.; Aguilera, L. Rodríguez-Turiénzo, A. Cobos, O. Díaz, Characterization and microstructure of films made from mucilage of *Salvia hispanica* and whey protein concentrate, *Journal of Food Engineering*, 111(3), 511-518 (2012)

Njoku, V. O., Foo, K. Y., Asif, M., & Hameed, B. H. (2014). Preparation of activated carbons from rambutan (*Nephelium lappaceum*) peel by microwave-induced KOH activation for acid yellow 17 dye adsorption. *Chemical Engineering Journal*, 250, 198–204. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.03.115>

Núñez-Flores, R., Giménez, B., Fernández-Martín, F., López-Caballero, M. E., Montero, M. P., & Gómez-Guillén, M. C. (2013). Physical and functional characterization of active fish gelatin films incorporated with lignin. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.017>

Okonogi, S., Duangrat, C., Anuchpreeda, S., Tachakittirungrod, S., & Chowwanapoonpohn, S. (2007). Comparison of antioxidant capacities and cytotoxicities of certain fruit peels. *Food Chemistry*, 103(3), 839–846. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.034>

Osorio-Espinoza Humberto, Leyva-Galan Ángel, Toledo-Toledo Ernesto, Marroquín Francisco, G. M. (2017). RAMBUTÁN (*Nephelium lappaceum* L.), UN FRUTAL EXÓTICO PARA LA DIVERSIFICACIÓN DE LOS AGROECOSISTEMAS TROPICALES, 2, 64–67. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/327871551>

Riyanto, S & Rohman, Abdul. (2017). Antioxidant activities of Rambutan (*Nephelium lappaceum* L) peel in vitro. *Food Research*. 2. 119-123. 10.26656/fr.2017.2 (1).150.

Rubcumintara, T., Aksornpan, A., Jonglertjanya, W., Koo-Amornpattana, W., & Tasaso, P. (2012). Gold Recovery from Aqueous Solutions Using Bioadsorbent Synthesized from Rambutan Peel. *Advanced Materials Research*, 506, 405–408. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.506.405>

Stepito, R. F. T. (2003). The processing of starch as a thermoplastic. *Macromolecular Symposia*, 201(1), 203–212. <https://doi.org/10.1002/masy.200351123>

Sukasih, Ermi & Setyadjit. (2015). Development of New Product: Rambutan Pulpy Juice. *Procedia Food Science*. 3. 413-425. 10.1016/j.profoo.2015.01.046.

TAPPI T-222 om-02. (2006). Retrieved from <https://www.tappi.org/content/SARG/T222.pdf>

Yahya, H. M., Roger, W. A., & Haron, H. (2017). Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Selected Canned Fruits. *Journal of Agricultural Science*, 9(13), 96. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n13p96>

Zurina, A. Z., Mohd Fadzli, M., & Abdul Ghani, L. A. (2014). Preliminary Study of Rambutan (<i>Nephelium lappaceum</i>) Seed as Potential Biocoagulant for Turbidity Removal. *Advanced Materials Research*, 917, 96–105. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.917.96>