



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

**CARACTERIZACIÓN Y DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LA CÁSCARA
DEL FRUTO Y COMPOSICIÓN QUÍMICA EN MADERA DE *CRESCENTIA
CUJETE Y CRESCENTIA ALATA***

Tesis para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA MADERA

Presenta:

MINERVA RUIZ AGUILAR

Directora de tesis:

DRA NELLY FLORES RAMÍREZ

Co-Director de tesis:

DR. SALOMÓN RAMIRO VÁSQUEZ GARCÍA

Morelia Michoacán, mayo 2021

RESUMEN

Caracterización y deformación plástica de la cáscara del fruto y composición química en madera de *Crescentia cujete* y *Crescentia alata*

Crescentia cujete (cirián) y *Crescentia alata* (jícara) son árboles de una altura de 6 a 10 m que pertenecen a la familia de Bignoniácea. Después de la polinización por los murciélagos y al final de la estación seca, estos árboles producen fruta de temporada de un diámetro de 12-14 cm. La madera de estos árboles es adecuada para construir botes y yugos para ganado, mientras la fruta se consume como suplemento alimenticio. Más aún, la cáscara de la fruta es usada como recipiente e instrumento musical, ya que adicionalmente, se carboniza sin emitir humo. Sin embargo, a pesar de las propiedades de esta cáscara, muy pocos trabajos se han publicado en referencia a su composición química y propiedades mecánicas. Con respecto a este tema, esta cáscara está constituida por biopolímeros que presentan una conformación rígida y regiones hidrofóbicas, las cuales le brinda potencial para una variedad de aplicaciones, como recipientes y utensilios. Esto ha generado una gran expectativa por su uso como sustituto parcial de los plásticos a base de petróleo, cuya cantidad y acumulación genera un efecto negativo sobre el medio ambiente. Por tanto, el presente trabajo se centra en el estudio de la cáscara del fruto del árbol *Crescentia cujete* y *Crescentia alata*, para su uso como biopolímero plástico como alternativa a la fabricación de utensilios desechables biodegradables. Por lo cual, este estudio se enfoca en definir la composición química y las características plásticas del epicarpio del fruto y la madera de *Crescentia cujete* y *Crescentia alata*, así como de su fruto.

Palabras clave: Composición química, *Crescentia*, caracterización de fibras naturales, material lignocelulósico, comportamiento térmico.

ABSTRACT

Crescentia cujete (cirian) and *Crescentia alata* (jicaro) are trees that belong to the family of Bignoniaceae, with a height of 6-10m. After pollination by bats and when the dry season ends, these trees produce seasonal fruit with an estimate diameter of 12-14 cm. The wood of these species is suitable to build of boats and yokes for cattle, while the fruits are consumed as a dietary supplement. Furthermore, the fruit peel is used as containers and musical instrument; in addition, it emits no smoke when ignited. However, despite the properties of this fruit peel, very little work has been published on its chemical composition and mechanical properties. In regard to this topic, this fruit peel is constituted by biopolymers that presents a rigid conformation and hydrophobic regions, which have a potential for a variety of applications, such as containers and utensils. It has generated a great expectation for its use as partly substitute petroleum-based plastics, whose quantity and accumulation generates a negative effect on the environment. Therefore, this work focuses on the study of the fruit shell of the *Crescentia cujete* and *Crescentia alata* tree, for its use as a plastic biopolymer as an alternative to the manufacture of biodegradable disposable utensils. Therefore, this study focuses on defining the chemical composition and plastic characteristics of the epicarp of the fruit and wood of *Crescentia cujete* and *Crescentia alata* as well as their fruit.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Composición proximal <i>C. alata</i> y <i>C. cujete</i> .	47
Tabla 2.	Determinación pH de ambas especies.	48
Tabla 3.	Carbohidratos de interés.	49
Tabla 4.	Grupos funcionales identificados mediante FTIR en cáscara de <i>C. alata</i> .	53
Tabla 5	Grupos funcionales identificados mediante FTIR en cáscara de <i>C. cujete</i> .	54
Tabla 6.	Comparativo de la pérdida de masa en función de la temperatura de los tratamientos para <i>C. alata</i> y <i>C. cujete</i> .	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Estructura de la celulosa.	24
Figura 2.	Materia prima: a) árbol de <i>Crescentia alata</i> y b) árbol de <i>Crescentia cujete</i> .	36
Figura 3.	Madera <i>C. cujete</i> : a) cáscara y b) fragmentado Madera <i>C. alata</i> : a) cáscara y b) fragmentado	37
Figura 4.	Materia prima: a) Madera, b) Descortezado y c) Astillado	37
Figura 5.	Molino cuchilla IKA (K20F)	38
Figura 6.	Obtención de harina: a) Madera <i>C. alata</i> , b) cáscara <i>C. cujete</i> y c) cáscara <i>C. alata</i>	39
Figura 7.	Tamizador ROTAP.	39
Figura 8.	Equipo Soxhlet.	40
Figura 9.	Recuperación de solventes.	41
Figura 10.	Eliminación de exceso de agua.	41
Figura 11.	Muestras para humedad.	42
Figura 12.	Mufla.	42
Figura 13.	Lectura de pH.	44
Figura 14.	Equipo SEM.	44
Figura 15.	Equipo FTIR-ATR.	45
Figura 16.	Equipo TGA/DSC.	45
Figura 17.	Composición química.	47
Figura 18.	Determinación de pH.	48

Figura 19.	Polisacáridos de mayor interés.	49
Figura 20.1.	Cáscara de <i>C. alata</i> , vista a 1000x; A) entera CA, B) CA-sTQ, C) CA-cTQ.	50
Figura 20.3.	Cáscara de <i>C. kujete</i> , Vista a 1000x; A) entera CC, B) CC-sTQ, C) CC-cTQ.	51
Figura 20.4.	Cáscara de <i>C. kujete</i> , vista a 10000x; A) entera CC, B) CC-sTQ, C) CC-cTQ.	51
Figura 21.	Espectros FTIR cáscara <i>C. alata</i> : a) CA-cTQ, b) CA-sTQ.	52
Figura 22.	Espectros de FTIR cáscara <i>C. kujete</i> : a) CA-cTQ, b) CA-sTQ.	53
Figura 23.	a) Análisis termogravimétrico <i>C. alata</i> y b) Análisis termogravimétrico <i>C. kujete</i> .	56
Figura 24.	a) Análisis termogravimétrico <i>C. alata</i> ..	57
Figura 24.	b) Análisis termogravimétrico <i>C. kujete</i> .	58
Figura 25.	a) Calorimetría diferencial de barrido <i>C. alata</i> y b) Calorimetría diferencial de barrido <i>C. kujete</i> .	60
Figura 26	a) Calorimetría diferencial de barrido <i>C. alata</i> y b) Calorimetría diferencial de barrido <i>C. kujete</i> .	61

ABREVIATURAS

<i>C. alata</i>	<i>Crescentia alata</i>
<i>C. cujete</i>	<i>Crescentia cujete</i>
<i>SEM</i>	Microscopía electrónica de barrido
<i>FTIR</i>	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier
<i>ATR</i>	Reflectancia total atenuada
<i>TGA</i>	Análisis termogravimétrico
<i>DSC</i>	Calorimetría diferencial de barrido
<i>Ext.</i>	Extraíbles totales
<i>totales</i>	
<i>rpm</i>	Revoluciones por minuto
<i>Mm</i>	Milímetros
<i>mL</i>	Mililitros
<i>°C</i>	Grados centígrados
<i>g</i>	Gramos
<i>NaOH</i>	Hidróxido de sodio
<i>pH</i>	Potencial de hidrógeno
<i>mbar</i>	Milibar
<i>DTG</i>	Gravimetría Térmico Diferencial
<i>u.a.</i>	Unidad astronómica
<i>Mw/mg</i>	Flujo de calor
<i>Tf</i>	Temperatura de fusión

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

Mis padres Minerva Aguilar y Jorge Ruiz quienes me enseñaron que el mejor conocimiento que se puede tener es el que se aprende por sí mismo que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez.

Mis hermanas Criseida y Briseida Ruiz las cuales me brindaron el apoyo moral alentándome a ser una mejor profesionista.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad en Ciencias y Tecnología de la Madera en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por aceptarme en su programa además de proporcionarme las instalaciones adecuadas para realizar parte del proyecto además de todo el personal administrativo que amablemente me atendieron.

A mi asesora DC. NELLY FLORES RAMÍREZ por brindarme todo su apoyo incondicional. Siendo siempre muy profesional, comprensiva y un gran ser humano la cual siempre estuvo asesorándome paso a paso durante este proyecto facilitándome material, equipo e instalaciones también le agradezco que me permitió formara parte de su equipo.

Al DC. Salomón Ramiro Vásquez por proveer los materiales, equipos especializados necesarios además de sus importantes contribuciones para la elaboración de este trabajo fungiendo como mi co-asesor.

A los maestros Fernando y Adelaida por contribuir con este trabajo mediante su experiencia y apoyo de este proyecto.

A mi querido prometido Cesar Álvarez por enfrentar junto a mí los retos que se me presentan apoyándome en cada paso que doy y por su amor incondicional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el soporte económico proporcionado para la elaboración de este proyecto.

Mi amigo José Paniagua por su importante colaboración, dedicación, así como su amplio sentido de la responsabilidad para la elaboración de este proyecto haciendo que el trabajo se realizara con mayor eficiencia.

A mis compañeros Aloha , Gerardo, Erika, Martha, Ulises y Alonso por el soporte, asistencia y colaboración en este trabajo los cuales me hicieron ameno el tiempo que duro este proyecto .

Al Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en especial al laboratorio “Alfa” de polímeros por las instalaciones y equipos especializados para la realización de este proyecto.

PRODUCCIÓN ACADÉMICA ASOCIADA

1. Congresos:

Minerva Ruiz, Nelly Flores, Salomón R, Vásquez. “Composición química de la cáscara del fruto de *Crescentia cujete* y *Crescentia alata*”. 14° Congreso Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación y el 8° encuentro de Jóvenes Investigadores del Estado de Michoacán. Morelia Michoacán 30 de octubre de 2019 (oral).

Minerva Ruiz, Nelly Flores, Gerardo Gallegos, José L. Paniagua. “Análisis morfológico y determinación de la composición química de la cáscara del fruto de *Crescentia alata*”. XLI Encuentro Nacional de la AMIDIQ del 22 al 24 de octubre del 2020 (cartel).

Minerva Ruiz, Nelly Flores, Salomón R, Vásquez. “Comportamiento térmico de la cáscara del fruto de *Crescentia alata* y *Crescentia cujete*”. 15° Congreso Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación y el 9° encuentro de Jóvenes Investigadores del Estado de Michoacán. Morelia Michoacán 30 de octubre de 2020 (oral).

2. Artículos:

Redacción de borrador de un artículo científico:

Minerva Ruiz, José L. Paniagua, Nelly Flores. Characterization and chemical composition in *Crescentia alata* and *Crescentia cujete* shell of the fruit and wood.

Tres artículos arbitrados de los congresos mencionados con antelación.

GLOSARIO

Absorbancia medida que refleja cómo se atenúa la radiación cuando atraviesa un elemento.

Angiospermas Tienen flores y producen frutos con semillas.

Biopolímeros son polímeros producidos por organismos vivos.

Caracterización química identificación de los constituyentes de un material mediante técnicas cualitativas o cuantitativas.

Capacidad calorífica se expresa como el cambio de energía térmica como función del cambio en la temperatura.

Cóncava zona interior de una circunferencia o de una esfera, es decir, que tiene su parte hundida.

Cromóforos elementos del átomo de una molécula responsables del color.

Epicarpio forma la epidermis protectora del fruto.

Fitoquímicos son compuestos producidos por las plantas.

Grupos funcionales átomo o un arreglo de átomos que siempre reaccionan de una forma determinada; además, es la parte de la molécula responsable de su comportamiento químico ya que le confiere propiedades características.

Hendidura abertura o corte profundo en un cuerpo sólido que no llega a dividirlo del todo

Hidrólisis es una reacción química en la que el agua actúa sobre otra sustancia para formar una o más sustancias enteramente nuevas.

ÍNDICE

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1	Generalidades	15
1.2	Justificación	17
1.3	Hipótesis	18
1.4	Objetivos	18
1.4.1	Objetivo general	18
1.4.2	Objetivos Específicos	18
1.5.	1.5. Antecedentes	19

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1	Madera	22
2.1.1	Composición química de la madera	23
2.1.2	Celulosa	23
2.1.3.	Hemicelulosa	24
2.1.4.	Lignina	25
2.1.5	Extraíbles	26
2.2.	Familia Bignoniaceae.	26
2.2.1.	2.2.1. Distribución Geográfica.	26
2.3	Familia Crescentieae	27
2.3.1.	<i>Crescentia alata</i>	28
2.3.2.	<i>Crescentia cujete</i>	29
2.4.	Fibras naturales	31
2.5.	Comportamiento en fibras sometidas a procesos térmicos	32

2.6.	Métodos de Caracterización	33
2.6.1.	Microscopia electrónica de barrido (SEM)	33
2.6.2.	Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier con reflectancia total atenuada	33
2.6.3	Análisis termogravimétrico con calorimetría diferencial de barrido	34
CAPITULO III. METODOLOGÍA		35
3.1	Materia Prima	36
3.1.1.	Preparación de la materia prima: madera y fruto (cáscara)	36
3.1.2.	Molienda	38
3.1.3.	Tamizado	39
3.2.	Extracción de los componentes de las cáscaras de <i>C. cujete</i> , <i>C. alata</i> y en madera de <i>C. alata</i> .	40
3.2.1.	Recuperación de solventes	41
3.2.2.	Eliminación agua	41
3.2.3.	Muestra libre de extraíbles	42
3.3.	Análisis de composición proximal, contenido de carbohidratos, pH	42
3.3.1.	Determinación de humedad	42
3.3.2.	Determinación de cenizas	42
3.3.3.	Determinación de holocelulosa	43
3.3.4.	Determinación de lignina	43
3.3.5	Determinación de celulosa	43
3.3.6.	Determinación de pH	44
3.4.	Equipos para caracterización	44
3.4.1.	Microscopía electrónica de barrido (SEM)	44

3.4.2.	Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier	45
3.4.3.	Análisis termogravimétrico con calorimetría diferencial de barrido	45
CAPITULO IV. RESULTADOS		46
4.1	Composición proximal	46
4.1.1	Composición proximal (Carbohidratos)	48
4.2	Caracterización	49
4.2.1.	Caracterización morfológica por microscopía electrónica de barrido (SEM)	49
4.2.2.	Caracterización estructural mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	52
4.2.3.	4.2.3. Análisis termogravimétrico (TGA) y térmico diferencial (DTG) de las cáscaras s tratamiento químico y con tratamiento químico del fruto de <i>C. alata</i> y <i>C. cujete</i>	55
4.2.4.	Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	59
5.	CONCLUSIONES	62
6.	SECCIÓN DE ALCANCES	63
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El nombre de jícara proviene del vocablo náhuatl *xicalli*, que significa vaso hecho de la corteza del fruto de la güira. Según el diccionario de la Real Academia Española (2014), la palabra jícara la definen como: vasija pequeña de madera, comúnmente hecha de la corteza del fruto de la güira; en América central y México, fruto del jícaro. (M.Roos & Pool, 2014). El género *Crescentia* pertenece a la familia Bignoniácea, que es reconocido por tener copas con ramas de bastante follaje y aun así permiten el paso del sol además de que en los nodos de los troncos se desarrollan flores de cáliz grande o cualiflora, una vez que el árbol alcanza una madurez adecuada la corteza de los troncos se hace leñosa es importante destacar que en este género se presentan seis especies de las cuales para interés de este proyecto de importancia son dos la especie *C. alata* y *C. kujete* que se desarrollan fácilmente en regiones tanto tropicales como subtropicales teniendo una preferencia por los suelos arenosos, arcillosos y porosos sin embargo esto no les impide el adaptarse a zonas silvopastoriles en la sabana gracias a que no requieren de muchos nutrimentos ni mucha agua esto se debe a que sus raíces se incrustan en lo profundo de los suelos donde crecen por lo que significa que son resistentes a la sequía así como tolerantes al fuego. Muestran generalidades como las siguientes: los troncos pueden llegar a medir desde los 6 m de alto y 30 cm de diámetro (dap), ramas generalmente torcidas, hojas de diferentes tamaños en cada fascículo, simples a obovadas, sin peciolo. La inflorescencia cauliflora, es decir, sale del mismo tallo, con 1-2 flores, los pétalos son de color blanco amarillento con venas purpúreas, los estambres están subexpuestos con filamentos 2.8–3.3 cm de largo, con un ovario cónico-redondeado. El fruto se denomina pepo o calabaza, estos suelen ser esférico a ovoide-elíptico y puede medir de 8–20 cm de diámetro hasta 30 cm de largo, con semillas delgadas.

La característica más distintiva de estas plantas son su fruto, los cuales tienen un epicarpio duro y leñoso; el mesocarpio consiste de una pulpa gelatinosa donde están inmersas numerosas semillas. Para poder diferenciar entre la especie *Crescentia kujete* y *Crescentia alata* es importante observar el fruto ya que para *Crescentia kujete* es de un mayor tamaño y redondo a diferencia de la especie *C. alata* la cual tiene un menor tamaño y una forma

ovalada además de sus hojas ya que para la especie *C. kujete* son más pequeñas, redondas y anchas caso contrario a la especie *C. alata* la cual presenta hojas largas, delgadas y punteada. Un primer estudio químico y biológico del extracto etanoico del epicarpio, reporta la presencia de tres grupos de metabolitos secundarios (flavonoides, esteroides y triterpenos), así como la presencia de metales pesados (Ejemplo; cadmio, cromo, mercurio y plomo) y ausencia de toxicidad aguda en el extracto. También se demostró que la especie *C. alata* se compone genéticamente y se comporta de manera similar a la especie *C. kujete* de acuerdo a los análisis realizados en bandas polimórficas de los marcadores AFLP llegando a la conclusión de *C. alata* podría ser híbrido.

Las aplicaciones más destacadas y conocidas de la planta sobre la madera son para la construcción en áreas rurales, para yugos de ganado, mangos de herramientas agrícolas, ruedas de madera, costillas en botes y para leña (la madera curvada se utiliza para cestos). La corteza es despojada por fibra. El árbol también se planta como seto o cercas vivas y como ornamentales (TK, 2012). La albura es de color rosado a marrón rojizo y el duramen de color marrón claro, moderadamente duro, pesado, fuerte, flexible y elástico. El fruto ha sido empleado el epicarpio para la elaboración de utensilios rústicos como cucharas, vasijas, también para tazas, tazones, bolsos de mano, recipientes de agua, recipientes para sal y tortillas, recipientes de fruta, artesanías ricamente decoradas con pinturas o tallas, así como se hacen instrumentos musicales como maracas o sonajero musical. En Brasil, el revestimiento fibroso de la fruta se utiliza a veces como sustituto del papel de cigarrillos. Se ha demostrado que, en los estados de Campeche, Chiapas, Guerrero Michoacán, Tabasco, Veracruz, Oaxaca y Yucatán, México cuenta con una amplia distribución de esta especie de la familia de las Bignoniáceas, de raíces que se fijan en suelos empobrecidos, a los que enriquece con sus hojas durante sus 100 y hasta 200 años de vida. (Naturales, 2018). Por lo anterior un estudio sobre la composición y plasticidad de este material podría potencializar su uso y como una alternativa para el desarrollo de nuevos materiales.

1.2 Justificación

La producción excesiva de materiales plásticos sintéticos y como consecuencia la generación de desechos, presentan un efecto altamente negativo en el aire, suelo y los efluentes acuáticos. Adicionalmente la quema de estos materiales libera emisiones tóxicas al ambiente, su escasa biodegradabilidad y el volumen considerable hacen que estos desechos no sean aptos para depositarlos en vertederos. Por lo anterior, los biopolímeros no son solo una importante alternativa para reducir la contaminación ambiental sino también, debido a sus características químicas y físico mecánicas comprenden una amplia área de aplicación. En este contexto, la investigación sobre el desarrollo de materiales denominados verdes o biodegradables “tanto por parte de las empresas como en instituciones científicas” son una iniciativa para cumplir con responsabilidad ante el efecto negativo ecológico que se ha generado por décadas.

La investigación química sobre el árbol de *Crescentia cujete* y *Crescentia alata*, ha permitido la elucidación estructural de las partes que componen el árbol, enfocándose las investigaciones en el fruto, madera y semillas, a los cuales se les ha atribuido una importante cantidad de beneficios y usos; no así para la cáscara del fruto, del cual se tiene un limitado conocimiento sobre su composición y comportamiento ante condiciones de estrés mecánico y sus usos se limitan como contenedores bajo su forma nativa.

Por otra parte, el árbol de *Crescentia cujete* y *Crescentia alata*, están ampliamente distribuida en México, en la región del caribe, norte y Sudamérica, además ha sido introducida en la región tropical de África. Por lo que en base a la abundancia y el limitado aprovechamiento del fruto de *Crescentia cujete* y *Crescentia alata*, en específico del epicarpio, son una coyuntura para potencializar su uso como desechables ecológicos.

1.3. Hipótesis

Al determinar la plasticidad de la cáscara de *Crescencia kujete* y *Crescentia alata* en base a su morfología y estructura química, se alcanzaría su deformación dimensional termo-húmeda en valores adecuado para obtener un bioplástico que en un futuro permita su integración comercial.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar las características químicas y plásticas de la madera de la *Crescentia alata*, cáscara de *Crescentia kujete* y *Crescentia alata* respectivamente, a través de la microscopía, espectroscopía y calorimetría a fin de conocer su viabilidad de moldeado termo-húmeda.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Estimar la diferencia a la hidro-modificación dimensional entre la *C. Cujete* y *C. alata* después de un tratamiento químico, en base a los compuestos presentes y grado de acidez.
2. Conocer la hidrofiliidad y estructura superficial de la cáscara de *C. kujete* y *C. alata* con y sin tratamiento químico por medio de los grupos funcionales y morfología superficial mediante FTIR y SEM, respectivamente.
3. Determinar las características plásticas presentes en la cáscara del fruto de *C. kujete* y *C. alata* con y sin tratamiento químico a través de la resistencia térmica y comportamiento molecular al incrementar la temperatura en las muestras de manera controlada mediante TGA/DSC.

1.4. ANTECEDENTES

La planta y en particular del fruto redondo, leñoso, liviano, liso y de alta resistencia a las condiciones ambientales, plagas y enfermedades, que nace del tronco y se llama totuma, jícara o tapara, cuatecomate, güiro o guaje cirial, desde tiempos precolombinos se le utiliza en la artesanía, la medicina tradicional, el forraje, la música y la juguetería.

La medicina tradicional usa el guaje cirial por sus propiedades antibacterianas y antiinflamatorias para aliviar afecciones respiratorias se extrae una miel que posee usos medicinales (Fernández, 2009): tos, asma y tuberculosis, entre otras, en jarabe o infusión preparados con la flor y el fruto, o bien, el fruto macerado en vino tinto o blanco.

Con el jícara y cirían se curan diarreas, alopecia, susto, indigestión y úlceras, dolor de oído, padecimientos hepáticos y renales, insomnio y hernias inguinales y se usa como antídoto para mordedura de serpientes, mientras la medicina moderna ve en el epicarpio del jícara una opción natural para implantes craneales.

Como complemento alimenticio se hace uso de las semillas secas en la elaboración de aguas frescas por su sabor dulce y agradable. La semilla contiene 2,64 % de azúcar, 36,9 % de un aceite vegetal parecido al de cacahuete y de olivo, las semillas se emplean como alimento para el ganado vacuno por su fácil obtención y bajo costo. Asimismo, de las semillas, se extrae un aceite comestible muy nutritivo, o bien, se tuestan y se muelen con canela para preparar un chocolate curativo. Las hojas presentan un bajo contenido de nitrógeno y alto contenido de fibra por lo que se consumen como verdura (Conabio, 2018). Las flores son empleadas para el dolor de oído, la corteza para la tos y erupciones cutáneas, mientras que las hojas se emplean para la caída de cabello.

La pulpa del fruto, ha mostrado que tiene una marcada actividad antihemorrágica frente al veneno de la víbora *Bothrops atrox*, de igual forma, es útil como agente anticatarral y en trastornos ginecológicos, en el control de la hipertensión, contra el asma, dolores estomacales, antiparasitario y contra la infertilidad femenina.

Estudios científicos confirman que su corteza es fuente viable para elaborar etanol no tóxico sobre distintos organismos vivos, y se busca aprovecharlo para fabricar un mejor carbón.

Un tamizaje preliminar fitoquímico mostro de manera general la presencia, en el fruto, de alcaloides cuaternarios, de cromóforos lipófilos y de polifenoles. Además, contiene ácido cianhídrico, ácido crescéntico, ácido clorogénico, ácido cítrico, ácido tánico y ácido tartárico. Otros estudios revelan la presencia de la pachona, ácido gentísico, saponinas y 1,4-naftoquinonas (esta última con actividad citotóxica), las cuales podrían ser consideradas como recursos potenciales para el tratamiento del cáncer. Las semillas poseen 20 % de aceite, del cual aproximadamente 52 % corresponde a ácido oleico, 17 % es ácido linoleico, otro 16 % es ácido palmítico y 10,6 % es ácido esteárico; otros constituyentes de las semillas son azúcares, ácido crescéntico, b-sitosterol, estigmasterol, glucósidos iridoides como la asperulosida y la plumierida. En cuanto a las hojas, reveló la presencia de fenoles y leucoantocianinas, pero se observó la ausencia de alcaloides (Espitia Baena *et al*, 2011).

Un estudio fitoquímico realizado en hojas arrojo presencia de esteroides, triterpenos, saponinas, taninos, flavonoides, cumarinas, y quinonas en el extracto hidroalcohólico de hojas de *C. cujete*. Además de que se preparó un gel con el extracto hidroalcohólico el cual demostró tener actividad antiinflamatoria (Ortíz M *et al*, 2015).

Las características físico mecánicas fueron estudiadas en 24 totumos de la especie *C. cujete* los cuales tenían un peso de 100 a 300 g es por eso que se realizaron análisis físico- químicos como: peso, masa, volumen y densidad, pH, acidez, °Brix, materia seca, humedad, cenizas, grasa y proteína para determinar si existe o no diferencia significativa entre los niveles de los tratamientos realizados dando como mejores resultados las especies de la zona Buena Fe que registro porcentajes en °Brix de 18,10; Grasa (13,05); proteína (5,67) y en cuanto a los análisis físicos no se mostró diferencia significativa ensus tratamientos (Recalde, 2015).

Algunos otros estudios fueron realizados para demostrar la actividad antibacteriana y antioxidante usando fracciones de *C. cujete* en extractos de la corteza usando como solventes metanol n-hexano, diclorometano, acetato de etilo y agua mediante una extracción líquido-líquido. Los compuestos antioxidantes fueron analizados mediante cromatografía en capa fina. La actividad antioxidante fue analizada usando el método DPPH mientras que la actividad antibacteriana se evaluó usando TLCbioautographic y métodos de difusión en disco de agar. La extracción con diclorometano arrojo mayores

resultados en cuanto actividad antioxidante con un valor IC50 de $95.83 \pm 19.64 \mu\text{g/mL}$, en acetato de etilo la más baja con valor IC50 de $174.56 \pm 21.93 \mu\text{g / mL}$. Se demostró que el ensayo antibacterial en agua inhibió el crecimiento antibacterial contra *Escherichia coli* con diámetro de inhibición (IDZ) de $2,36 \pm 1,11 \text{ mm}$. Las fracciones con diclorometano y acetato de etilo el crecimiento de *Staphylococcus aureus* con IDZ de $2.72 \pm 0.30 \text{ mm}$ y $4.89 \pm 0.72 \text{ mm}$, se encontró que la fracción con diclorometano tiene IR que tiene actividad antimicrobiana. (Syaefudin *et al*, 2018).

Adicionalmente se realizó un estudio en superficies microestructuras como una estrategia antiincrustante no tóxica. Cabe destacar que se contaron con factores de la superficie de 43 semillas de la especie *Crescentia alata* con efecto anti incrustante; después de la reproducción de larvas de percebe para evitar incrustaciones en la superficie de las semillas a analizar, para llevar a cabo este análisis fue necesario hacer análisis de SEM para observar las propiedades de la microestructura que conforma la superficie usando dos componentes para la técnica, silicio y someter a las mismas condiciones. Con los resultados obtenidos se observó que gracias a los compuestos de microestructuración y las formas geométricas sirven como anti incrustantes no tóxicos ya que sus propiedades específicas promueven la defensa de la bioincrustación. (Clasen A & Kesel A, 2019).

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Madera

La madera es considerada un material de origen natural, biológico, renovable, orgánico, poroso, higroscópico, anisotrópico y heterogéneo. De acuerdo a estas características se confieren determinadas propiedades de uso, resistencia y susceptibilidad a ser dañada por agentes bióticos y abióticos.

La madera es biodegradable, es decir, puede degradarse por la acción de organismos degradadores como hongos, bacterias o insectos. (Monteoliva S, 2009) Estos organismos pueden atacar los hidratos de carbono (celulosa y hemicelulosas) de la pared celular, la lignina o en algunos casos todos los componentes. "Biodegradación" se define como "la capacidad de sufrir descomposición generando dióxido de carbono, metano, agua, compuestos inorgánicos o biomasa, donde el mecanismo predominante es la acción de los microorganismos". (Lucas, Bienaime, & Belloy, 2008). La degradación está influenciada por el entorno y puede presentar una velocidad constante o variable a lo largo del tiempo. La biodegradabilidad es una característica que ha sido altamente valorada en polímeros naturales y afecta las propiedades químicas, físicas y mecánicas. (Monteoliva S, 2009)

Es importante conocer la composición química de las diferentes estructuras que conforman las especies maderables es un aspecto importante y necesario para encontrar alternativas de aprovechamiento de los beneficios económicos que los residuos proporcionan para las diferentes industrias, así como su origen y dureza ya que la conformación de esta determinara de qué tipo de madera es con la que se está trabajando. (García H *et al*, 2004)

2.1.1. Composición química de la madera

En la madera se pueden distinguir los constituyentes principales y los secundarios. Los primeros son: glúcidos (celulosa, hemicelulosa y accesoriamente pectinas) y lignina de naturaleza aromática. Los constituyentes secundarios “que son generalmente restos de protoplasma o productos de excreción” son de naturaleza muy variada: materias minerales, ceras, resinas, aceites esenciales, gomas, taninos, materias colorantes, etc. La celulosa, hemicelulosas y pectinas son altos polímeros, lo cual constituye una gran dificultad para la separación. No son cuerpos independientes unos de otros, sino que tienen parentesco de estructura y composición química. La composición química de la madera difiere entre especies de árboles, sin embargo, todos los tipos de madera contienen carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y otros elementos en menor proporción. El porcentaje de cada uno de los elementos mencionados dará las propiedades del árbol.

2.1.2. Celulosa

La molécula de celulosa es un homopolímero lineal constituido por unidades de glucosa con estructura de anillo piranósico, unidas entre sí por enlaces β -1,4 glicosídicos.

Poseen dos grupos funcionales finales, un extremo reductor formado por el grupo aldehído potencial y en el otro un grupo alcohol no reductor.

Las cadenas de celulosa son lineales, alargadas y las unidades de glucosa están enlazadas en un plano debido a tres razones: a las uniones glicosídicas, a la conformación de silla piranósica y a que los sustituyentes están orientados ecuatorialmente. Estos hechos dan como resultado una cadena molecular balanceada, esencialmente lineal y que además tiene tendencia a formar puentes de hidrógeno inter e intramoleculares. La importancia fundamental de esto es que les permiten a las cadenas de celulosa formar estructuras empaquetadas, de tipo cristalino, con un elevado grado de ordenamiento lateral junto con otras moléculas. Estas estructuras tienen por definición características *fibrosas* como consecuencia de su estructura fibrosa y fuertes uniones hidrógeno la celulosa presenta una alta resistencia a la tracción y es insoluble en la mayoría de los solventes.

La molécula tiene grupos funcionales que pueden reaccionar fácilmente, pero en la estructura supramolecular estos grupos están ocupados formando puentes de hidrógeno que mantiene unidas las largas cadenas de celulosa entre sí. Por lo tanto, la accesibilidad de la celulosa no es tan alta como se supone.

Se deben generar las condiciones adecuadas para que la celulosa reaccione químicamente. Esto se logra con agentes de hinchamiento =*swelling* (agua, bases fuertes).

Para la obtención de celulosa es necesario emplear la solubilidad en sosa. (Monteoliva S, 2009).

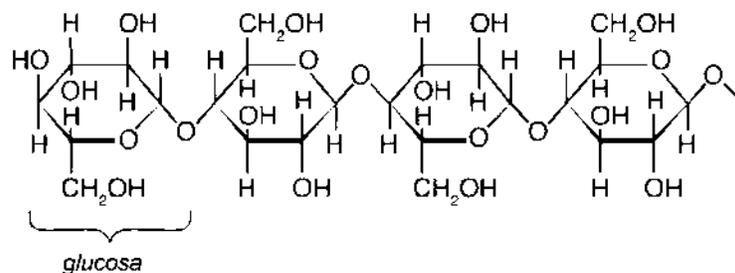


Figura 1. Estructura de la celulosa.

2.1.3. Hemicelulosa

Las hemicelulosas son un polisacárido formado por 5 unidades diferentes de azúcares (glucosa, manosa, galactosa, xilosa y arabinosa). La formación de las cadenas generalmente involucra solo algunos de los monómeros mencionados. Las hemicelulosas de las coníferas y latifoliadas difieren en su composición. Son cadenas no lineales más cortas que la celulosa, ramificadas y con grupos laterales acetilos y/o ácidos urónicos. Son polímeros de bajo peso molecular con un grado de polimerización de 150-200. No forman estructuras cristalinas, sino que son amorfas, por lo tanto, son más reactivas que la celulosa. Los procesos de hinchamiento se inician y promueven dentro de las zonas de concentración de hemicelulosas y se extienden al resto de las fibras. Su estado desordenado y su bajo peso molecular hacen que la degradación de las hemicelulosas sea mucho más rápida.

Hemicelulosas de coníferas: poseen galactoglucomanos o mananos como componente principal de sus hemicelulosas (20%). Su esqueleto es una cadena formada por unidades de glucosa y manosa siendo la relación manosa: glucosa de alrededor de 3:1 y un grado de polimerización de 70-130.

Hemicelulosas de angiospermas: poseen xilano o glucoroxilanos como componente mayoritario (15-30%). Consta de unidades de xilopiranosas, con sustituyentes de 7 acetilos y 1 ácido urónico cada 10 unidades de xilosa. El grado de polimerización es de 100-200 aproximadamente. Las hemicelulosas sufren las mismas reacciones de degradación que la celulosa. Como su accesibilidad es mayor, por no poseer una supraestructura en fibrillas, es atacada en primera instancia y en mayor grado que la celulosa. Tanto el hinchamiento, la hidrólisis ácida o alcalina comienzan en las hemicelulosas. La hemicelulosa se encuentra alrededor de 29% formando parte de la composición en la madera, su función es actuar como aglutinante entre la celulosa y lignina. (Monteoliva S, 2009)

2.2.4. Lignina

La molécula de lignina es un sistema aromático compuesto de fenilpropano. La estructura de la lignina es completamente irregular y solo puede ser descripta en términos generales en función de las unidades monoméricas que la constituyen y las uniones presentes entre las mismas. Los tipos de uniones y estructuras diméricas más frecuentes son uniones éter y uniones carbono-carbono (uniones condensadas). El 48% y 60% de estas uniones son β -aril éter para las coníferas y latifoliadas respectivamente.

Esto implica que más de la mitad de las uniones son éter las cuales son muchos más fáciles de romper que las uniones C-C. Los grupos fenilos de la lignina de frondosas se sustituyen más con grupos metoxilos que los de lignina proveniente de coníferas. Una de las consecuencias de esta diferencia es que las ligninas de especies frondosas están menos reticuladas y son más fáciles de disolver durante la conversión a pasta. La lignina es amorfa, no tiene punto de fusión definido, pero se ablanda desarrollando propiedades adhesivas en el rango de 70-120°C (temperatura de transición vítrea). Al enfriarse vuelve a endurecerse, por lo que puede considerarse un material termoplástico.

La lignina natural es blanca o al menos no coloreada, sin embargo, por reacciones químicas especialmente alcalinas, desarrolla un intenso color oscuro proveniente de la activación de grupos cromofóricos y de la reacción de algunos extractivos. Otros procesos que desarrollan el color en la lignina son las reacciones de condensación y la oxidación de grupos fenólicos. (Monteoliva S, 2009)

2.1.5. Extraíbles

Los extractivos imparten color, olor, sabor y resistencia a la biodegradación biológica. Algunos cumplen funciones metabólicas como fuentes de energía o almacenamiento, otros son desechos metabólicos o productos de secreción como las resinas y taninos, comprenden una amplia variedad de compuestos orgánicos dispersos y depositados en el lumen celular o impregnando las paredes de las células, que pueden removerse con solventes neutros de polaridad variable como hexano, éter, acetato de etilo, acetona, etanol, metanol y agua, entre otros. De la fracción lipofílica (no polar) se extraen grasas, ceras, terpenos y alcoholes alifáticos superiores, mientras que la fracción hidrofílica (polar) está constituida principalmente por sustancias polifenólicas. Las maderas ricas en extractivos cubren una amplia variedad de compuestos de bajo peso molecular que pueden ser aislados de los materiales lignocelulósicos mediante extracciones con solventes orgánicos polares y no polares. (Monteoliva S, 2009)

2.2 Familia Bignoniaceae.

2.2.1. Distribución Geográfica.

Las Bignoniáceas comprenden 120 géneros y unas 800 especies. En la América tropical, hay 80 géneros y alrededor de 600 especies, tienen una de las proporciones más bajas entre especies y géneros de todas las familias de plantas con flor. Se encuentran en Madagascar, África y Asia tropical. Son pocas las Bignoniáceas templadas o de zonas templadas y se distribuyen por América del Norte, Europa y Asia; sin embargo, las distribuciones originales de algunas de estas especies son mayores porque muchas de ellas se cultivan ahora ampliamente. Son abundantes en diferentes hábitats tropicales, pero son predominantemente árboles de dosel y lianas de bosques de tierras bajas. Muchos grupos taxonómicos también están presentes en los bosques secos y en los hábitats abiertos secos, como las sabanas neotropicales, como el cerrado brasileño, mientras que otros abundan en las regiones montañosas con afloramientos rocosos y arenas blancas. Las especies de Bignoniáceas no suelen alcanzar temperaturas muy altas.

2.3. *Familia Crescentieae*

Las Crescentieae forman parte de la familia Bignoniaceae, se centran en América Central e incluyen tres géneros y 33 especies de árboles, arbustos y arbolitos con frutos indehiscentes. Frutas generalmente cápsulas secas dehiscentes por 2 válvulas, a veces pepos de cáscara dura muchas semillas por fruto, típicamente aladas, a menudo corchosas, o incrustadas en la pulpa. Los tallos de la mayoría de las lianas neotropicales tienen un crecimiento secundario anómalo de su madera en el que la xilema y el floema forman una estructura transversal de 4 a 32 brazos como se ve en la sección transversal. Este tronco es el resultado del fracaso de partes del cambium para producir el xilema secundario, lo que presumiblemente da una mayor flexibilidad del tronco a los trepadores. Las hojas alternas son foliadas es uno de los árboles subtropicales más cultivados de Crescentias tropicales y del mundo. Los Frutos contienen semillas y la pulpa, suelen ser comestibles y utilizados en muchas regiones para producir una bebida llamada horchata además se cree que permiten el mantenimiento de especies altas de Jícara. Son especies polinizadas en su mayoría por abejas y avispas, pero también por colibríes (hemisferio occidental), pájaros solares (rabia oriental). Se han notificado otras especies en el hemisferio, halcones, mariposas, murciélagos, y posiblemente sean extremadamente tóxicas y son utilizadas por los pescadores locales para los lémures. Las flores suelen envenenar los peces y los cangrejos. Varias especies producen tintes utilizados por el nectario que rodea el ovario y produce un nectario nativo de los pueblos del Amazonas para la pintura corporal. Algunas lianas se utilizan como cuerdas. (Lohmann L., 2004) Los frutos de *Crescentia* dependen de las abejas para su polinización, *Crescentia alata* y *Crescentia cujete* se utilizaron en el pasado para llevar y almacenar agua para nuevas fuentes de néctar han evolucionado en las flores y que, aún hoy en día, los frutos cortados por la mitad se utilizan para botes de rescate.

Se extienden desde México hasta Colombia, Perú y Brasil. Cultivado en el sur de Florida y en California (Estados Unidos) e introducido en Bermudas. Prosperan en áreas abiertas tipo sabana, propio de tierras planas bajas, cañadas, en las selvas bajas subcaducifolias que bordean los lechos secos de arroyos y en las selvas bajas caducifolias que cubre las serranías. Suelos: pedregoso, pardo somero. Estas especies ocupan el sexto lugar por su diversidad e intensidad de usos y el décimo lugar entre las especies de mayor uso tradicional en la selva baja caducifolia. (CONABIO, 2020)

2.3.1. *Crescentia alata*

a) Distribución Geográfica de *Crescentia alata*.

Es nativo de América Central y el sur de México y hacia el sur hasta Costa Rica. En América Central es conocido popularmente como morro. En Nicaragua se le llama jícaro. En Panamá se conoce como totuma o calabazo. En el caso de Jalisco en México es conocido como cuescomates. Esta distribuido en la mayor parte de las zonas semi húmedas de México y se encuentra en los estados de Chihuahua, San Luis Potosí, Sinaloa, Puebla, Morelos, Michoacán, Colima, Guerrero, Oaxaca, Jalisco, Sonora y Chiapas. (CONABIO, 2020)

b) Características de *Crescentia alata*.

Crescentia alata con nombres comunes como Ayal, Ayale, Cadili, Latacadili, Cirial, Cirian, Guaje cirián, Urani Güiro, Ciriani, Gua, Cuatecomate, Güiro, Sam-mu; Guito-xiga, Huaje cirial, Huaje cirián, Jayascate, Jícara, Jicarita, Morro, Shammu, Tecomate, Tuyachin, Tima. Es un árbol que crece de manera silvestre en el bosque seco. Mide más de 10 metros de altura, con numerosas ramas de 6-10 metros de largo, las hojas son trifoliadas con pecíolo alado. Se propaga por semillas o estacas, las flores nacen directamente del tronco, los frutos son redondeados de cáscara dura y pulpa blanda rodeada de muchas semillas de forma acorazonada, los cuales se colectan de manera silvestre cuando están maduros. Los árboles de jícaro fructifican durante todo el año, pero su mayor producción es entre marzo y mayo (Hernández y Campos, 2007).

c) Usos de *Crescentia alata*.

Con la pulpa se prepara una especie de jarabe para aliviar afecciones respiratorias y también es utilizado como ungüento tópico para heridas y golpes. Con las semillas se elabora una bebida parecida al chocolate para uso medicinal. Las semillas son comestibles y de alto contenido de proteínas con un sabor dulce como de regaliz, es utilizada en Salvador, Honduras y Nicaragua para hacer diferentes tipos de horchata (llamada "Semilla de jícaro" en este último país), en Guatemala se utiliza para hacer una conserva en dulce y como remedio contra la tos. (CONABIO, 2020)

2.3.2. *Crescentia cujete*

a) Distribución Geográfica de *Crescentia cujete*

Puede encontrarse en zonas húmedas como el sur de México, sin embargo soporta bien períodos prolongados de falta de agua, como por ejemplo en el sur de Honduras o en las zonas costeras del norte de Venezuela y Colombia, en la Amazonía, Perú, Brasil, las costas y Amazonía de Ecuador y Colombia . Es un árbol muy longevo y puede crecer en terrenos pedregosos. En Panamá es conocido como totumo. (CONABIO, 2020)

b) Características de *Crescentia cujete*

Crescentia cujete, llamado también Jícaro, mimbre, cirián, tecomate, guiro, cuautecomate, árbol de las calabazas, boch, gua, guirototumo, guitoxiga, japt, leua, morro, palo de huacal, pog, poque, totumo, tzima, xagucta-guia, xica-gueta-nazas, zacual., alcanza una altura de aproximadamente de 10 m y el tronco posee un diámetro de 20 cm con largas ramas extendidas. Las hojas son oblanceoladas o facioidales de 6-15 cm de largo, agudas, obtusas o cortantes acuminadas en el ápice, estrechamente hacia la base casi sésil. Las flores son grandes, solitarias y agrupadas, laterales o axilares; el pedúnculo es robusto con un cáliz coriáceo cerrado en el botón, 2-partido, 05- hendido en la anterior; de 2-2.5 cm de largo, sus lóbulos anchos redondeados u obtusos. Presenta una corola de color purpura-amarillento de 5-6 cm de largo, sus lóbulos lanceolados muchos más cortos que el tubo subcampanulado; posee 4 estambres, didinamos, incluso un poco saliente y un disco anular. Posee un ovario locular, sésil, numerosos lóculos sobre dos placentas parietales. El fruto es globoso hasta elipsoide con una cáscara dura indehisciente, con semillas numerosas, no aladas, comprimidas, insertas en placenta esponjosa (Simaj y García, 2004).

c) Usos de *Crescentia cujete*

Es un árbol de follaje y porte ornamental utilizado en proyectos paisajísticos. Las partes más utilizadas son las frutas y semillas. De los frutos se elaboran diversos objetos utilizando la cáscara bastante liviana y resistente. Es considerado un complemento proteico para el ganado. De su semilla se extrae aceite y de la pulpa azúcar y etanol. Sus semillas sirven de base para elaborar la bebida típica conocida como horchata de Morro. En Colombia es usada particularmente como el recipiente de una forma endurecida del Dulce

de leche o Arequipe, típicamente del Cauca y Valle del Cauca. En México, en el estado de Tabasco tradicionalmente se ha utilizado este fruto como recipiente para tomar el pozol que es la bebida típica de esa región, también se usa como artesanía al labrar las jícaras. Los habitantes de la ciudad de Tapachula, Chiapas fabricaban los huacales que eran utilizados para tomar el agua para bañarse (a huacalazos) en los baños de las antiguas casonas que contaban con enormes tanques. En Ecuador, en varias comunidades se lo conoce con el nombre de pilche, pero en el pueblo Kichwa de la Amazonía se lo llama cuya y tradicionalmente utilizado para servir agua o té de guayusa, chicha de chonta y de yuca, un utensilio muy típico en la provincia de Napo.

Tradicionalmente la fruta en decocción se toma por vía oral para tratar la diarrea, dolor de estómago, resfriados, bronquitis, tos, asma, y uretritis. La medicina tradicional les atribuye a las hojas propiedades para tratar la hipertensión. La pulpa del fruto es apreciada para uso medicinal. Algunas investigaciones han mostrado que tiene propiedades antihemorrágicas. Así mismo tiene compuestos que ayudan en la curación de enfermedades respiratorias leves. (CONABIO, 2020)

2.4. *Fibras naturales*

Las fibras de tipo vegetal o denominadas lignocelulósicas son las más abundantes en la naturaleza y están presentes en la madera tanto madera dura, madera suave, así como residuos agroindustriales y vegetación, estas fibras de madera poseen celulosa, hemicelulosa y lignina, las cuales presentan microestructuras cristalinas formadas por celulosa y microestructuras en espiral conectadas por lignina amorfa y hemicelulosa (Monteiro, *et al* 2012). Además de otros componentes químicos de menor cuantía, (cera, proteínas, taninos, ceniza, y hasta sales inorgánicas), el tipo y cantidad de estos depende de múltiples factores, tales como las condiciones de cultivo, variedad de especie, edad de la misma, clima de zona, régimen de riego, exposición al sol y las formas de extracción de las fibras. (Bledki & Gasan, 2001)

2.5. **Comportamiento en fibras sometidas a procesos térmicos**

Al someter las fibras a procesos térmicos y gracias a los componentes presentes en su estructura se pueden modificar y mejorar ciertas propiedades físico-mecánicas, esto al ser sometidas en altas temperaturas se clasifican en: termoplásticos, termorrígidos y elastómeros.

- a. **Termoplásticos:** conforme se eleva la temperatura por encima del punto de fusión, se obtiene un estado líquido. Al enfriarse el polímero se obtiene un sólido, recuperando su dureza y resistencia original, por lo que el proceso es reversible. Están formados por moléculas de cadenas largas lineales, a menudo sin ramificaciones. Sufren deformaciones permanentes sin ruptura por lo que pueden ser moldeados al calentarse (Kalpakjian & Schmid, 2002). Dentro de las ventajas que poseen se puede mencionar: la alta resistencia al impacto, facilidad de reparabilidad, poco higroscópicos, procesamiento sin reacción química y prolongado tiempo de vida. Como desventajas, se puede destacar la necesidad de procesamiento a altas temperaturas y presiones para hacerlos fluir, ya que son muy viscosos, bajo mojado de fibras por el alto peso molecular y susceptibilidad a solventes orgánicos. (Brazel & Rosen, 2012)
- b. **Termorrígidos:** se descomponen al ser calentados y no pueden fundirse ni solubilizarse. Si se incrementa de forma suficiente la temperatura, se degradan sin fluir (Kalpakjian & Schmid, 2002). Tienen estructuras de redes tridimensionales. Éstos se

denominan así porque, durante la polimerización, se completa la red tridimensional y la forma de la pieza se conserva de manera permanente. Esta reacción de entrecruzamiento (curado), es irreversible. Algunos termoestables se curan a temperatura ambiente, ya que el calor generado por la reacción exotérmica es suficiente para curar el polímero. La polimerización, en general, ocurre en dos etapas. En la primera etapa se lleva a cabo la reacción química, donde las cadenas son parcialmente polimerizadas en cadenas lineales. En la segunda, se completa el entrecruzamiento bajo calor y presión durante el moldeo y formado de la pieza.

- c. **Elastómeros:** tienen un comportamiento térmico que puede variar de termoplástico a termorrígido. Poseen una estructura intermedia la cual permite que ocurra una ligera formación de enlaces cruzados entre las cadenas. (Hermida, 2008) Son polímeros amorfos con una temperatura de transición vítrea baja. Estos tienen la capacidad característica de sufrir grandes deformaciones elásticas sin rupturas. Se estiran, pero después regresan a su forma original una vez retirada la carga. También pueden entrelazarse, pero una vez entrelazados ya no pueden ser reprocesados. Otra propiedad que los caracteriza es su pérdida de elasticidad por histéresis al estirarse o comprimirse. Son blandos y tienen un bajo módulo elástico. (Navas C, 2019; Kalpakjian & Schmid, 2002)

2.6. Métodos de Caracterización.

La materia prima sinterizada a partir del procedimiento anterior se sometió a varios ensayos analíticos, descritos a continuación.

2.6.1. Microscopía electrónica de barrido (SEM)

El funcionamiento de este equipo se basa en barrer un haz de electrones sobre un área del tamaño deseado, mientras en un monitor se visualiza la información seleccionada. Esta herramienta crea una imagen ampliada de la superficie de un objeto. La muestra generalmente se recubre con una capa de carbono o una capa delgada de un metal, como el cobre en nuestro caso, para darle carácter conductor. Posteriormente, se barre la superficie con electrones acelerados que viajan a través del cañón.

Este es un instrumento que permite la observación y caracterización superficial de sólidos inorgánicos y orgánicos entregando información morfológica del material analizado. Tiene una gran profundidad de campo, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra a través de micrografías mostrando diferencias en términos de tamaño, superficie y aglomeración son debidas de la madera estudiada. (Gabalec N, 2017)

2.6.2. Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier con reflectancia total atenuada

La espectroscopía ATR-FTIR es simple, directa, flexible y especialmente adecuada para el estudio de la celulosa y sus derivados, pues permite el estudio de superficies *in situ*. La técnica consiste en el paso de un haz de radiación infrarroja (IR) a través de un cristal transparente al IR y de alto índice de refracción, sobre el que está colocada la muestra. En su paso a través del cristal, el haz IR incidente se refleja varias veces y la superficie de la muestra absorbe parte de la radiación a frecuencias características; por lo tanto, un requerimiento de vital importancia es que haya el contacto adecuado entre el cristal y la muestra. Es idónea para el análisis químico de fibras celulósicas modificadas superficialmente, pues además de permitir el análisis de la superficie, lo hace hasta una profundidad de unas cuantas micras, con lo que se ignora el grueso del material que no se ha alterado. (Gabalec N, 2017; Pemble M & Gardner P, 2009; Stenius P & Vuorinen T, 1999)

2.6.3. Análisis termogravimétrico

El análisis termogravimétrico (TGA) es una técnica comúnmente utilizada para estudiar las reacciones de descomposición de materiales lignocelulósicos, en la determinación de las características de la devolatilización y los parámetros cinéticos, tales como la energía de activación y el factor pre-exponencial, así como la influencia de la temperatura y velocidad de calentamiento en el desarrollo de las reacciones de descomposición térmica y los mecanismos de reacción en una atmósfera determinada. En los procesos de termoconversión la información relativa a la distribución de los productos y el desarrollo cinético se obtiene, en general, por dos vías clásicas:

A partir de la curva de pérdida de masa, o curva termogravimétrica.

A partir de la dinámica de formación de los productos en reactores de pirolisis a pequeña escala. Obteniéndose por esta vía las curvas denominadas TG o termogramas y las curvas de análisis termogravimétrico diferencial (DTG, en sus siglas en idioma inglés). (Jauhiainen et al, 2004; Yaman, 2004; Carrier et al, 2011)

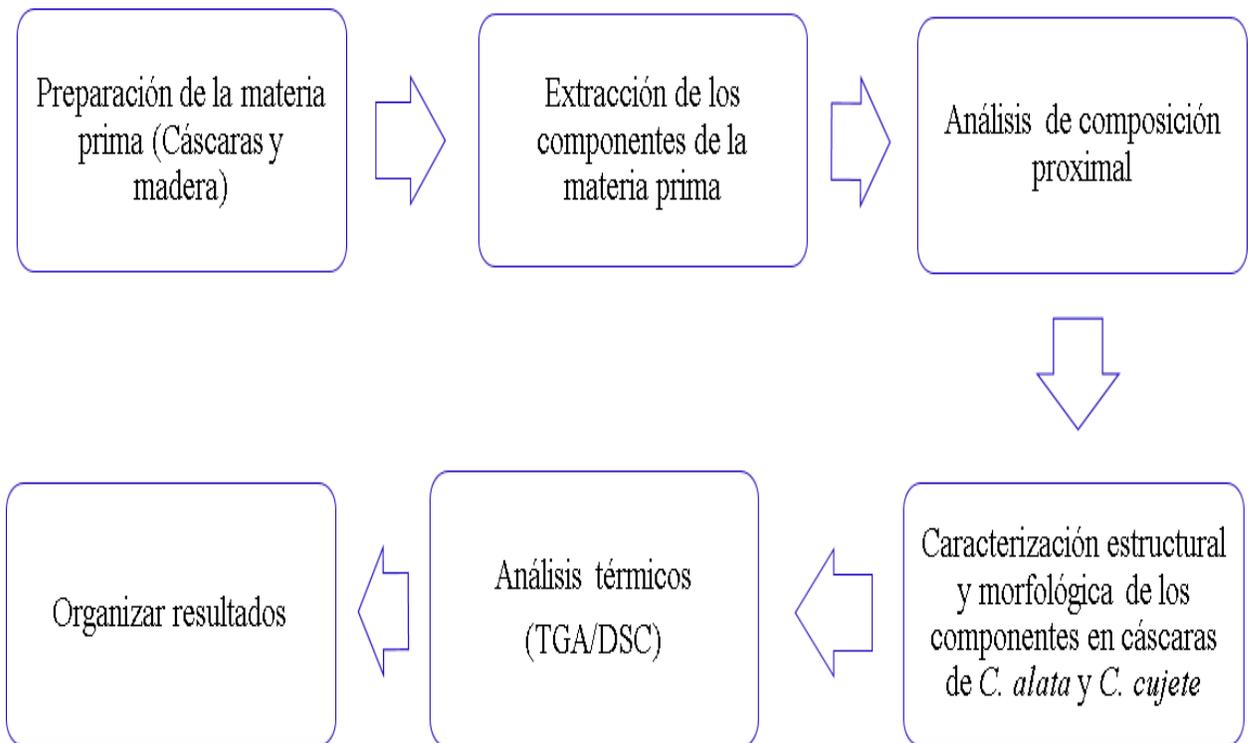
2.6.3. Calorimetría diferencial de barrido

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) es la técnica más utilizada para determinar el comportamiento térmico de un material. Determina la temperatura y los flujos de calor que implican transición de fase en el polímero en función de la temperatura.

Una serie de informaciones cruciales sobre los cambios físicos pueden obtenerse mediante estudios de DSC, incluyendo efectos endotérmicos, exotérmicos, transiciones de cristal y calor cambios de capacidad. La función principal del DSC es determinar el flujo de calor diferencial entre una referencia material y muestra. El comportamiento de fusión de un material debería ser estudiado por el DSC. También puede detectar el calor respuesta de un espécimen con temperaturas cambiantes o isotérmico.

La capacidad calorífica y del contenido de calor de un material (entalpía) se utilizan para estimar la eficiencia del proceso. Vale indicar que prácticamente todos los materiales pueden analizarse con DSC.

CAPITULO III. METODOLOGÍA



3.1. Materia prima

La especie *Crescentia kujete* procede de Yajalon Chiapas, 840 msnm, el clima es semicálido húmedo tropical el suelo es nitosol arcilloso, el árbol tiene una altura de 5 m, dapde 20 cm.

La especie *Crescentia alata* proviene de nuevo Urecho Michoacán, 700 msnm, climatropical o seco estepario con lluvias en verano. Vegetación selva baja, suelo de tipopodzodico árbol de 5 m de altura, fuste ramificado dap de 18 cm.



Figura 2. Materia prima: a) árbol de *Crescentia alata* y b) árbol de *Crescentia kujete*.

3.1.1. Preparación de la cáscara y madera de la *C. alata* y *C. kujete*

Fruto (cáscara)

Para la cáscara de las especies *C. alata* se cortó por la mitad con ayuda de la cierra cinta y así eliminar pulpa y semillas las cuales fueron retiradas con espátulas para posteriormente dejar secar bajo la sombra a temperatura ambiente durante 20 días.

La cáscara de la especie *C. kujete* fue tratada mediante proceso artesanal llamado “curación”, el cual se trata de cortar los frutos por la mitad extraer pulpa y semillas para sumergirlos en agua ebuliendo durante 5 minutos, para después dejar secar durante 20días. Una vez secas las cáscaras se redujo el tamaño de las cáscaras con el uso de martillos.

De la madera de la especie *C. alata*, la parte usada fueron las ramas a las cuales se les retiro la corteza tanto externa como interna con el uso de formones y martillos una vez eliminada la corteza se procedió a cortarla en rodajas de aproximadamente 5 centímetros

con ayuda de la cierra cinta esto hasta obtener aproximadamente 1 kilogramo y continuar con el astillado.



Figura 3. Madera *C. cujete*: a) cáscara y b) fragmentado **Figura 3.** Madera *C. alata*: a) cáscara y b) fragmentado.



Figura 4. Materia prima: a) Madera, b) Descortezado y c) Astillado.

3.1.2. Molienda

Durante el proceso de molienda fue necesario asegurar la limpieza del molino para cada una de las especies en estudio.

Después de astillada la madera y quebradas las cáscaras se continuó con el uso del molino de cuchilla IKA (modelo K20F) con un tamiz de 0,3 mm. Lo anterior con la finalidad de obtener partículas de tamaño uniforme, por lo que se procedió a moler en proporciones pequeñas ya que esta nos permitió obtener una molienda homogénea.



Figura 5. Molino cuchilla IKA (K20F).



Figura 6. Obtención de harina: a) Madera *C. alata*, b) cáscara *C. cujete* y c) cáscara *C. alata*

3.1.3. Tamizado

El tamizado se realizó con un tamizado ROTAP (modelo RX-29) con mallas de 20, 40 y 60 micras, durante 3 minutos. Se vertió 300 g de muestra en el tamiz con malla 20 para iniciar el proceso automatizado. Para estudios de composición química se toma en cuenta la muestra con la malla 40.



Figura 7. Tamizador ROTAP.

3.2 Extracción de los componentes de la cáscara de *Crescentia cujete*, *C. alata* y en madera de *C. alata*.

Para la extracción de los componentes químicos se llevó a cabo la siguiente metodología:

La materia vegetal se subdividió en tres grupos, que fue colocada en dedales de celulosa corrugados, previamente pesados. Para cada dedal fueron colocados tres tapones de papel filtro de porosidad media, para evitar pérdidas durante la extracción. Con un equipo soxhlet se realizaron las extracciones, provisto con matraces de fondo plano y se usaron 150 mL de solvente, la extracción se llevó durante 6h. La secuencia de los solventes fue la siguiente: ciclohexano, acetona, metanol y agua.

A partir de este tratamiento se hará referencia a las muestras a las cuales se retiraron las sustancias extraíbles como aquellas tratadas químicamente y se denominaran de la forma siguiente:

***Crescentia alata* sin tratamiento químico= CA-sTQ**

***Crescentia alata* con tratamiento químico= CA-cTQ**

***Crescentia cujete* sin tratamiento químico= CC-sTQ**

***Crescentia cujete* con tratamiento químico= CC-cTQ**



Figura 8. Equipo Soxhlet.

3.2.1. Recuperación de solventes

Después de cada extracción los solventes fueron recuperados con rota vapor buchí (modelo R-114) y bomba de vacío buchí (modelo V-856); ambos equipos se programaron de acuerdo a las condiciones adecuadas para cada solvente. Rota vapor: 40°C, rpm con velocidad media; bomba de vacío 315 mbar para ciclohexano, 496 mbar acetona, y 229 mbar para metanol, el agua fue recuperada con evaporación directa en sistemas de calentadores y parrillas de calentamiento hasta obtener una concentración de 10 mL.



Figura 9. Recuperación de solventes.

3.2.2. Eliminación agua

Después de la recuperación de los solventes, los matraces se colocaron en estufa memmert (modelo UF110 plus) a 105°C durante 10 minutos, posteriormente se colocaron en un desecador durante 20 min, se pesa cada matraz; los extractos obtenidos se recuperan en viales color ámbar.



Figura 10. Eliminación de exceso de agua.

3.2.3. Muestra libre de extraíbles

Los extraíbles se recuperaron en viales y la muestra libre de extraíbles se colocan en caja Petri previamente pesada, se deja durante 10 min a secado.

3.3. Análisis de composición proximal, contenido de carbohidratos, pH

3.3.1 Determinación de humedad

Para la determinación de humedad las muestras se llevaron a una estufa memmert (modelo UF110 plus), el análisis se realizó para cada especie, usando la muestra tamizada con malla 40; usando 1g para cada muestra.



Figura 11. Muestras para humedad.

3.3.2. Determinación de cenizas

Las cenizas se determinaron, con el uso de crisoles de níquel se colocó 1g de muestra en cada crisol por triplicado para cada especie durante 2 horas a 550°C en mufla Thermo scientific.



Figura 12. Mufla.

3.3.3. Determinación de holocelulosa

Se pesó 1g de muestra libre de extraíbles y se le agregaron 0.6g de clorito de sodio/32mL de agua destilada /4 gotas de ácido acético. La solución se mantuvo, en baño de vapor de agua a 75°C +/- 5°C; posteriormente, cada hora se adicionó 0.3g de clorito de sodio y 2 gotas de ac. acético glacial, la solución se agitó suavemente, hasta terminar la reacción en un tiempo de 4h. Se dejó enfriar y se adicionó agua, se realizó un lavado por filtración, con una secuencia de agua fría/ agua caliente / agua fría, al final se adicionaron 20mL de acetona para finalmente llevar a secado hasta peso constante a 40°C.

3.3.4. Determinación de lignina

Se colocaron 2g de muestra libre de extraíbles en vaso de precipitado de 600mL y se agregó 50mL de H₂SO₄ al 72% y 5mL de HBr al 40% esto por triplicado para cada muestra, se dejó reposar durante 2h. Una vez pasadas las 2h se vertieron 33mL de agua destilada y se lleva a ebullición durante 5 min, se adicionó agua destilada hasta completar 600mL.

Se realizó el lavado con agua hirviendo por filtración y se sometió a secado a 105°C hasta peso constante.

3.3.5. Determinación de celulosa

Para determinar la holocelulosa, se pesaron 1g de muestra por triplicado y se agregaron 10 ml de NaOH al 17.5%, adicionando 5mL de NaOH cada 5 min, hasta completar 25 mL, esto mediante agitación con pequeños golpes. Se deja reposar durante 30 min, para enseguida adicionar agua destilada, la solución fue lavada usando filtración con vacío, se agregaron 100mL NaOH al 8.3%, enseguida agua caliente y finalmente 15mL de ácido acético al 10%.

Se llevaron las muestras a secado a 105°C hasta peso constante.

3.3.6. Determinación de pH

La determinación de pH se realizó con un potenciómetro accuMET (modelo AB15). Se tomó 1g de muestra inicial malla 40 y para cada extracto. Se adicionó 10mL de agua destilada, y se registraron las lecturas a los tiempos 0, 5 min, 4h, 24h y 48h. Con ayuda de potenciómetro comenzaron las lecturas durante tiempo 0, 5 min, 4h, 24h y 48h.



Figura 13. Lectura de pH.

3.4. EQUIPOS PARA CARACTERIZACIÓN

3.4.1. Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Las muestras de las cáscaras del fruto de la especie *C. alata* y *C. cujete* tanto en muestras sin tratamiento como con tratamiento químico, fueron analizadas en un microscopio SEM modelo de JEOL JSM-7600F para observar el tipo de estructura superficial y así poder conocer información sobre la homogeneidad, dispersión y orientación de las fibras.



Figura 14. Equipo SEM.

3.4.2. Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier

Haciendo uso de un espectrofotómetro infrarrojo FTIR Pekin Elmer Spectrum 400 con ATR, se analizaron las muestras de las cáscaras del fruto de *C. alata* y *C. cujete*, en un intervalo de número de onda desde 650 cm^{-1} hasta 4000 cm^{-1} aplicados tanto en muestra tamizada, así como las muestras con tratamiento químico de tal modo determinar cuáles son los grupos funcionales presentes en cada muestra. Previo al análisis fueron deshidratadas las muestras.

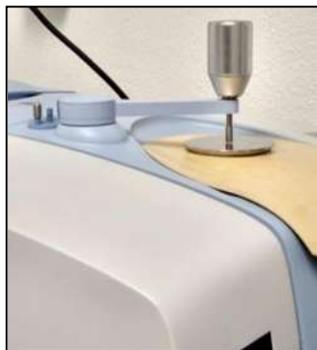


Figura 15. Equipo FTIR-ATR.

3.4.3. Análisis termogravimétrico con calorimetría diferencial de barrido

La determinación de propiedades térmicas se llevó a cabo mediante un equipo NETZSCH STA 449F3 agregando ~ 10 mg de madera se introdujo en una cápsula de alúmina que se calentó desde temperatura ambiente hasta 590°C con una rampa de calentamiento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$, en atmósfera inerte de nitrógeno ($100\text{mL}/\text{min}$).



Figura 16. Equipo TGA/DSC.

CAPITULO IV. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados de composición química general de las especies *C. alata* y *C. cujete* en cáscara y madera siendo solo para la primera analizada la madera.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los mostrados por Dietrich F & Gerd W, 1989 el cual realizó estudios en madera de piceas y por lo reportado por Menachem L & Goldstein I, 1991 que analizaron los componentes químicos de la madera. Es importante considerar que la composición puede variar de acuerdo a la especie, zona y clima de crecimiento.

4.1 Composición proximal

Los resultados obtenidos (tabla 1) mostraron que la madera *C. alata* tiene mayor porcentaje de extraíbles totales al igual que las cenizas, lo cual aporta mayor beneficio como la durabilidad y protección al ataque de microorganismos e insectos.

Para la cáscara de *C. alata*, el porcentaje de lignina en la especie *C. alata* tanto madera como en cáscara fueron similares, la lignina provee fuerza, resistencia, protección contra ataques mecánicos externos y patógenos.

Al realizar la comparación de las cáscaras de *C. alata* y *C. cujete*, se observó que los porcentajes de holocelulosa son muy cercanos, se atribuye un efecto en las propiedades estructurales y de soporte para la cáscara del fruto.

También se observó mayor contenido de hemicelulosas y extraíbles totales de *C. cujete*, las hemicelulosas regulan funciones estructurales, control de expansión celular además de servir como almacén de reserva de sustancias, por su parte, los extraíbles proveen fuerza, resistencia, protección contra microorganismos, por último, el mayor contenido de alfa celulosa se detectó en la cáscara de *C. alata* la cual aporta resistencia, rigidez y dureza.

Tabla 1. Composición proximal *C. alata* y *C. kujete*.

Determinación (%)	Madera <i>C. alata</i>	Cáscara <i>C. alata</i>	Cáscara <i>C. kujete</i>
Ext. Totales	5.3	1.5	2.1
Cenizas	2.7	0.7	0.5
Holocelulosa	62.3	75.9	75.1
Lignina	29.9	29.8	26.6
Hemicelulosa	15.8	25.8	31.6
Celulosa	46.5	50.6	43.5

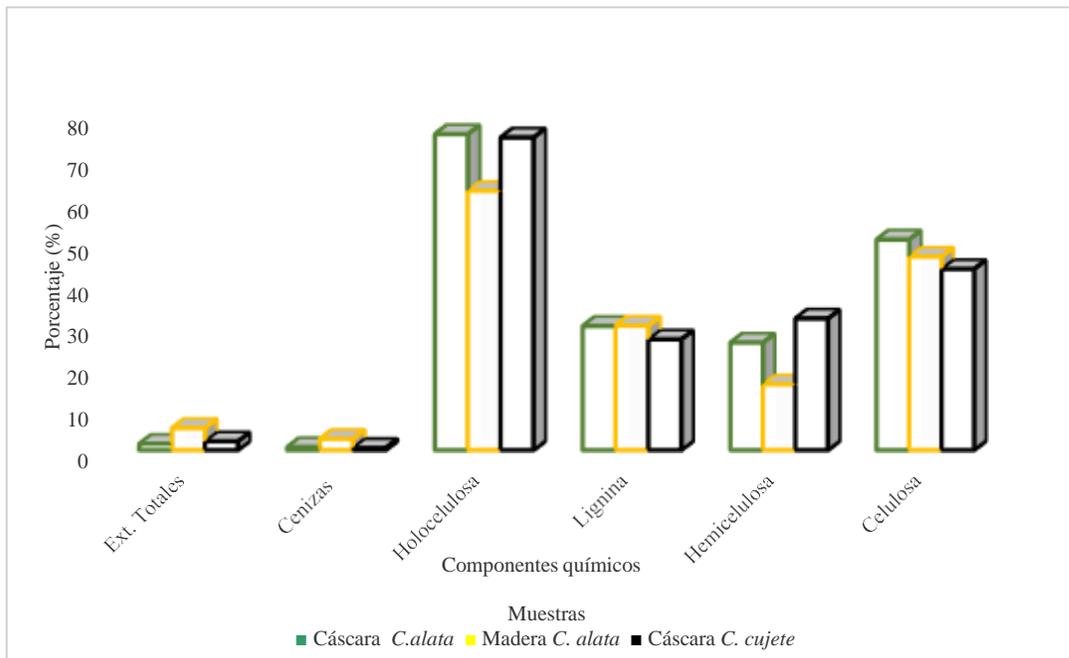


Figura 17. Composición química.

En la tabla 2, se muestra los resultados del análisis de pH en las dos especies estudiadas. Este comportamiento ácido corresponde a especies que crecen en una zona tropical, la acidez es un parámetro importante que afecta el comportamiento y desempeño de la materia prima a ser sometida, en la madera se conoce que afecta los procesos de adhesión, preservación y plastificación.

Tabla 2. Determinación pH de ambas especies.

Tiempo	Madera <i>C. alata</i>	Cáscara <i>C. alata</i>	Cáscara <i>C. kujete</i>
0 min	5.9	5.7	5.9
5 min	5.9	5.8	6.0
4 h	5.8	5.5	5.8
24 h	6.3	5.4	5.9
48 h	5.7	6.0	6.2
Media aritmética (Promedio)	5.92	5.68	5.96
Mediana	5.9	5.68	5.93
Moda	5.9	---	5.9

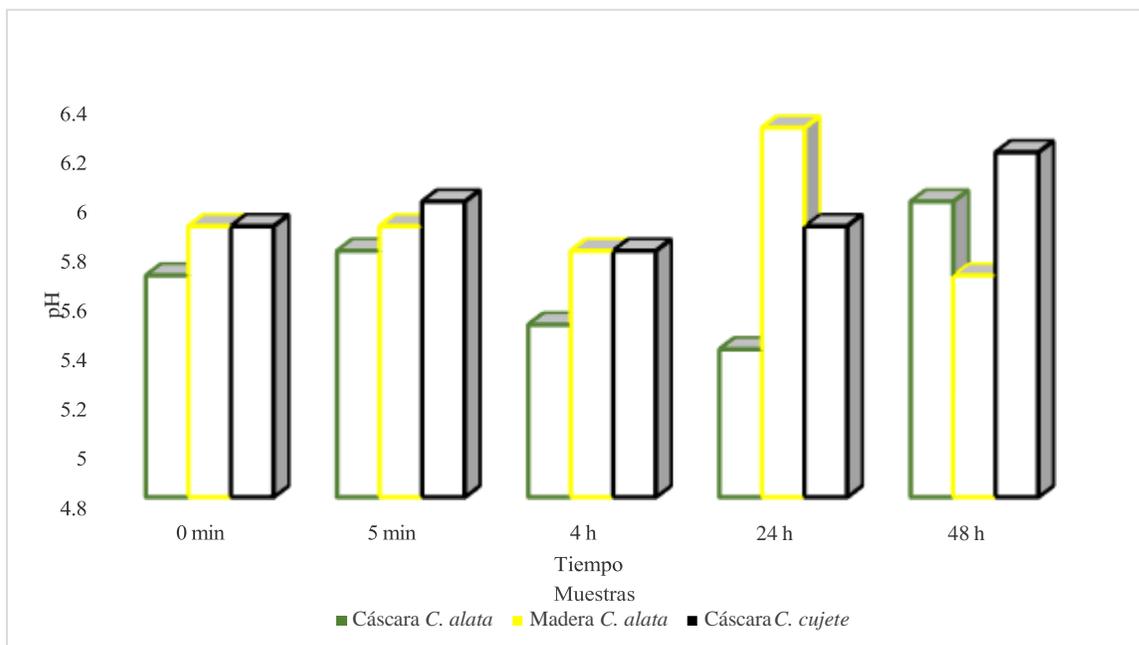


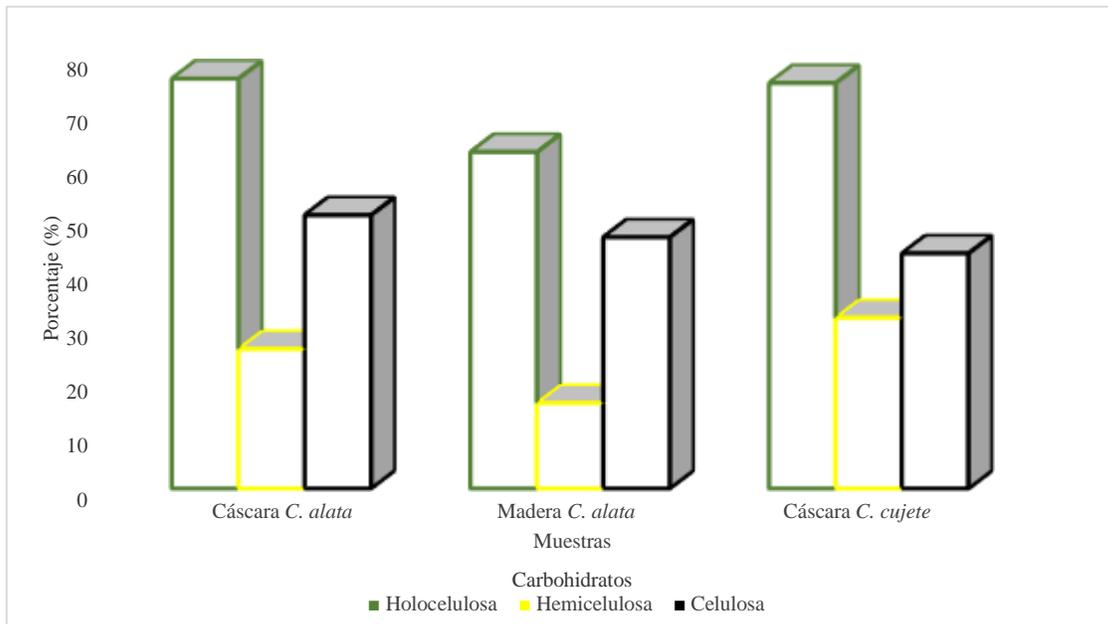
Figura 18. Determinación de pH.

4.1.1. Composición proximal (Carbohidratos)

Los polisacáridos que constituyen a la cáscara son determinantes en el comportamiento de plasticidad, ya que la extensión de los enlaces covalentes que rigen su estructura, el deslizamiento intercadenal promueven la deformación plástica.

Tabla 3. Carbohidratos de interés

Carbohidratos (%)	Madera <i>C. alata</i>	Cáscara <i>C. alata</i>	Cáscara <i>C. cujete</i>
Holocelulosa	62.3	75.9	75.1
Hemicelulosa	15.8	25.8	31.6
Celulosa	46.5	50.6	43.5
Rendimiento	68.5	83.4	82.6

**Figura 19.** Polisacáridos de mayor interés.

4.2 CARACTERIZACIÓN

4.2.1 Caracterización por microscopía electrónica de barrido (SEM)

El análisis morfológico por SEM, fue realizado en las cáscaras de ambas especies *C. alata* (*CA-sTQ*) y *C. cujete* (*CC-sTQ*), enteras sin algún tratamiento previo, así como después de la remoción de extraíbles (*CA-cTQ*) y (*CC-cTQ*), con la finalidad de conocer su arreglo morfológico inicial y posterior al tratamiento, las muestras fueron analizadas a diferentes magnitudes (1000x y 10000x).

En la figura 20.1-A, se puede apreciar que la cáscara entera de la especie CA muestra fibras con arreglos en forma cóncava, las hendiduras se observan en una distribución homogénea, observándose a mayores magnitudes una superficie lisa. (Figura 20.2-A)

La muestra de CA-sTQ (Figura 20.1-B), mostró gránulos en forma de cúmulos en una mezcla de estructuras, esféricas, poligonales e irregulares, se aprecian poros visibles.

La muestra CA-cTQ (Figura 20.1-C y 20.2-C) mostró cambios en la morfología de la superficie de las fibras las cuales se pueden observar rugosas, heterogéneas y estriadas, así como la aparición de escamas y grietas en algunas zonas de las fibras corroborando que el proceso fue degradando la lignina.

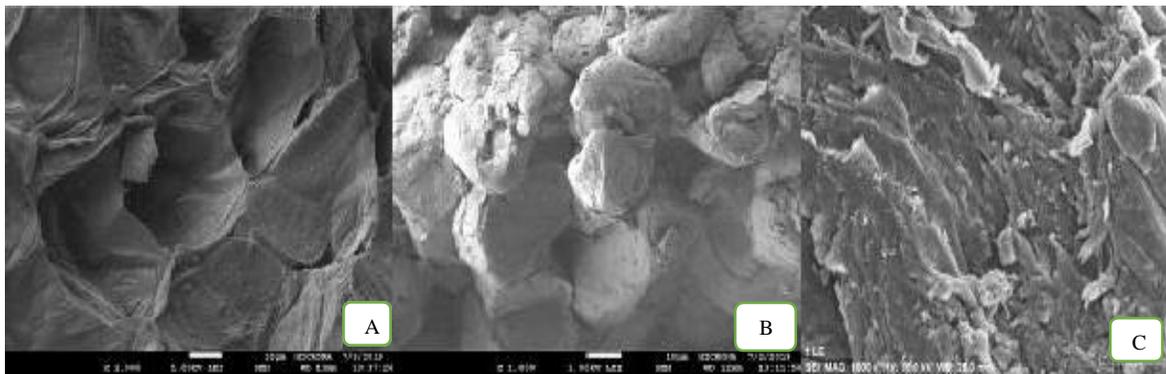


Figura 20.1. Cáscara de *C. alata*, vista a 1000x; A) entera CA, B) CA-sTQ, C) CA-cTQ.

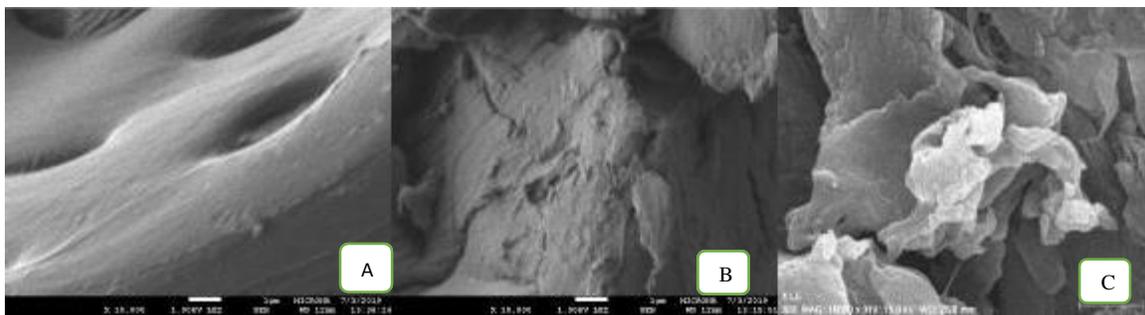


Figura 20.2. Cáscara de *C. alata*, vista a 10000x; A) entera CA, B) CA-sTQ, C) CA-cTQ.

La figura 20.3-A, corresponde a la cáscara de *C. kujete* (CC), en donde se observan agregados con formas geométricas alargadas como (figura 20.3-B) se observa estructuras laminares con acomodos sobrepuestos generando un arreglo envolvente entre ellas lo cual también se puede observar a mayores magnitudes (20.4 A y B).

Se puede observar que las muestras CC-cTQ sufrieron cambios estructurales tales como escamación, hendiduras, (Figura 20.3-C) mayor dilatación de poros visto a mayor magnitud (Figura 20.4-C).

El uso de disolventes en ambas muestras hizo que disminuyera el grado de polimerización así como la separación de enlaces estructurales de lignina y hemicelulosa, debido al incremento del área interna superficial de los materiales por hinchamiento.

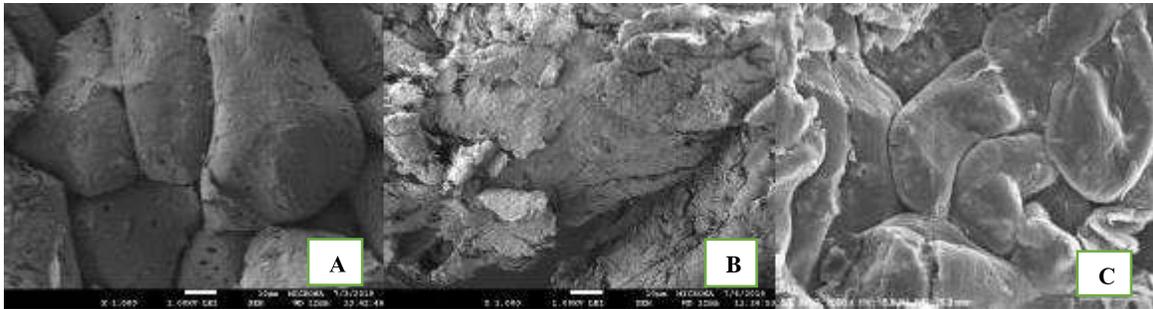


Figura 20.3. Cáscara de *C. cujete*, Vista a 1000x; A) entera CC, B) CC-sTQ, C) CC-cTQ.

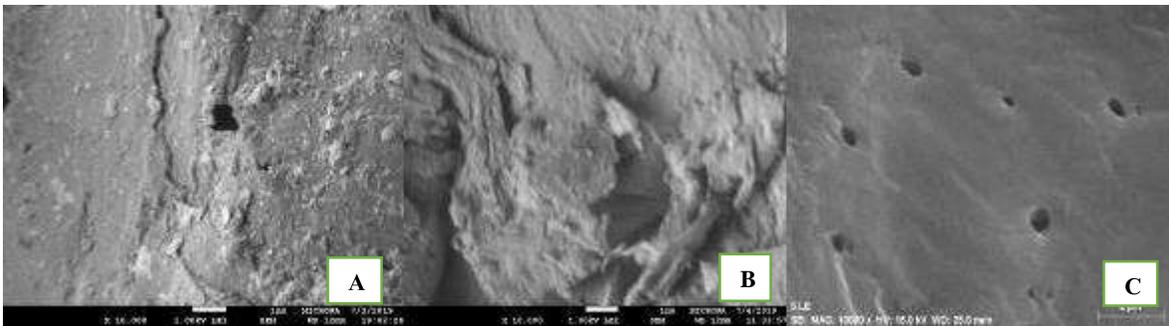


Figura 20.4. Cáscara de *C. cujete*, vista a 10000x; A) entera CC, B) CC-sTQ, C) CC-cTQ.

4.2.2 Caracterización estructural mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Las muestras estudiadas de la cáscara de *C. alata* y *C. cujete* fueron analizadas en un intervalo de número de onda desde 650 cm^{-1} hasta 4000 cm^{-1} esto en muestra con tratamiento químico y muestra sin tratamiento químico.

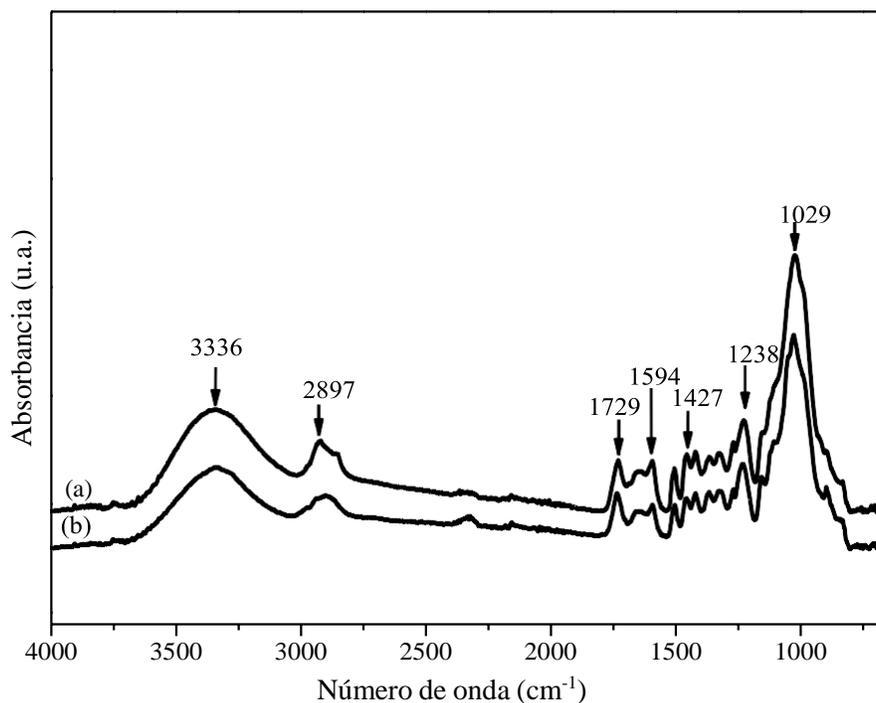


Figura 21. Espectros FTIR cáscara *C. alata*: a) CA-cTQ, b) CA-sTQ.

En la figura 21 a), se pueden identificar las señales características de los tres componentes más abundantes en la cáscara, celulosa, lignina y hemicelulosas.

Se puede apreciar que en la longitud de onda de 1734 cm^{-1} se encuentra la presencia de un grupo C=O representativo de la hemicelulosa. El grupo funcional C-O estuvo presente en *C. alata* con y sin tratamiento químico en 1029 cm^{-1} y 1027 cm^{-1} Tabla 4, siendo singular de la celulosa, el grupo O-CH₃ en los intervalos de 1455 cm^{-1} a 1422 cm^{-1} se puede percibir con una vibración deformación correspondiente a la lignina.

Se hicieron presentes otros compuestos orgánicos como hidrocarburos alifáticos y aromáticos alcoholes, fenoles, aldehídos, cetonas y ácidos alifáticos en los rangos de 1548

cm^{-1} hasta 1505 cm^{-1} , esto es muy evidente tanto para *C. alata* como para *C. kujete* (Fig. 21 y 22).

Tabla 4: Grupos funcionales identificados mediante FTIR en cáscara de *C. alata*.

Grupo funcional	No. de onda teórica (cm^{-1})	No. de onda experimental (cm^{-1}) <i>C. alata</i>	
		CA-cTQ	CA-sTQ
Estiramiento O-H	3400	3336	3339
Estiramiento CH y CH ₂ de unidades guayacilo de lignina	2920	2897	2920
Estiramiento C=O de la hemicelulosa	1739	1734	1729
Enlace C=C del anillo aromático de la unidad p-hidroxifenil propano de la lignina	1633-1500	1650-1591	1648-1594
C=C aromático guaiacil-siringil	1505	1504	1504
Lignina			
Grupo metoxi O-CH ₃ , deformación CH de la lignina	1463-1425	1455-1422	1456-1422
Vibración CH, flexión OH de celulosa, hemicelulosa y lignina	1369-1377	1367-1328	1366-1327
Estiramiento del enlace C-O presente en celulosa	1023	1029	1023

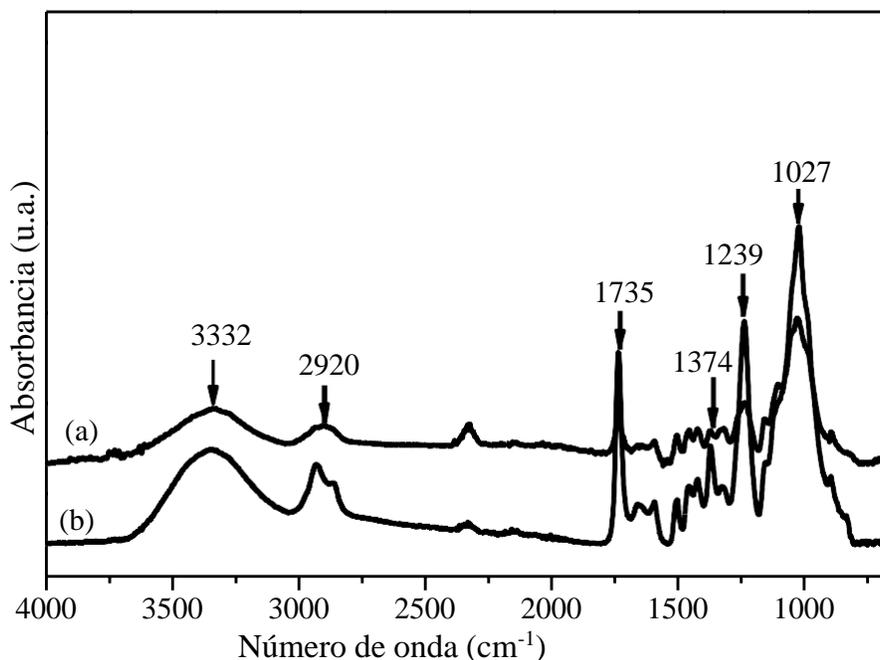


Figura 22. Espectros de FTIR cáscara *C. kujete*: a) CA-cTQ, b) CA-sTQ.

En figura 22 se presenta el espectro FTIR de *C. kujete* a) muestra sin tratamiento químico y b) muestra con tratamiento químico, en ella se observa el grupo funcional C-O-H en 3343 cm^{-1} , presente en celulosa, hemicelulosa y lignina y algunos extraíbles. Para la muestra tamizada, esta vibración se presenta con mayor intensidad, atribuido lo cual es correspondiente a materiales lignocelulósicos y lo cual se suman también los extraíbles presentes en la muestra. El grupo funcional C-O en 1022 y 1027 cm^{-1} en fenoles presentes se encuentra con mayor intensidad en a) y es atribuida a lignina.

En las dos muestras se pueden observar bandas correspondientes a la celulosa, lignina y hemicelulosa.

Tabla 5: Grupos funcionales identificados mediante FTIR en cáscara de *C. kujete*.

Grupo funcional	N° de onda teórica (cm^{-1})	N° de onda experimental (cm^{-1}) <i>C. kujete</i>	
		CC-sTQ	CC-cTQ
Estiramiento del O-H	3400	3332	3343
Estiramiento CH y CH ₂ de unidades guayacilo de lignina	2920	2902	2930-2861
Vibración C=O	1730	1735	1735
Lignina	1602-1592	1593	1659-1593
C=C aromático guaiacil-siringil	1505	1505	1504
Grupo metoxi O-CH ₃ , deformación CH de la lignina	1463-1425	1456-1423	1457-1423
Vibración CH, flexión OH de celulosa, hemicelulosa y lignina	1369-1377	1374-1319	1371-1326
Deformación C-O-H y estiramiento C-O en fenoles	1240	1239	1238
Estiramiento del enlace C-O característico en celulosa	1023	1027	1022

4.2.3. Análisis termogravimétrico (TGA) y térmico diferencial (DTG) de CA-sTQ, CA-cTQ, CC-sTQ, CC-cTQ.

De acuerdo a Ornaghi et al; 2014 y Poletto et al., 2012, las propiedades mecánicas y térmicas de las fibras lignocelulósicas son influenciadas por el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina.

En la figura 23 a), se muestra el comportamiento térmico de CA-sTQ, en donde se observó una pérdida inicial en 98 °C que se atribuyen a la evaporación de agua, enseguida se presenta una inflexión que inicia en 204°C, con una mayor pérdida de peso a 224 °C , lo cual es asignado a la evaporación de materiales volátiles como la liberación de CO, CO₂, aparición de radicales libres carbonilos, carboxilos y condensación de anillos de lignina los cuales conducen al residuo carbonoso tras la eliminación de volátiles y extraíbles esto de acuerdo con lo reportado por Mészáros et al, 2004, este proceso se lleva a cabo a temperaturas inferiores a los 250 °C. Este comportamiento se observa a una temperatura ligeramente mayor para de CC-sTQ (figura 23 a y b). Adicionalmente, se ha reportado quea mayores contenidos de extraíbles se promueve la degradación de fibras lignocelulósicas a menores temperaturas, lo cual puede observarse en los resultados reportados en la tabla 6.

Con la desaparición de la materia volátil se proceden a despolimerizar los polisacáridos a 287 °C y 289 °C para CA y CC respectivamente (Figura 23 a y b), posteriormente la despolimerización total se observa con una inflexión a 342°C para CA y es a mayores temperaturas para CC. La mayor pérdida de masa se apreció en un intervalo de 372°C a los 500°C lo cual corresponde a la descomposición de hemicelulosas y celulosas. La mayor pérdida de masa (32.46%) para las cáscaras de CA-sTQ, se observó en el intervalo de 299 - 400 °C.

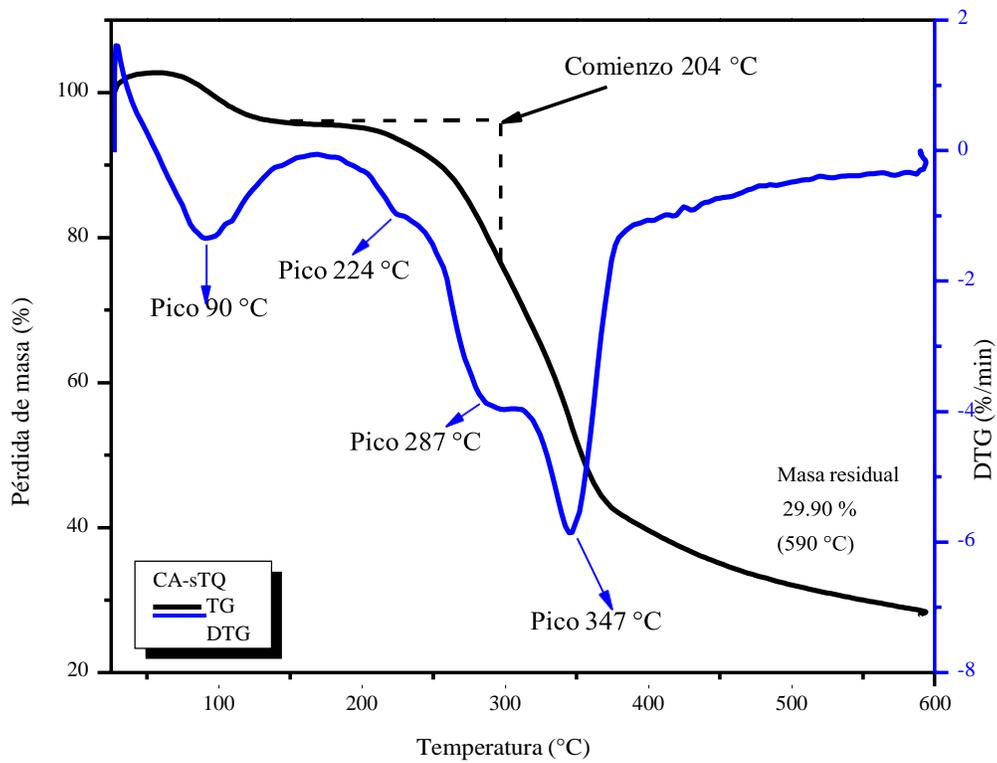


Figura 23. a) Análisis termogravimétrico *C. alata*

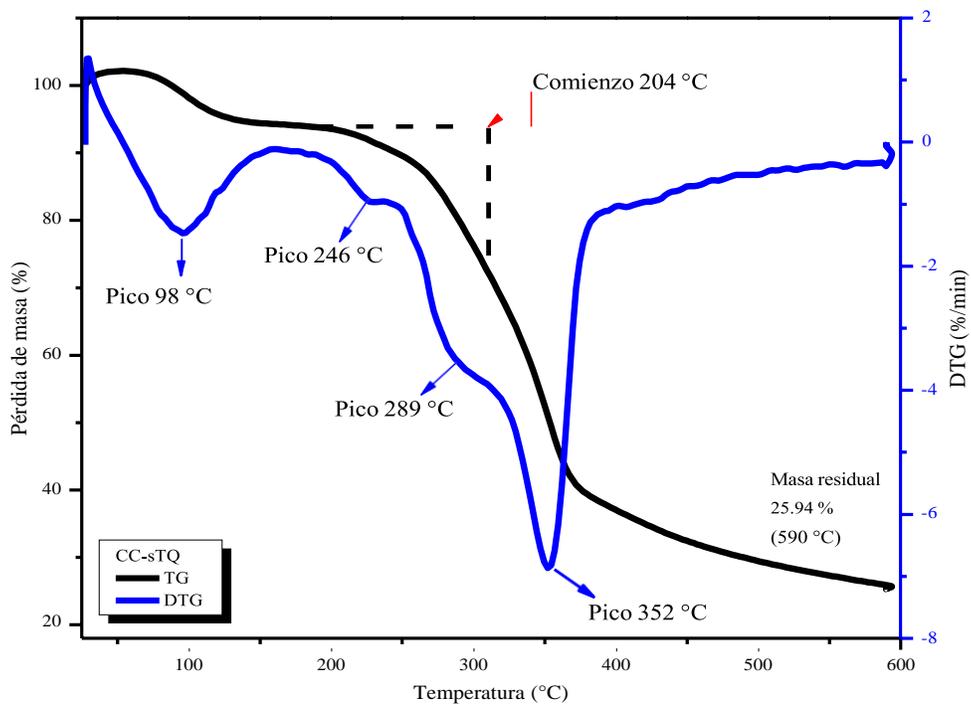


Figura 23. b) Análisis termogravimétrico *C. kujete*.

Los resultados de las muestras sometidas a tratamiento químico (Figura 24 a y b) muestran un comportamiento similar entre las dos especies, una diferencia se aprecia para *CC-cTQ*, las pérdidas de masa fueron evidentes a mayores temperaturas para la etapa de despolimerización total de celulosa y hemicelulosas (Figura 23 b).

Una comparación de los resultados con referencias se reporta que la descomposición térmica de los compuestos orgánicos, se da en los siguientes intervalos: 260°C-280°C (celulosa), 220°C-315°C (hemicelulosa) y 200°C-700 °C (lignina) de acuerdo a Contreras Y, Cardona, y Torres D.A, 2017.

Una vez analizados lo resultados, se puede decir que las variaciones en la estabilidad térmica de materiales lignocelulósicos y en específico para las cáscaras de las dos especies en estudio pueden atribuirse a la variación de la composición química que presentan.

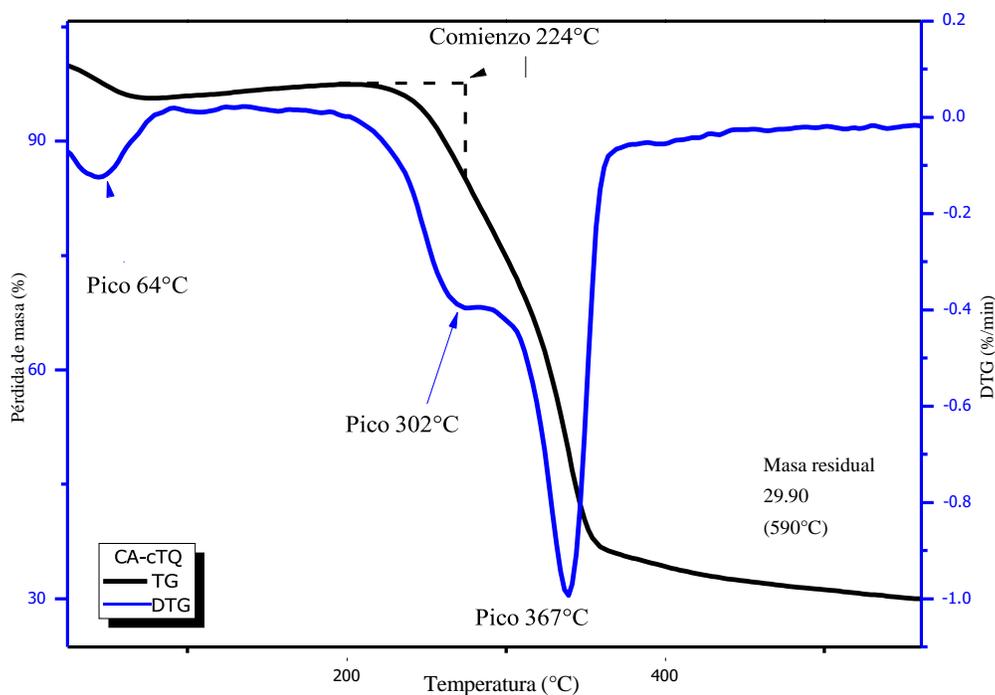


Figura 24. a) Análisis termogravimétrico *C. alata*.

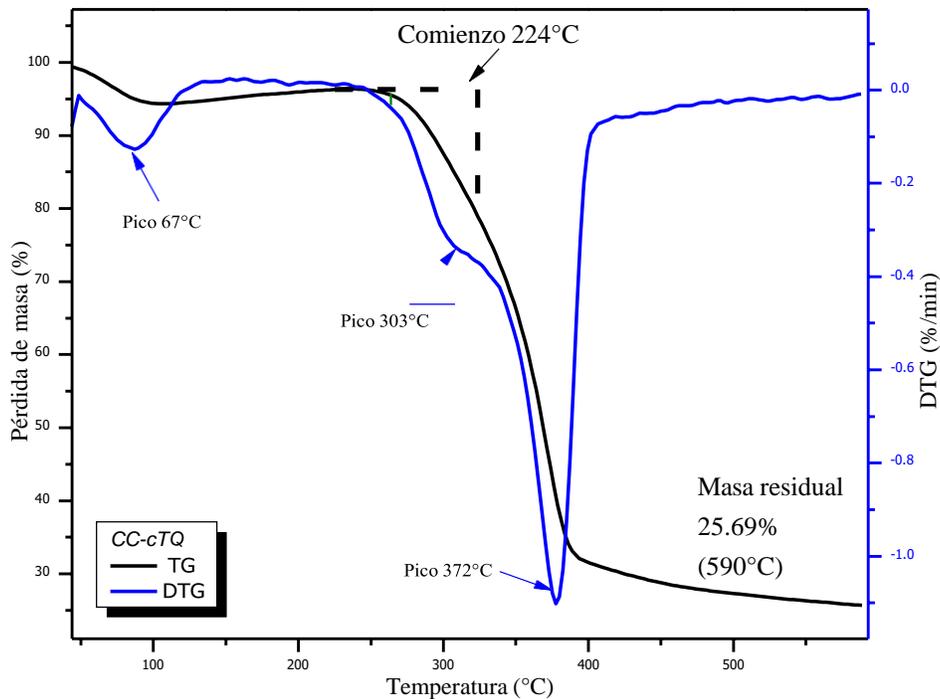


Figura 24. b) Análisis termogravimétrico *C. cujete*.

La masa residual se atribuye a la lignina la cual se descompone a temperaturas mayores de 500°C; la especie *CA-cTQ* tiene ligeramente mayor masa residual (29.97%) respecto a los de la especie *CC-cTQ* (29.90%), a su vez la pérdida de masa se da a menores temperaturas para *C. alata*.

Para las muestras con TQ se determinó una pérdida de masa de 25.04% para las dos especies. En un análisis comparativo entre *CA-cTQ* y *CC-cTQ*, se observó que un incremento la aparición de carbono a menores temperaturas, principalmente el que es ligado a la masa de la lignina, y los resultados son consistentes con el porcentaje de lignina determinado previamente en este estudio en el análisis proximal y lo reportado por (Santiago Vignote Peña & UPM, 2016) (Salchi C, Blasina G & Morales E, 1992)

Para *CC-sTQ*, (figura 23 b y 24 b) la pérdida de masa fue de 8.7% y 5.18% para *CC-cTQ*, este resultado es mayor al compararse con la especie *CA-cTQ*, en donde fue de 2.98 %), lo

cual indica que hay una mayor cantidad de sustancias volátiles entre otros compuestos mencionados previamente.

Los resultados sugieren que la especie *C. cujete* presenta mayor resistencia al incremento de temperatura y por lo tanto podría ser más apto a ser sometida a procesos de moldeo con temperatura.

Tabla 6: Comparativo de la pérdida de masa en función de la temperatura de los tratamientos para *C. alata* y *C. cujete*.

	<i>CA-sTQ</i>		<i>CC-sTQ</i>		<i>CA-cTQ</i>		<i>CC-cTQ</i>	
	Pérdida de masa (%)	Temp. (°C)						
Extraíbles totales	5.6	90-224	8.7	98-246	2.98	64	6.49	67
Lignina	29.97	500	29.90	500	29.97	500	25.65	500
Hemicelulosa	22.65	287	30.27	286	22.38	302	17.34	303
Celulosa	32.46	347	27.69	352	42.84	367	51.50	372

4.2.4. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Los termogramas obtenidos por el flujo de calor mediante el proceso de calentamiento desde los 25 °C hasta 600 °C, mostraron cambios térmicos como se observa para las muestras sTQ (Figura 25 a y 25b). Es notorio un pico endotérmico a los 99- 100°C, lo cual se atribuye al reacomodo molecular de sustancias extraíbles y humedad. Este fenómeno es influyente en el aumento de la capacidad calorífica esto de acuerdo por lo reportado por López J et al, 2014 y García J., García M., & Das K, 2008 que realizaron análisis mediante DSC en maderas tanto con extraíbles como sin ellos.

Adicionalmente se verifica con referencias que la transición endotérmica a 292 °C y 304°C respectivamente para las dos especies, son correspondientes a la degradación de hemicelulosas. De acuerdo a Pereira et al. (2013), la transición atribuida a la degradación de la celulosa ocurre entre 357-370 °C para muestras de *Eucalyptus spp*, los resultados obtenidos para las dos especies mostraron esta transición en 349 °C para CA-sTQ y 359°C para CC-sTQ, observándose que para CC la temperatura de degradación es mayor en 10°C comparado con CA.

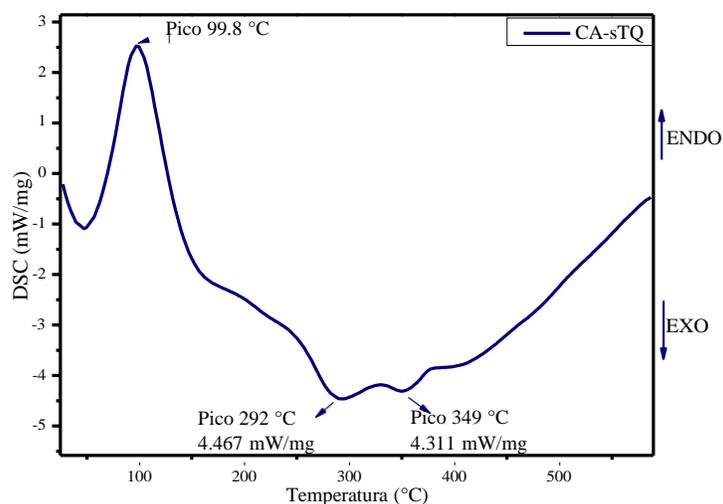


Figura 25. a) Calorimetría diferencial de barrido *C. alata*.

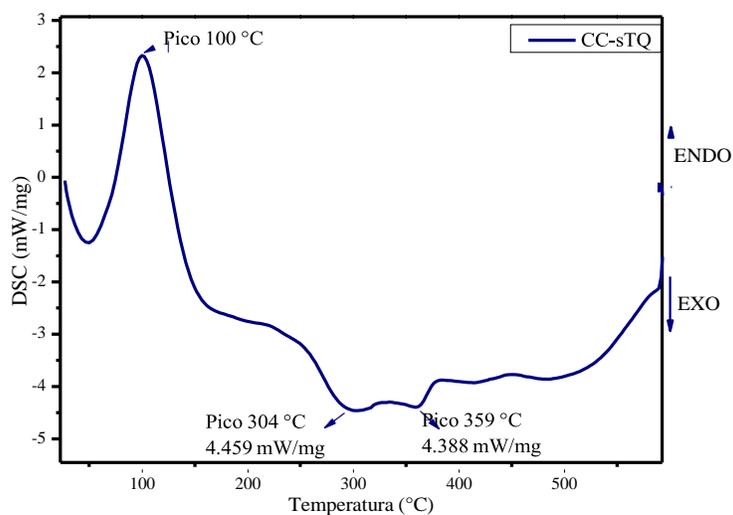


Figura 25. b) Calorimetría diferencial de barrido *C. cujete*.

Para las muestras con tratamiento químico, (Figura 26a y 26b), para las dos especies se observa que al retirarse los extraíbles durante el tratamiento químico, hay un mejor comportamiento en la primera fase del termograma, se observan las transiciones exotérmicas a menores temperaturas (69 y 71°C) para las dos especies comparado con las muestras sin tratamiento químico. La capacidad calorífica disminuye una vez que los extraíbles son retirados.

En la Figura 26 a para *C. alata* se aprecia una transición a los 121 °C se formó una transición correspondiente a material amorfo, además se pudo apreciar picos correspondientes a la cristalización a 369 °C y 371 °C que ocurre en materiales lignocelulósicos en ambas especies.

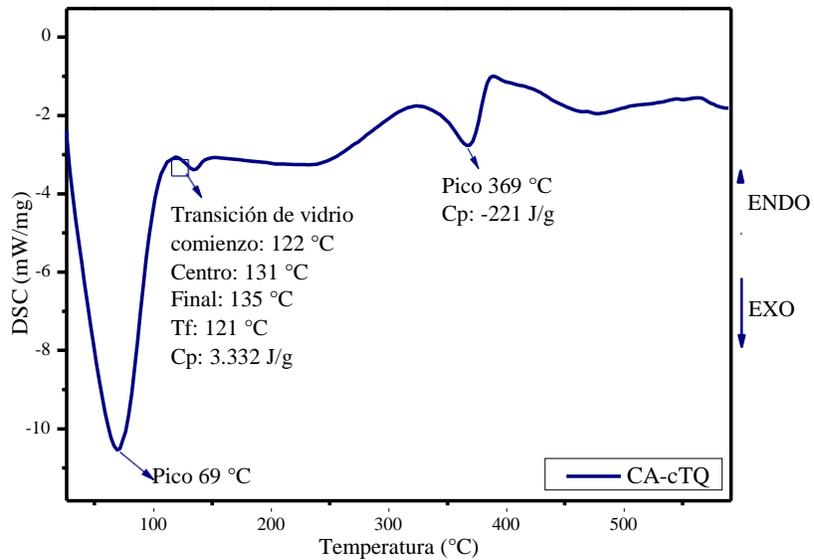


Figura 26. a) Calorimetría diferencial de barrido *C. alata*.

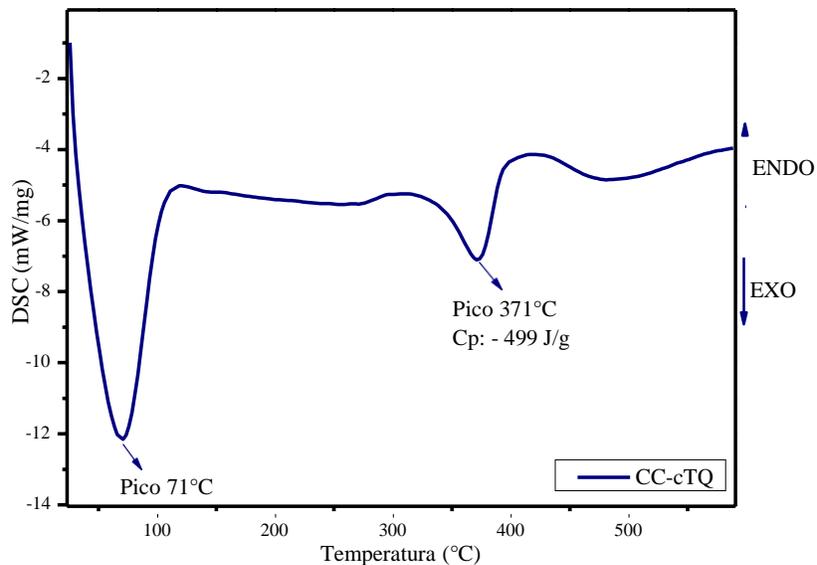


Figura 26. b) Calorimetría diferencial de barrido *C. kujete*.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y a la bibliografía pudimos llegar a las siguientes conclusiones:

- La especie *C. alata* y *C. kujete* (cáscara) presenta en su composición química celulosa, hemicelulosas, lignina, así como extraíbles totales y cenizas. Se determinó mayor concentración de hemicelulosa y extraíbles totales para la especie *C. kujete*.
- En los materiales con tratamiento químico, la *C. alata* tiene una mayor tendencia a la hidro-modificación dimensional respecto a la *C. kujete*, debido a que la *C. alata* presenta un mayor porcentaje de celulosa (50.6 vs 43.5%) y mayor valor de acidez (5.68 vs 5.93) que la *C. kujete*.
- En los materiales sin tratamiento químico, la *C. alata* tiene una mayor tendencia a la hidro-modificación dimensional respecto a la *C. kujete*, debido a que esta presenta un mayor valor de acidez (5.6 vs 5.9) y mayor cantidad de grupos O-H (FTIR).
- Respecto al análisis morfológico se pudo determinar que en los materiales con tratamiento químico la especie *C. alata* sufrió mayor deterioro comparado con *C. kujete*, esto para los componentes estructurales de menor peso molecular (hemicelulosa y lignina).
- En los materiales sin tratamiento químico y con un adicional tratamiento térmico (TGA) la *C. alata* tiene una mayor tendencia a la hidro-modificación dimensional respecto a la *C. kujete*, debido a que esta presenta un menor valor de celulosa (32.46 vs 27.69%).
- En los materiales con tratamiento químico y con un adicional tratamiento térmico (TGA) la *C. alata* tiene una menor tendencia a la hidro-modificación dimensional respecto a la *C. kujete*, debido a que esta presenta un valor mayor de celulosa (42.8 vs 51.5 %).
- Se determinó que, a mayor humedad y metabolitos secundarios, los materiales presentan una mayor capacidad calorífica tendrán, al extraer los metabolitos secundarios el fenómeno de cristalización ocurre a temperaturas más elevadas.

SECCIÓN DE ALCANCES

La hidro y termo modificación de las cáscaras de los frutos de *C. cujete* y *C. alata* son una alternativa viable para su transformación por moldeo, en donde *C. alata* ofrece una mejor respuesta a tratamientos higroscópicos y *C. cujete* a tratamientos térmicos.

En base a su estructura y composición química las cáscaras de las dos especies presentan propiedades plásticas características de biopolímeros termoplásticos. Por lo anterior, se propone estudiar las propiedades mecánicas de las cáscaras y realizar un tratamiento de moldeo hidrotérmico para la obtención de utensilios para diversas aplicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguirre D. (2013). Phenotypic differentiation between wild and domesticated varieties of *Crescentia cujete* L. and culturally relevant uses of their fruits as bowls in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 76.
2. Barthlott W, Mail M, Bhushan B, Koch K. (2017). Plant Surfaces: Structures and Functions for Biomimetic Innovations. *Springerlink*, 9: 1-40. Nano-micro lett.
3. Clasen A, & Kesel A. (2019). Microstructural Surface Properties of Drifting Seeds—A Model for Non-Toxic Antifouling Solutions. *biomimetics*, 4: 14. De MDPI.
4. Dragana Z. Marković-Nikolić, Aleksandar Lj. Bojić Saša R. Savić, Sanja M. Petrović, Dragan J. Cvetković, Milorad D. Cakić, and Goran S. Nikolić. (2018). Synthesis and Physicochemical Characterization of Anion Exchanger Based on Green Modified Bottle Gourd Shell. *Journal of Spectroscopy Volume 1*.
5. Espitia Baena, J. E., Duran-Sandoval, H., Fandiño Franky, J., Díaz Castillo, F., & Gómez Estrada, H. A. (2011). *SciELO. Revista cubana de plantas medicinales*.
6. Ejelonu BC., Olaremu AG Lasisi AA., and Ejelonu OC (2011). The chemical constituents of calabash (*Crescentia cujete*). *African Journal of Biotechnology*. 10: 19631-19636.
7. Instituto politécnico nacional de México. (2018). Diagnóstico de los usos, la distribución y las características dasométricas del árbol cirrián (*Crescentia alata* Kunth) en el municipio de Pungarabato, Guerrero México. *Polibotánica Núm. 45*: 191-194.
8. M.Roos, & Pool, C. (2014). La jícara y sus usos tradicionales en Yucatán, una vasija hecha del fruto de *Crescencia cujete* L. (Bignoniaceae). *Desde el Herbario CICY 6*, 116-118.

-
9. Ortíz M, Ortíz A, Reyes R, Nieto A, Yoselina L, Correa M, & Maldonado J. (2016). Estudio fitoquímico preliminar del extracto hidroalcohólico de hoja de *Crescentia cujete* L. (Totumo) y evaluación de la actividad antiinflamatoria de un gel para uso tópico. *Momentos de ciencia. Universidad de la amazonia*. 13: 34-31.
 10. Olivares-Pérez, J & Villa-Mancera, Abel. (2018). Diagnóstico de los usos, la distribución y características dasométricas del árbol cirrián (*Crescentia alata* Kunth) en el municipio de Pungarabato, Guerrero, México. *polibotanica*.45.14.
 11. Recalde C. (2015). Evaluación de las características físico-químicas de *Crescentia cujete* (totumo) de diferentes zonas de la provincia de los ríos, con la finalidad de proponer su aprovechamiento agroindustrial (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador.
 12. Rojas.S. Gutierrez I., Olivarez J., Jimenez R. (2013). Use of crescentia alata and guazuma ulmifolia fruits in lamb feeding in subtropical region of Guerrero, Mexico. *revista de veterinaria* 2: 157- 162.
 13. Syaefudin, Nitam D, Utari M, Rafi M & Hasanah U. (2018). Antioxidant and Antibacterial Activities of Several Fractions from *Crescentia cujete* L. Stem Bark Extract. The 2nd International Conference on Biosciences (ICoBio), 197: 1-10. Conference Series: Earth and Environmental Science.
 14. Suheela B., Charanjiv S., Manish K., Harish S. (2017). Effect of thermal and alternate thermal processing on bottle gourd (*lagenaria siceraria*) juice. *Journal of Food Processing and Preservation*.
 15. TK, L. (2012). *Plantas comestibles medicinales y no medicinales*. Switzerland: springer.
 16. Zúñiga G. (2007). Análisis fisicoquímico y evaluación del rendimiento de extracción del aceite de semilla de morro (*crescentia alata* hbk) proveniente de las

regiones de estanzuela, zacapa y san agustin acasaguastlán, el progreso.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

17. Ávila L. (2012). Fundamentos de Química de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. México. 107.
18. Dietrich F, Gerd W & Ebray (1989). Wood: chemistry, ultrastructure reactions. Walter de Gruyer, Berlin; New York.
19. Menachem L, Goldstein I (1991). Wood structure and composition. International Fiber Science and Technology. Marcel Dekker Inc., New York. 512.
20. Mora-Espinosa, W. J., & Ramón-Valencia, B. A. (2018). Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, 41(161), 479-489.
21. Ruiz-Aquino, F., Ruiz-Ángel, S., Feria-Reyes, R., Santiago-García, W., Suárez-Mota, M. E., & Rutiaga-Quñones, J. G. (2019). Wood Chemical Composition of Five Tree Species from Oaxaca, Mexico. *BioResources*, 14(4), 9826-9839.
22. Cárdenas-Gutiérrez, M. Á., Pedraza-Bucio, F. E., Lopez-Albarran, P., Rutiaga-Quñones, J. G., Correa-Méndez, F., Carrillo-Parra, A., & Herrera-Bucio, R. (2018). Chemical components of the branches of six hardwood species. *WoodResearch (Bratislava)*, 63(5), 795-807
23. Pintor-Ibarra, L. F., Rivera-Prado, J. J., Ngangyo-Heya, M., & Rutiaga-Quñones, J. G. (2018). Evaluation of the chemical components of *Eichhornia crassipes* as an alternative raw material for pulp and paper. *BioResources*, 13(2), 2800-2813
24. Ávila-Calderón, L. E., & Rutiaga-Quñones, J. G. (2015). Wood chemical components of three species from a medium deciduous forest. *Wood Research*, 60, 463-470.

-
25. Sanchez A. (2015). Síntesis de nanopartículas derivadas de biopolímeros extraídos de biomasa por métodos térmicos. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo Leon. 44-65.
 26. Suarez C., J.L.; Restrepo M., J.W.; Quinchía F., A. y Mercado N., F.A. (2017). Fibras vegetales colombianas como refuerzo en compuestos de matriz polimérica. *Revista Tecnura*, 21, 57-66.
 27. Araya F. (2015). Determinación de parámetros relevantes para la eficiencia del hidrólisis enzimática de pulpas obtenidas por procesos de autohidrólisis y kraft de *Eucalyptus globulus*. (Tesis de doctorado). Universidad de concepción. 67-86.
 28. Contreras Y, Cardona Y, & Torres D.A(2017) “Estudio térmico e infrarrojo de cinco tipos de madera comercializadas en Norte de Santander, para su posible uso como fuente de energía”, *Respuestas*, vol. 22, no. 2, pp. 36-47.
 29. Gómez E, Osorio A, Ocampo A & Ríos L. (2019). Optimización de la Producción de Biocrudo mediante Licuefacción Hidrotérmica Catalizada de Buchón de Agua. *innovación tecnológica*. 30, 147-160.
 30. Orea U, Carballo L.R, & Cordero E. (2004). composición química de tres maderas en la provincia de pinar del río, cuba a tres alturas del fuste comercial parte nº 2: *Eucalyptus pellita* F. Muell. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 10, 51-55.
 31. Sabatier J, Brezny R & Camara A. (1991). espectros ir de preparados de lignina y productos lignocelulósicos del bagazo de la caña de azúcar. *Revista ICIDCA*. 3, 39-44.
 32. Contreras Q., Héctor J., & Trujillo P., Hugo A., & Arias O., Gerardo, & Pérez C., José L., & Delgado F., Ezequiel (2010). Espectroscopía atr-ftir de celulosa: aspecto instrumental y tratamiento matemático de espectros. *Revista e-Gnosis*. 8,1-13.
 33. Requejo S. (2011). Degradación química de madera y pet reciclado y su aplicación en la síntesis de resinas poliéster. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León. 32-42.
 34. Ruiz G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca. *Revista Ingeniería y Ciencia*. 2, 5-28.
 35. Manals E, Penedo M, & Giralt G. (2011). análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales. *Universidad de oriente*. 181-188.
 36. González Y, Vargas R. (2010). Estudio de las propiedades termodinámicas y eléctricas de materiales compuestos poliméricos basados en el poli (vinil alcohol) (pva) + h₃po₂ + tio₂. *Revista Iberoamericana de polímeros*. 12, 64-75.

-
37. Yang H, Yan R, Chen H, Lee DH, & Zheng C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*. 86, 1781-8.
38. Alvarez VA & Vázquez A. (2006). Influence of fiber chemical modification procedure on the mechanical properties and water absorption of MaterBi-Y/sisal fiber composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 37, 1672-80.
39. Awal, A., Ghosh, S., & Sain, M. (2009). Thermal properties and spectral characterization of wood pulp reinforced bio-composite fibers. *Journal of thermal analysis and calorimetry*.
40. García-Rojas, L. M., Marquez-Montesino, F., Aguiar-Trujillo, L., Arauso-Perez, J., Carballo-Abreu, L. R., Orea Igarza, U., & Zanzi, R. (2009). Rendimiento de los productos de la descomposición térmica de la madera de Eucalyptus saligna Smith a diferentes alturas del fuste comercial. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 15(2), 147-154.
41. Giraldo, J. L., Cuarán, J. C. C., García, L. V. A., & Pardo, L. M. F. (2014). Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico. *Revista colombiana de investigaciones agroindustriales*, 1(1), 7-21.
42. Hatton, P. J., Chatterjee, S., Filley, T. R., Dastmalchi, K., Plante, A. F., Abiven, S., ... & Stark, R. E. (2016). Tree taxa and pyrolysis temperature interact to control the efficacy of pyrogenic organic matter formation. *Biogeochemistry*, 130(1-2), 103-116.
43. Ibbett, R., Gaddipati, S., & Tucker, G. (2019). In-situ studies of hydrothermal reactions of lignocellulosic biomass using high-pressure differential scanning calorimetry. *Biomass and Bioenergy*, 121, 48-55.
44. Castellón, M. C., Navas-Martos, F. J., Pacheco, R., Morales-Cid, G., Sánchez, S., & La Rubia, M. D. (2017). Fabricación y caracterización de composites de ácido poliláctico reforzados con madera de olivo. *Afinidad*, 74(580).
45. García, J. A., García, M., & Das, K. C. (2008). Determinación de los parámetros cinéticos de degradación térmica de los subproductos de las plantas de beneficio mediante análisis termogravimétrico y calorimetría de barrido diferencial. *Revista Palmas*, 29(4), 31-46.
46. Encina Melo, L. P. (2019). *Bio-adsorbentes basados en Hemicelulosa tipo Galactoglucomanano con propiedades de remoción de contaminantes inorgánicos* (Doctoral dissertation, Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Metalúrgica.).
47. Katsu, N., Endo, T., & Teramoto, Y. (2020). Evaluation of the average state of carbohydrate/lignin coexistence in wood by analysis of molecular motion. *Cellulose*, 27(1), 41-56.

48. Merino, A., Omil, B., Hidalgo, C., Etchevers, J. D., & Balboa, M. A. (2017). Characterization of the organic matter in wood ash from biomass power plants in relation to the potential use as amendments in agriculture. *Land Degradation & Development*, 28(7), 2166-2175.

49. Murugan, P., Mahinpey, N., Johnson, K. E., & Wilson, M. (2008). Kinetics of the pyrolysis of lignin using thermogravimetric and differential scanning calorimetry methods. *Energy & Fuels*, 22(4), 2720-2724.

REFERENCIAS DE PAGINAS WEB

1. Conabio. (2018). *Crescentia alata* de conabio. Obtenido de conabio.gob: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/10-bigno1m.pdf
2. Naturales, S. d. (2018). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales blog. Obtenido de semarnat.gob.mx: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/el-arbol-de-las-jicaras-fortalece-nuestros-campos-153992>
3. SIRE. (2018). *Crescentia cujete* L. conafor.gob: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/909Crescentia%20cujete.pdf>
4. Jochims K. El árbol del jícara y su múltiple aprovechamiento. Ideas Nicaragua innovación para el desarrollo y la cooperación sur-sur: <http://www.ideassonline.org/pic/doc/jicaro.pdf>.