

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Desarrollo de composites plásticos con bioplásticos de  
cáñamo**

**Christian Josue Bolaños Cadena**

**Ingeniería Química**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Químico

Quito, 20 de Diciembre de 2023

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Desarrollo de composites plásticos con bioplásticos de  
cáñamo**

**Christian Josue Bolaños Cadena**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Frank Alexis, Ph.D.**

Quito, 20 de Diciembre de 2023

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Christian Josue Bolaños Cadena

Código: 00207750

Cédula de identidad: 1003969464

Lugar y fecha: Quito, 20 de Diciembre de 2023

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

A lo largo de varios años, desde que se desarrolló el plástico la producción y el uso de este ha ido aumentando a nivel mundial, escalando incluso hasta convertirse en un problema que genera contaminación a gran escala dentro de las ciudades, naturaleza e incluso en el océano. En la actualidad, existen ya varias opciones para sustituir al plástico convencional con opciones biodegradables, pero aun así se siguen empleando solventes químicos, y plastificantes que siguen generando contaminación. Es por este motivo, que se ha propuesto emplear formulaciones de bioplásticos a base de celulosa de cáñamo no contaminantes con el objetivo de reemplazar componentes actuales, no obstante, en la actualidad este cambio resulta en un bioplástico aún en proceso, es por ello que se busca complementarlo con plástico convencional que genere una menor contaminación y generar una respuesta mucho más eficiente del bioplástico para eliminar totalmente la contaminación existente.

**Palabras clave:** Bioplástico, contaminación, cáñamo, celulosa, plástico.

## ABSTRACT

Over the years, since the development of plastic, its production and use has been increasing worldwide, even escalating to become a problem that generates large-scale pollution in cities, nature and even in the ocean. Currently, there are already several options to replace conventional plastic with biodegradable options, but even so, chemical solvents and plasticizers are still used, which continue to generate quite a large amount of pollution. For this reason, it has been proposed to use formulations of bioplastics based on cellulose from hemp in order to replace the current components, however, at present this change results in a bioplastic still in process, which is why it seeks to complement it with conventional plastic that generates less pollution and generate a much more efficient response of the bioplastic to completely eliminate the existing pollution.

**Key words:** Bioplastic, contamination, cellulose, hemp, plastic.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. Introducción .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Metodología .....</b>	<b>12</b>
2.1. Materiales.....	12
2.1.1. Celulosa.....	12
2.1.2. Reactivos.....	12
2.2. Extracción y análisis de celulosa.....	12
2.2.1. Método de extracción.....	12
2.2.2. TGA.....	13
2.2.3. TIR.....	13
2.2.4. SEM.....	14
2.2.5. XRD.....	14
2.2.6. Elaboración composite plástico.....	14
2.2.7. Preparación de la muestra.....	15
2.2.8. Índice de fluidez.....	15
2.2.9. Peletización.....	15
<b>3. Resultados y discusiones.....</b>	<b>16</b>
3.1. Índice de fluidez.....	16
3.1.1. Índice de fluidez composites.....	16
3.1.2. Índice de fluidez nuevas formulaciones de bioplásticos y composites.....	17
<b>4. Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>25</b>
<b>5. Referencias bibliográficas .....</b>	<b>26</b>

<b>Anexo A: Análisis FTIR.....</b>	<b>29</b>
<b>Anexo B: Análisis SEM.....</b>	<b>33</b>
<b>Anexo C: Índice de Fluidez.....</b>	<b>34</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Índice de fluidez composites.....	16
Figura 2. Índice de fluidez composites y nuevas formulaciones de bioplásticos.....	18
Figura 3. Índice de fluidez de nuevos bioclásticos y composites con plásticos de fundas de Supermaxi.....	18
Figura 4. FTIR mezcla bioplástico 3.....	19
Figura 5. FTIR celulosa.....	19
Figura 6. FTIR celulosa y nuevo bioplástico a base de celulosa.....	20
Figura 7. XRD celulosa.....	20
Figura 8. TGA celulosa (320°C).....	21
Figura 9. Análisis TGA con diferentes porcentajes de plástico/bioplástico.....	22
Figura 10. SEM celulosa.....	23
Figura 11. SEM Bioplástico 3.....	23
Figura 12. FTIR Bioplástico 2.....	29
Figura 13. FTIR Bioplástico 1.....	30
Figura 14. FTIR Bioplástico y Plastificante.....	31
Figura 15. FTIR Bioplástico 3C3 y plastificante.....	32
Figura 16. Análisis SEM bioplástico 2.....	33
Figura 17. Análisis SEM bioplástico 1 .....	33
Figura 18. Índice de fluidez composite y bioplástico 1.....	34

## 1. INTRODUCCIÓN

La preocupación por el medio ambiente y el impacto negativo de los plásticos convencionales en los ecosistemas ha llevado a un creciente interés en la búsqueda de alternativas sostenibles y eco amigables. Entre estas alternativas, los bioplásticos han surgido como una prometedora solución, y uno de los materiales más promisorios en este ámbito es el bioplástico a base de cáñamo [8]. El cáñamo, conocido científicamente como *Cannabis sativa*, es una planta versátil que ha sido utilizada durante milenios en diversas aplicaciones, desde textiles hasta medicinales. Recientemente, se ha investigado su potencial para la producción de bioplásticos debido a su alto contenido de celulosa, una molécula clave en la creación de este tipo de materiales [21].

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo principal mejorar las propiedades del bioplástico de cáñamo mediante la adición de plástico convencional. Además, otro de los objetivos es encontrar una formulación de bioplástico que no tiene riesgos para el ambiente [3]. Los plastificantes son aditivos que se incorporan a los plásticos para mejorar su flexibilidad, resistencia y otras propiedades mecánicas, pero muchos de los plastificantes convencionales son derivados de productos petroquímicos y presentan desventajas ambientales significativas, como la liberación de compuestos tóxicos y la dificultad de su degradación [5]. Mediante la utilización de cáñamo como materia prima para la producción de bioplásticos, se busca reducir la dependencia de recursos no renovables y mitigar el impacto ambiental negativo de los plásticos convencionales. Los bioplásticos a base de cáñamo tienen la ventaja adicional de ser biodegradables, lo que los convierte en una opción más sostenible para diversas aplicaciones [1].

Una de las aplicaciones específicas que se pretende explorar en este proyecto de investigación es la combinación de estos bioplásticos a base de cáñamo con fundas de plástico

convencional utilizadas en Supermaxi, una cadena de supermercados muy popular en Ecuador. El bioplástico de cáñamo es un material biodegradable y sostenible, pero aún presenta algunas limitaciones, como una menor resistencia mecánica y térmica [16]. La adición de plástico convencional puede ayudar a mejorar estas propiedades, haciendo que el bioplástico de cáñamo sea más adecuado para aplicaciones de corto plazo que requiere una disminución del uso de plástico. Las fundas de plástico convencionales son una fuente significativa de contaminación ambiental, ya que suelen difícil a reciclar, lo que resulta en ser de un solo uso y tardan cientos de años en degradarse [10]. La idea es desarrollar un bioplástico que pueda actuar como un recubrimiento o aditivo para las fundas de plástico convencionales, mejorando su biodegradabilidad y reduciendo así el impacto ambiental. Al combinar los bioplásticos a base de cáñamo con las fundas de Supermaxi, se busca ofrecer una alternativa más ecológica y sostenible para el envasado y transporte de productos, lo que permitiría a la empresa ser un líder en la adopción de prácticas más respetuosas con el medio ambiente [4]. La investigación incluirá una fase de desarrollo de los bioplásticos a base de cáñamo y su posterior caracterización para evaluar sus propiedades mecánicas, térmicas y de degradación. Asimismo, se realizarán pruebas para determinar la compatibilidad del bioplástico con las fundas de plástico convencionales utilizadas actualmente en Supermaxi, asegurando que el nuevo material cumpla con los requisitos de calidad y desempeño necesarios [15]. Además de los aspectos técnicos, este proyecto también considerará los aspectos económicos y sociales de la implementación de los bioplásticos en la cadena de producción y distribución de Supermaxi.

## 2. METODOLOGÍA

### *Material.*

#### *2.1.1. Celulosa.*

La elección de la celulosa se basa en varios criterios, uno de ellos es que el cáñamo es una planta de rápido crecimiento y alta productividad. Se puede cultivar en una amplia gama de climas y suelos, y no requiere muchos recursos para su cultivo [6]. Esto lo convierte en una fuente sostenible de celulosa para la producción de bioplástico. Además, el cáñamo es una planta herbácea que se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa es el componente principal de la pared celular de las plantas, y es la responsable de la resistencia y la rigidez de la planta [20]. El tallo del cáñamo contiene aproximadamente un 65-70% de celulosa, lo que lo convierte en una fuente muy rica de este material. Finalmente, la celulosa es un polímero natural que puede ser descompuesto por microorganismos. Esto significa que el bioplástico producido a partir de la celulosa de cáñamo se degradará naturalmente en el medio ambiente, sin dejar residuos tóxicos [7].

#### *2.1.2. Reactivos.*

Los reactivos utilizados en la elaboración y extracción de la celulosa y del bioplástico incluyen ácidos y bases, de igual manera incluye un plastificante común, además de la sustitución del mismo con un plastificante natural obtenido a partir de residuos de frutas [2].

### *2.1 Extracción y análisis de celulosa.*

#### *2.2.1. Método de extracción.*

La celulosa, una fibra natural abundante y versátil, se obtuvo a partir del tallo del cáñamo proporcionado por una compañía ecuatoriana. Primero, se generó pulpa a partir de los materiales. Luego, se sometió a un tratamiento ácido/base para extraer la celulosa pura. Después, se blanqueó y lavó para eliminar los residuos químicos. Finalmente, se secó mediante la utilización de un horno a cierta temperatura para obtener un producto estable y duradero [13].

### **2.2.2. TGA.**

El análisis termogravimétrico es como una balanza mágica que puede ver dentro de las cosas. Cuando se calienta una muestra, el TGA mide la cantidad de peso que pierde. Cada tipo de sustancia química se descompone a una temperatura diferente, por lo que el TGA puede decirnos qué sustancias químicas están presentes en una muestra.

En este estudio, el TGA se utilizó para ver si las muestras extraídas contenían celulosa. Las pruebas demostraron que sí, las muestras contenían celulosa. La celulosa es una fibra natural que tiene una serie de propiedades útiles: es fuerte, biodegradable y puede absorber agua. Los resultados del TGA son una buena noticia para el desarrollo de materiales sostenibles y respetuosos con el medio ambiente [3]. Se realizó el análisis TGA utilizando un equipo termogravimétrico calentando la muestra desde temperatura ambiente hasta 800°C bajo atmósfera inerte (nitrógeno) a una velocidad de calentamiento de 10°C/min.

### **2.2.3. FTIR.**

La espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier es como una lupa mágica que puede ver dentro de las cosas. Cuando se expone una muestra a la luz infrarroja, el FTIR mide la cantidad de luz que absorbe la muestra en diferentes longitudes de onda. En este estudio, el FTIR se utilizó para ver qué grupos funcionales estaban presentes en la celulosa extraída. Los resultados mostraron que la celulosa contenía grupos

hidroxilo, alquilo y carboxilo. Estos grupos funcionales son responsables de las propiedades de la celulosa, como su resistencia, su biodegradabilidad y su capacidad para absorber agua. El FTIR es una herramienta valiosa para los científicos que estudian la celulosa y otros materiales naturales [7].

#### **2.2.4. SEM.**

La microscopía electrónica de barrido (SEM) es una técnica que se utiliza para obtener imágenes de la superficie de una muestra.

En este estudio, SEM se utilizó para caracterizar la celulosa extraída. Las imágenes SEM mostraron que la celulosa extraída tenía una estructura óptima para la elaboración de bioplástico [1]. Para llevar a cabo el análisis SEM, se utilizó una muestra de celulosa previamente preparada y recubierta con una fina capa de metal (p. ej., oro o platino) para aumentar la conductividad y evitar la carga electrostática durante la observación. El análisis se realizó utilizando un Microscopio Electrónico de Barrido de alta resolución. La aceleración del haz de electrones se estableció entre 5-20 kV, y se ajustó la distancia de trabajo y la apertura del detector para obtener imágenes de alta calidad. De igual manera, se utilizó una muestra de celulosa pura, previamente deshidratada y pulverizada para el análisis [9].

#### **2.2.5. XRD.**

La difracción de rayos X (XRD) es una técnica que se utiliza para identificar la estructura cristalina de una muestra. En este estudio, la XRD se utilizó para caracterizar la celulosa extraída.

Los patrones de XRD de las celulosas extraídas mostraron picos característicos de la celulosa cristalina. Estos picos se corresponden con los planos de átomos en la estructura cristalina de la celulosa [12].

#### **2.2.6. Elaboración composite plástico.**

Para la combinación de plástico y bioplástico se procede a triturar y cortar el plástico convencional, para posteriormente llevar a agitación magnética durante 120 min. Posteriormente, se pasa a una plancha de calentamiento para producir una mezcla de plástico y componentes del bioplástico. Para finalmente, aplicar una presión para formar películas de composites de plástico con bioplástico. Una vez transcurrido este tiempo, se procede a retirar la muestra y dejar secar [4].

#### ***2.2.7. Preparación de la muestra.***

En cuanto a la preparación de la muestra, se utilizó una relación másica plástico: bioplástico de 0,6:0,4 ; y 0,4:0,6; para poder llevar a cabo la elaboración de la muestra y las posteriores pruebas de fluidez con los mismos [17].

#### ***2.2.8. Índice de fluidez.***

En la prueba de fluidez, el material se enfrenta a una serie de obstáculos, como un capilar estrecho. El tiempo que tarda el material en superar estos obstáculos se utiliza para medir su capacidad para fluir. La prueba de fluidez es una manera sencilla de evaluar la fluidez de un material. Se puede utilizar para comparar la fluidez de diferentes materiales o para medir la fluidez de un material a lo largo del tiempo [14].

#### ***2.2.9. Peletización.***

Primero, se trituraron los bioplásticos junto el plástico convencional 20% Plástico/Bioplástico, para que pudieran mezclarse con el polímero elegido hasta obtener lo más cercano a polvo posible. Después, se extruyeron las muestras en una extrusora (DR.16:40.AX, AX), con un husillo de 16 mm de diámetro y una longitud/diámetro de 40 L/D. Los parámetros de extrusión se ajustaron cuidadosamente para obtener materiales homogéneos. Finalmente, los filamentos se granularon para que fueran más fáciles de manejar. El material se guardó para su posterior caracterización [9].

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1. Índice de fluidez.

##### 3.1.1. Índice de fluidez composites.

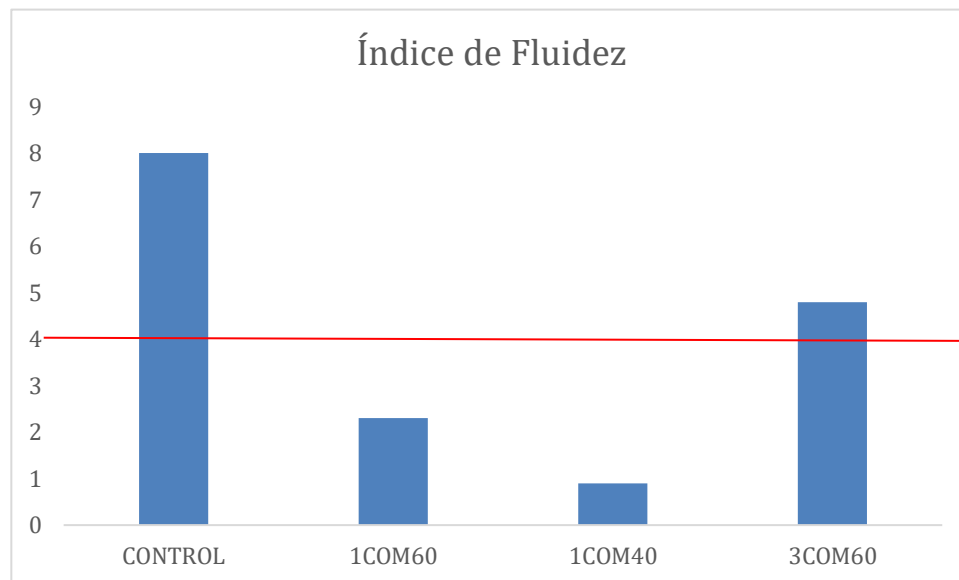


Figura 1. Índice de fluidez composites

Es importante tener en cuenta que control se refiere a una muestra de PLA puro mientras que COM60 se refiere a una muestra de bioplástico de celulosa con una variación en el porcentaje de concentración de plástico convencional. Mediante los datos obtenidos en el índice de fluidez, se obtuvieron valores bajos para los mismos, además de ello, se identificó que las condiciones de 230°C y 5 no son óptimas para este tipo de procedimiento [2]. Por esta razón, se utilizó un peso de 6 kg, lo que permitió que el material fluyera a través de la matriz de extrusión. Respecto a la muestra 3COM60 de bioplástico de celulosa se obtuvo un buen resultado, con una temperatura relevante para un proceso de extrusión de plástico, el material obtenido no es frágil y no tiende a degradarse con facilidad [16].



La importancia de superar el límite de 4 dentro de la extrusora en las pruebas de fluidez para la elaboración de pellets radica en que garantiza que el material sea lo suficientemente fluido como para fluir a través de la extrusora sin degradarse [8]. El límite de 4 es un índice de fluidez que se utiliza para medir la capacidad de un material para fluir. Un índice de fluidez de 4 o superior indica que el material es lo suficientemente fluido como para fluir a través de una abertura de 2,05 mm de diámetro. En el proceso de elaboración de pellets, el material se extruye a través de una boquilla de diámetro pequeño. Si el material no es lo suficientemente fluido, se puede atascar en la boquilla o degradarse térmicamente. La degradación térmica puede provocar la pérdida de propiedades del material, como la resistencia mecánica y la resistencia térmica. Además, la degradación térmica puede provocar la formación de productos tóxicos. Por lo tanto, es importante que el material supere el límite de 4 en las pruebas de fluidez para garantizar que sea lo suficientemente fluido como para fluir a través de la extrusora sin degradarse [14].

### 3.1.2. Índice de fluidez nuevas formulaciones de bioplásticos y composites.

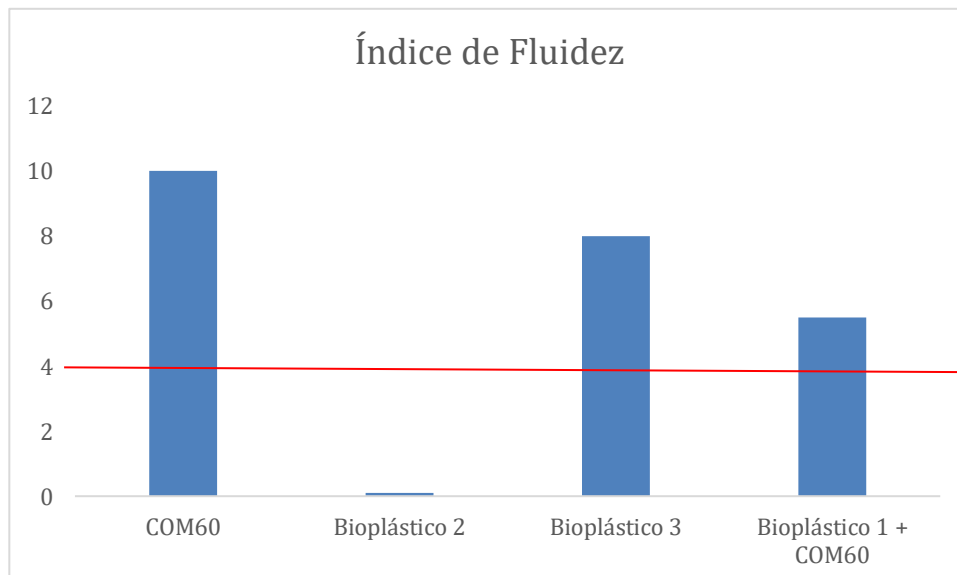
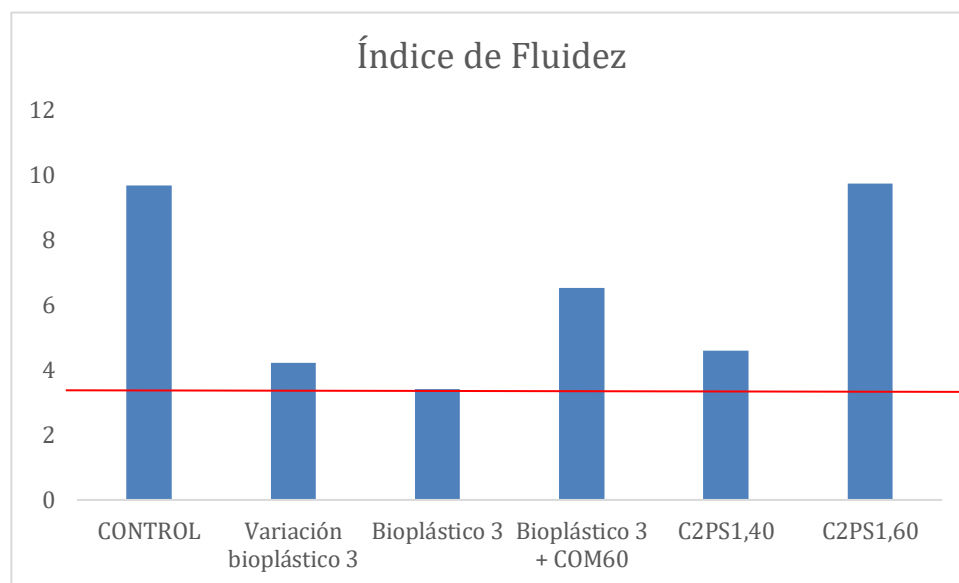
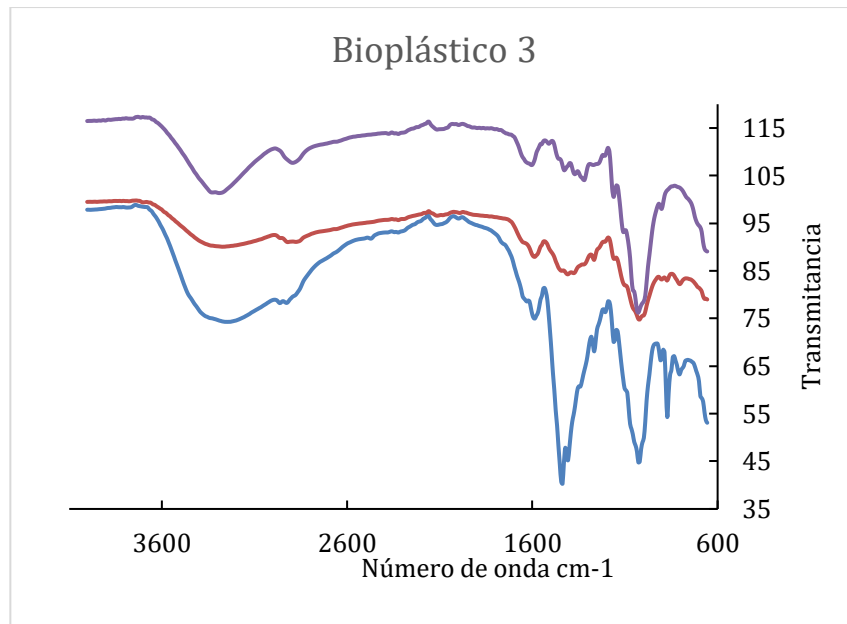


Figura 2. Índice de fluidez, composites y nuevas formulaciones de bioplásticos

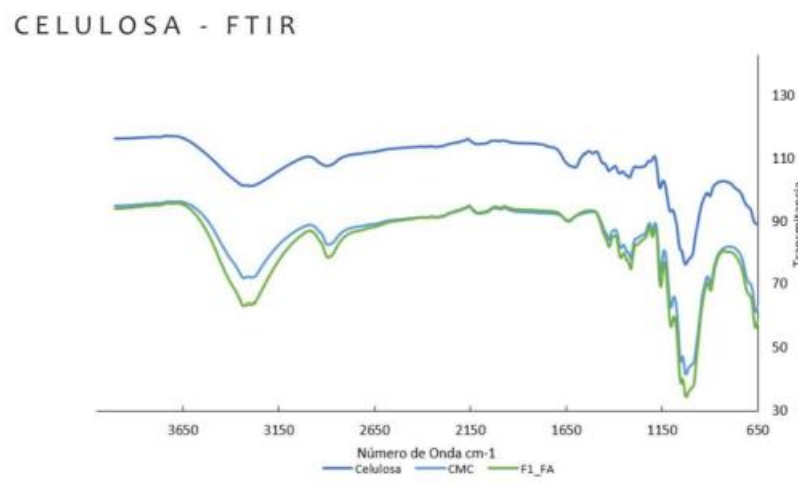
Las muestras Bioplástico 1 + COM60 y Bioplástico 3 tuvieron resultados variables en la prueba de fluidez. La muestra Bioplástico 1 + COM60 tuvo un índice de fluidez de 4,695. Al aumentar el peso de la máquina de fluidez, el material fluyó a través de la extrusora. La muestra Bioplástico 3 también tuvo un índice de fluidez relativamente alto, de 4,865. Sin embargo, al aumentar la temperatura, el material se degradó completamente [5]. Esto se debe a que los bioplásticos son más sensibles a la degradación térmica que los plásticos. Al aumentar el peso, la temperatura del material aumentó, lo que provocó su degradación, ya que la mayor fricción genera calor, lo que aumenta la temperatura del material. La muestra Bioplástico 2 no tuvo ningún indicio de fluidez. El material se compactó en el interior del cilindro. Esto se debió a que el material era demasiado viscoso para fluir a un peso tan alto. La muestra COM60 obtuvo los mejores resultados. Sin embargo, dos formulaciones de nuevos bioplásticos tiene un índice de fluidez relevante para un proceso de extrusión [22].



*Figura 3. Índice de fluidez de nuevos bioplásticos y composites con plásticos de fundas de Supermaxi.*



*Figura 4. FTIR mezcla bioplástico 3*



*Figura 5. FTIR celulosa*

Del mismo modo, se caracterizó mediante FTIR a la celulosa y los nuevos bioclásticos a base de celulosa; lo cual da como resultado que la celulosa está caracterizada por grupos hidroxilo, alquilo y carboxilo. Además de enlaces de hidrogeno, y enlaces glicosídicos. carbonos con enlaces simples. Además, también se registraron ciertos valores relativamente significativos en cuanto a enlaces simples a hidrógeno [11].

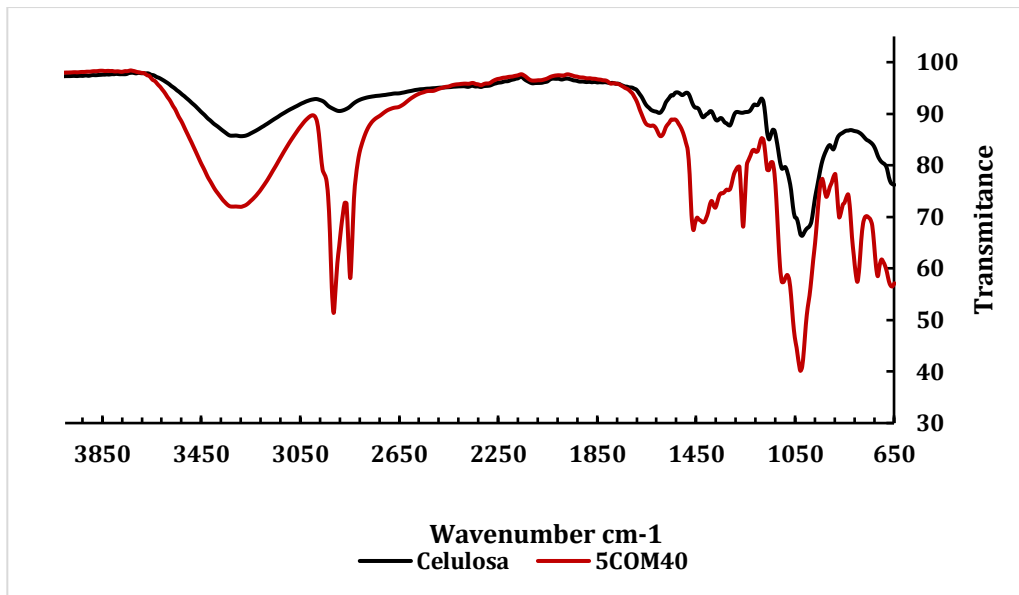


Figura 6. FTIR celulosa y nuevo bioplástico a base de celulosa

#### CELULOSA - XRD

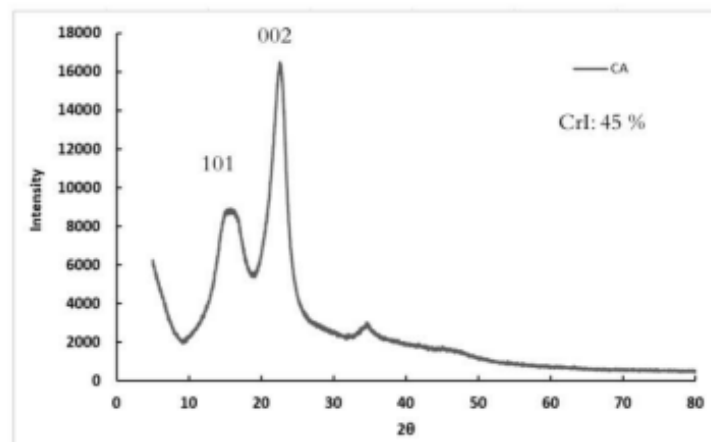
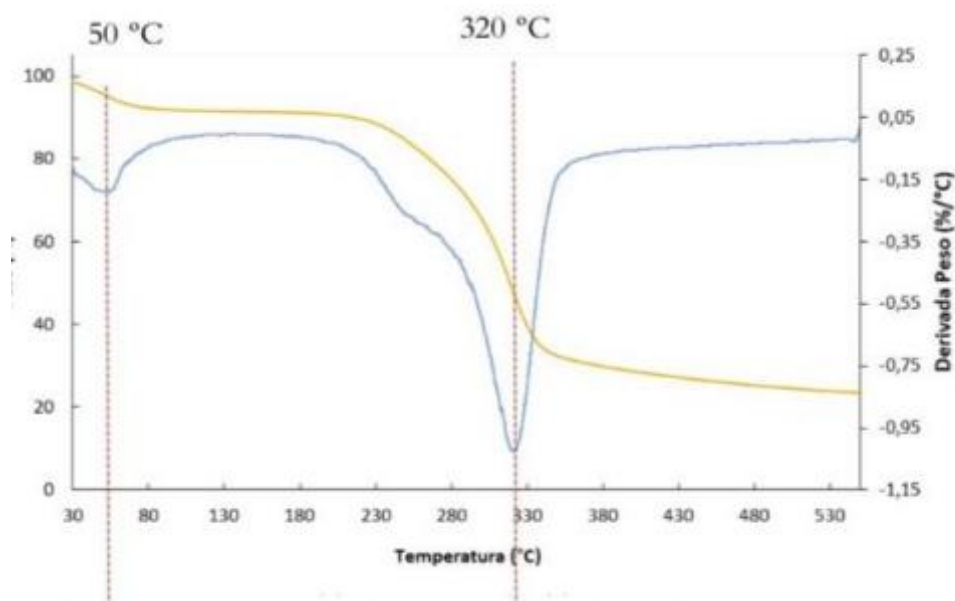


Figura 7. XRD celulosa

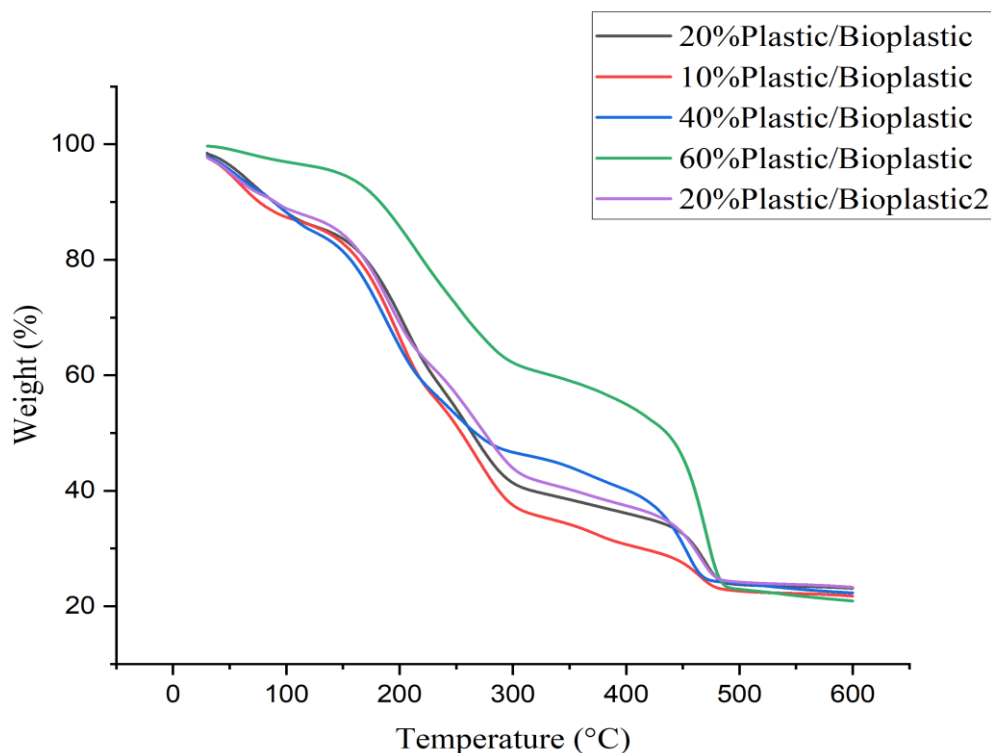
El análisis XRD confirmó la presencia de la celulosa en su forma cristalina, junto con una fracción amorfa. Estos resultados son consistentes con las propiedades conocidas de la celulosa y proporcionan información relevante sobre su estabilidad térmica y estructura cristalina, lo

que es importante para su aplicación en diversas industrias, como la de materiales, papel, alimentos y productos farmacéuticos.



*Figura 8. TGA celulosa (320°C)*

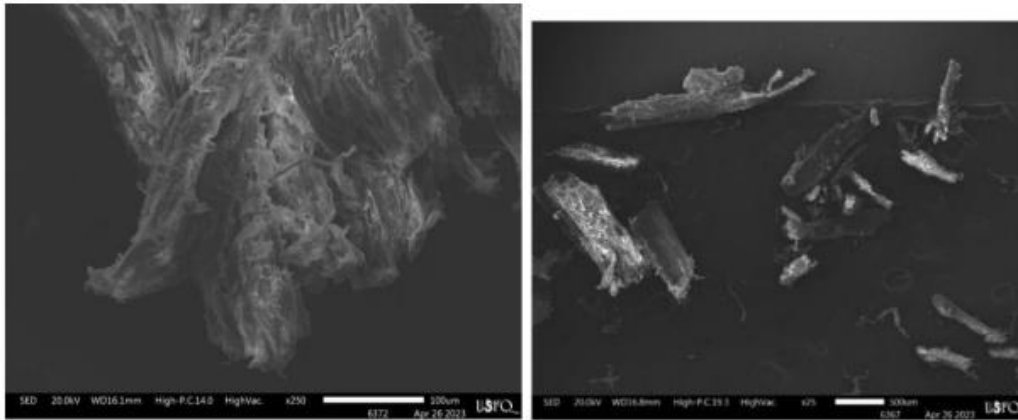
En el análisis TGA, se observó una pérdida de masa correspondiente a la desorción de agua adsorbida y humedad presente en la muestra, posteriormente se evidenció una degradación térmica. Después de la etapa de degradación, se observó un residuo carbonoso estable [6]. La celulosa se descompone en productos gaseosos y sólidos carbonosos, y este residuo representa la fracción carbonosa remanente después de la degradación. El análisis de difracción de rayos X de la celulosa mostró un patrón de difracción característico con picos intensos en  $2\theta$  alrededor de  $16^\circ$ ,  $22^\circ$  y  $34^\circ$ , lo que indica su estructura cristalina. Estos picos corresponden a los planos cristalinos (101), (002) y (040) de la celulosa, respectivamente. Además, se observaron picos más débiles y amplios, lo que sugiere la presencia de una fracción amorfa en la muestra.



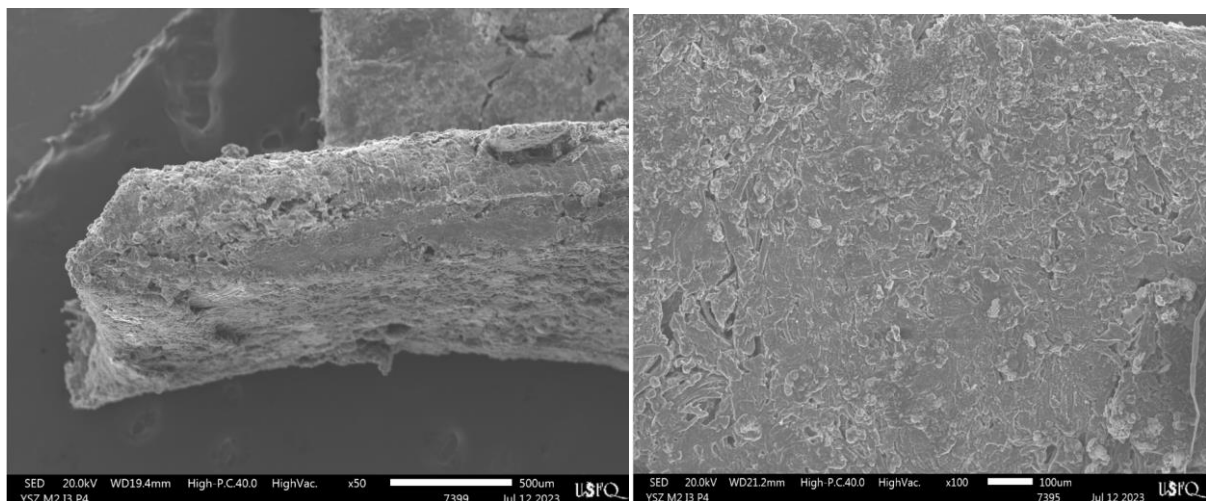
*Figura 9. Análisis TGA con diferentes porcentajes de plástico/bioplástico*

Los resultados mostraron que todas las muestras experimentaron tres etapas de pérdida de masa: Etapa 1 (30-150 °C): Pérdida de masa pequeña debido a la evaporación de agua y otros compuestos de bajo peso molecular. Etapa 2 (350 °C): Pérdida de masa significativa debido a la degradación térmica de las hemicelulosas y lignina. Etapa 3 (>400 °C): Pérdida de masa adicional debido a la degradación térmica de la celulosa. La muestra COM60 mostró la mayor estabilidad térmica, seguida de las muestras COM10 y COM40. La mayor estabilidad térmica de las muestras COM60, COM10 y COM40 se atribuye a la eliminación parcial o total de las hemicelulosas y la lignina. Estas sustancias son las más susceptibles a la degradación térmica [19], y su eliminación contribuye a mejorar la estabilidad térmica de los plásticos/bioplásticos. La eliminación de las hemicelulosas y la lignina de los plásticos/bioplásticos mejora su estabilidad térmica de varias maneras, al Reducir la cantidad de material que se degrada

térmicamente, disminuir la velocidad a la que se produce la degradación térmica y aumentar la temperatura a la que se produce la degradación térmica.



*Figura 10. SEM celulosa*



*Figura 11. SEM Bioplástico 3*

Mediante el uso de microscopía electrónica de barrido (SEM), se observó claramente la estructura fibrosa característica de la celulosa [20]. Las fibras de celulosa se mostraron como largas y delgadas, formando redes entrelazadas con distintas orientaciones. Además, la superficie de la celulosa presentó una textura porosa, con poros de diferentes tamaños distribuidos en toda la muestra. Esta porosidad es importante en aplicaciones como la filtración y la capacidad de retención de agua en materiales celulósicos [3].

En los resultados se revela que el análisis TGA de la celulosa demostró su comportamiento térmico característico, con etapas de pérdida de humedad, degradación térmica y formación de residuo carbonoso. Además, El análisis de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) proporcionó una visión detallada de la morfología, topografía y estructura de la celulosa. Se observaron fibras largas y delgadas con una estructura fibrosa característica, una superficie porosa y la presencia de posibles contaminantes o defectos. Estos resultados son valiosos para comprender la calidad y características de la celulosa, así como para optimizar su uso en diversas aplicaciones, incluyendo papel y productos celulósicos, biomateriales y aplicaciones tecnológicas [22]. En cuanto a la prueba de índice de fluidez se obtuvieron valores relevantes para el proceso de extrusión con algunas formulaciones de nuevos bioclásticos y compuestos de plástico de funda de supermaxi y nuevos bioplásticos. Además, al disminuir la temperatura, se puede evidenciar como el material presenta un mejor índice de fluidez, por lo que genera expectativas en cuanto a futuros análisis [23].



#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En conclusión, este proyecto ha demostrado que algunas combinaciones particulares de plástico y bioplástico, existen perspectivas prometedoras para mejorar esta propiedad mediante el uso de formulaciones de bioclásticos a base de celulosa. El índice de fluidez de los composites es relacionado con la naturaleza y proporción específica de los materiales utilizados en esta combinación. Finalmente, estos resultados resaltan la importancia de desarrollar un composite con los plásticos y disminuir de igual manera la contaminación causada por plásticos convencionales. La combinación de bioplásticos de cáñamo con plásticos convencionales presenta un potencial prometedor para abordar las limitaciones de resistencia mecánica y térmica asociadas con los bioplásticos de cáñamo. El análisis detallado de las propiedades mecánicas, térmicas y de degradación de los compuestos plásticos desarrollados proporciona una comprensión profunda de su desempeño y viabilidad en aplicaciones prácticas.

Considerar la viabilidad económica y los aspectos sociales de la implementación de estos compuestos en la cadena de producción y distribución, incluyendo un análisis de costos y beneficios, así como la percepción de los consumidores hacia productos eco-amigables.

Explorar otras fuentes de bioplásticos y plásticos convencionales para evaluar la viabilidad de desarrollar compuestos con propiedades mejoradas.

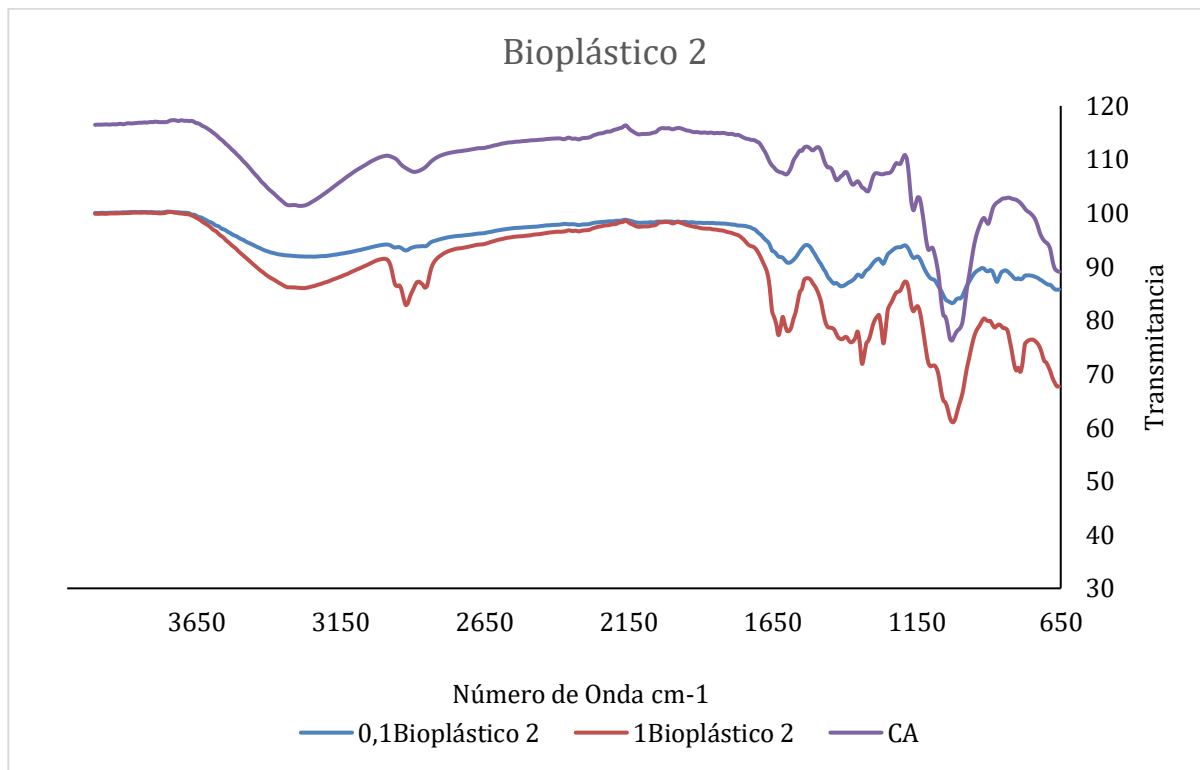
Realizar pruebas a escala piloto para evaluar la aplicabilidad industrial de los compuestos plásticos desarrollados en el envasado y transporte de productos.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

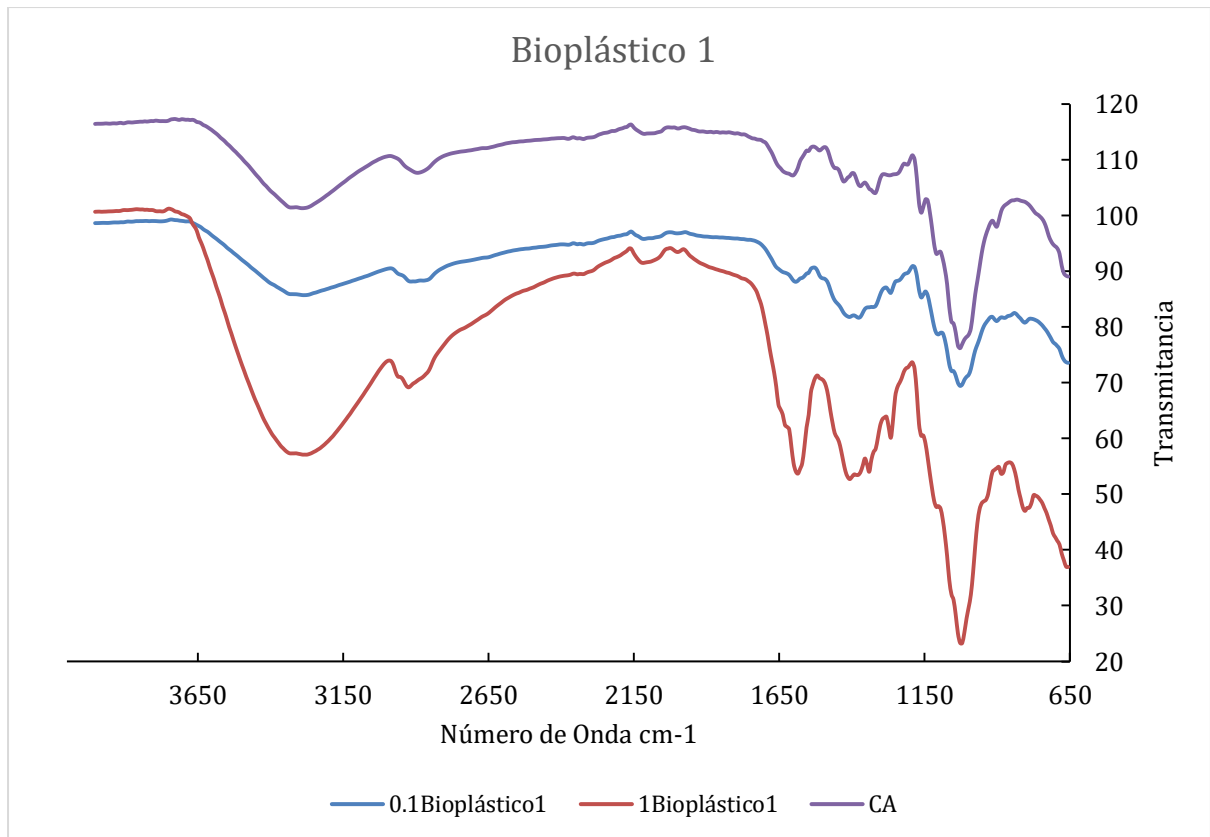
- [1] A Muhammad, A Roslan, S N A Sanusi, M Q Shahimi and N Z. Nazari Mechanical properties of bioplastic form cellulose nanocrystal (CNC) mangosteen peel using glycerol as plasticizer. (2019)
- [2] Adnan, Rohana et al. “Bioplastic Composite of Carboxymethyl Cellulose/N-P-K Fertilizer.” Key Engineering Materials 840 (2020)
- morfol Anagha Ashok, Rejeesh C.R., Effect of Softening Agents in the Thermal and Morphological Properties of Starch Based Bioplastics. Journal of Polymer & Composites (2017).
- [4] Beau R. Brummel, Chandima J. Narangoda, Mohamed F. Attia, Maria I. Swasy, Gary biopD. Smith, Jr., Frank Alexis 3, and Daniel C. Whitehead Scaled Synthesis of Polyamine-Modified Cellulose Nanocrystals from Bulk Cotton and Their Use for Capturing Volatile Organic Compounds. (2021)
- [5] Brebu, Mihai. “Environmental Degradation of Plastic Composites with Natural Fillers- A Review.” Polymers 12.1 (2020)
- [6] Daniella R Mulinari, Herman JC Voorwald, Maria OH Cioffi and Maria LCP da Silva. Cellulose fiber-reinforced high-density polyethylene composites—Mechanical and thermal properties. Journal of Composite Materials (2017).
- [7] D. Harris, Quantitative Chemical Analysis, Eight. New York: Clancy Marshall, (2010).
- [8] Felicia Alodia Marie Rentoy, Dinah Ruth Angot, Jimdel Ryu Mabaquiao and Aris Larroder. Development of Cellulose-based Bioplastic from Corn Stalks. Philippine Science High School Western Visayas Campus - Bito-on, Jaro, Iloilo City 5000, Department of Science and Technology, Philippines(2017).

- [9] García, R., Gil, M. V., González-Vázquez, M. P., Rubiera, F., & Pevida, C. Biomass Pelletization: Contribution to Renewable Power Generation Scenarios. 269–294. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-3768-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-13-3768-0_9) (2019).
- [10] Gunning, Michael A. et al. “Effect of Compatibilizer Content on the Mechanical Properties of Bioplastic Composites via Hot Melt Extrusion.” *Polymer-plastics technology and engineering* 53.12 (2014)
- [11] Hubbe, Martin A. et al. “Formulating Bioplastic Composites for Biodegradability, Recycling, and Performance: A Review.” *Bioresources* 16.1 (2021)
- [12] Isroi, A Cifriadi, T Panji, Nendyo A Wibowo and K Syamsu. *Bioplastic production from cellulose of oil palm empty fruit bunch*. IOP Publishing (2017).
- [13] Mateus Manabu Abe, Júlia Ribeiro Martins, Paula Bertolino Sanvezzo, João Vitor Macedo, Marcia Cristina Branciforti, Peter Halley, Vagner Roberto Botaro and Michel Brienzo *Advantages and Disadvantages of Bioplastics Production from Starch and Lignocellulosic Components*. (2021)
- [14] Mostafa, S., & Bockisch, F. J. Mechanical Properties of Some Bioplastics Under Different Soil Types for Use as a Biodegradable Drip Tubes. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 12(1), 1–16, (2010).
- [15] Noor Afizah Rosli, Wan Hafizi Wan Ishak, Ishak Ahmad. Eco-friendly high-density polyethylene/amorphous cellulose composites: Environmental and functional value. *Journal of Cleaner Production* (2020)
- [16] Patrik Ahvenainen. Inkeri Kontro, Kirsi Svedstro. Comparison of sample crystallinity determination methods by X-ray diffraction for challenging cellulose I materials. *Springer Science*. (2016)

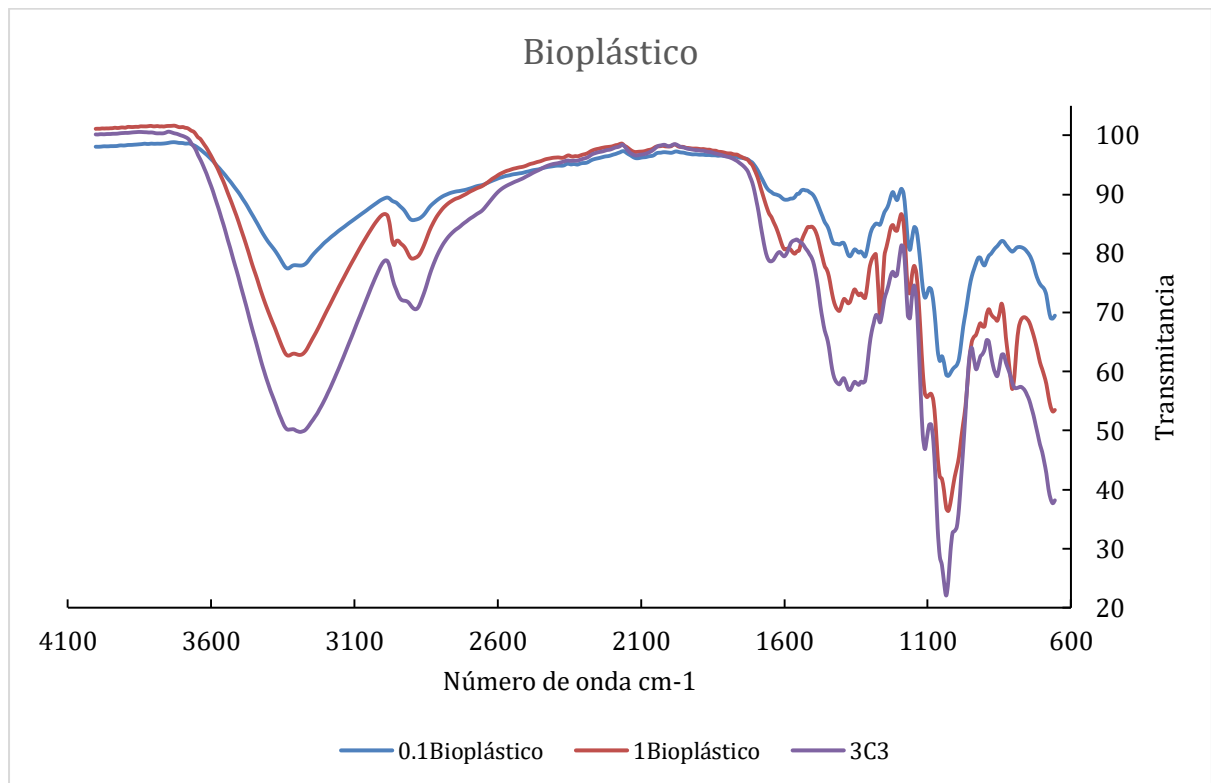
- [17] Rimadani Pratiwi, Driyanti Rahayu, Melisa Intan Barliana. Characterization of Bioplastic from Rice Straw Cellulose. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. (2017)
- [18] Ryder, Kate et al. "Evaluation of Dairy Co-Product Containing Composite Solutions for the Formation of Bioplastic Films." *Journal of polymers and the environment* 28.2 (2020)
- [19] Shiou Xuan Tan, Hwai Chyuan Ong, Andri Andriyan, Steven Lim, Yean Ling Pang, Fitranto Kusumo and Gek Cheng Ngoh. Article Characterization and Parametric Study on Mechanical Properties Enhancement in Biodegradable Chitosan-Reinforced Starch-Based Bioplastic Film. (2022)
- [20] Shiou Xuan Tan, Hwai Chyuan Ong, Andri Andriyana, Steven Lim, Yean Ling Pang, Fitranto Kusumo and Gek Cheng Ngoh. Characterization and Parametric Study on Mechanical Properties Enhancement in Biodegradable Chitosan-Reinforced Starch-Based Bioplastic Film.(2022)
- [21] Tanjung, D.A., R.S. Budi, and M. Paramuji. "ANALYSIS OF DENSITY, BIODEGRADATION, AND MORPHOLOGY OF BIOPLASTIC COMPOSITES." *Rasāyan journal of chemistry* 16.3 (2023)
- [22] Wang,Q(2013). A bioplastic with high strength constructed from a cellulose hydrogel by changing the aggregated structure. RSC Publishing.
- [23] Yang, Jianlei et al. "Preparation and Characterization of Starch-Based Bioplastic Composites with Treated Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibers and Citric Acid." *Cellulose (London)* 28.7 (2021)

**ANEXO A: ANÁLISIS FTIR**

*Figura 12. FTIR Bioplástico 2*

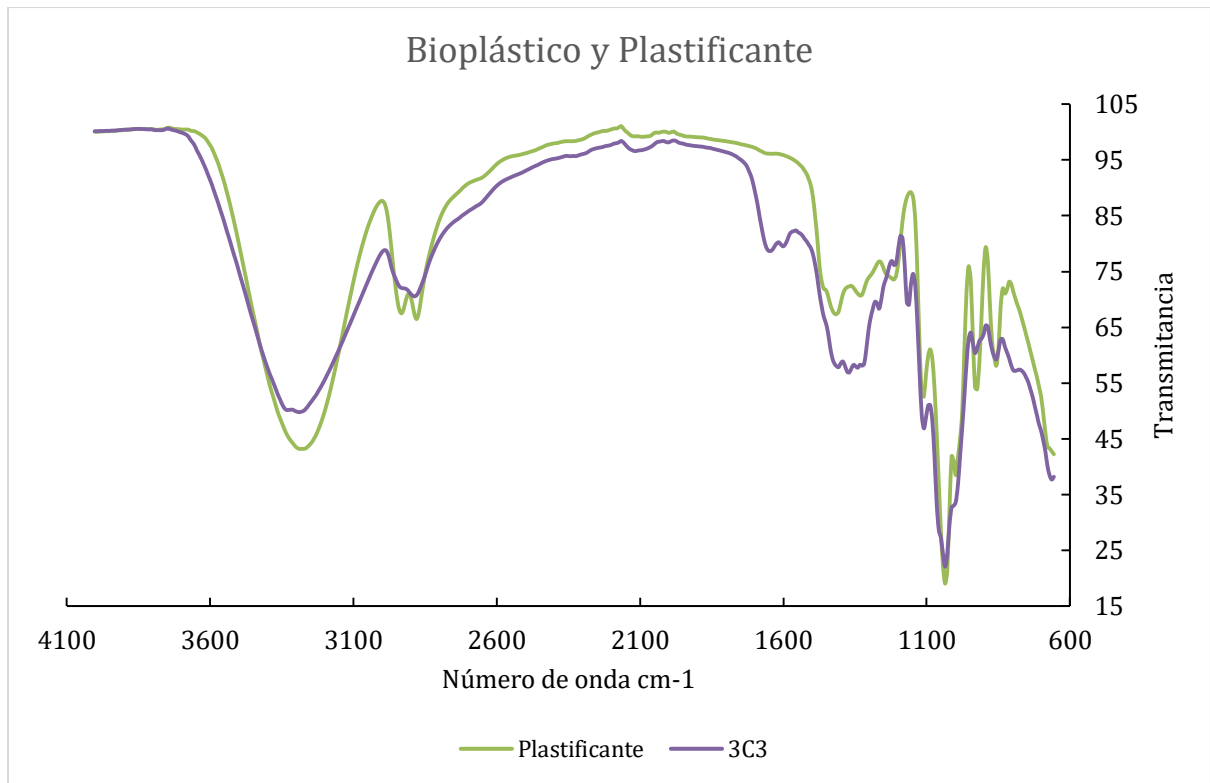


*Figura 13. FTIR Bioplástico 1*



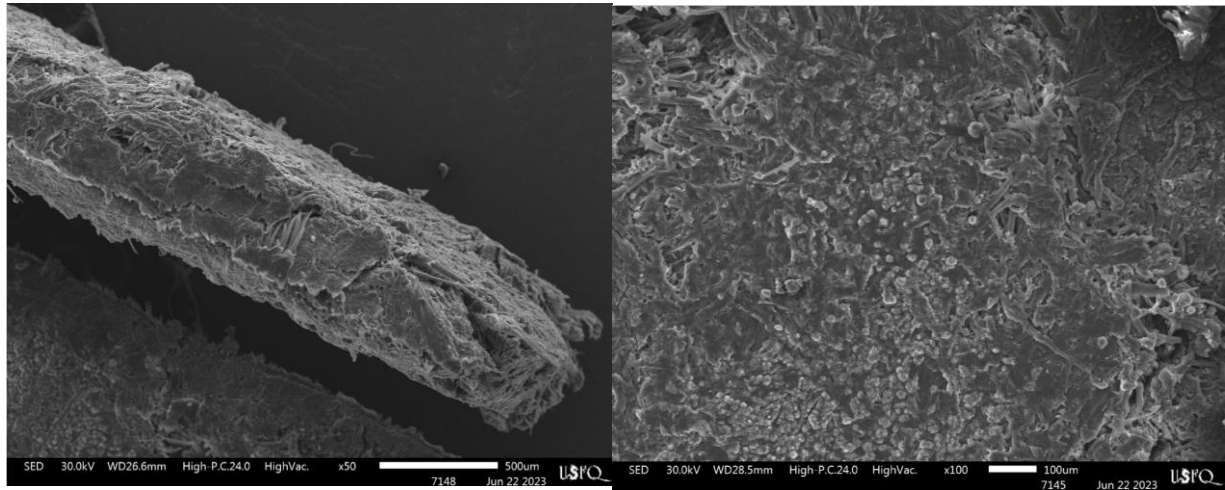
+

*Figura 14. FTIR Bioplástico y Plastificante*

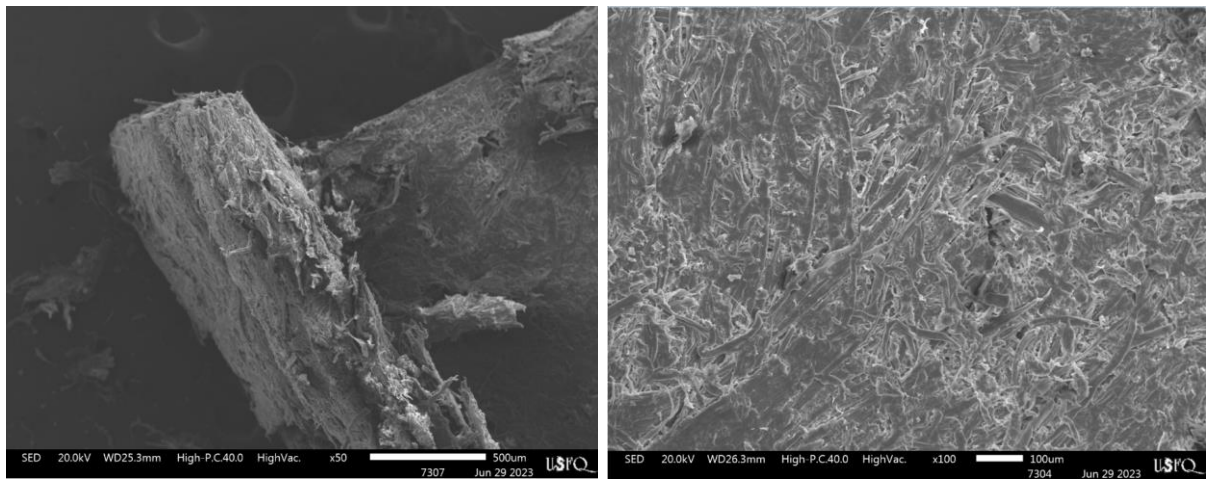


*Figura 15. FTIR Bioplástico 3C3 y plastificante*

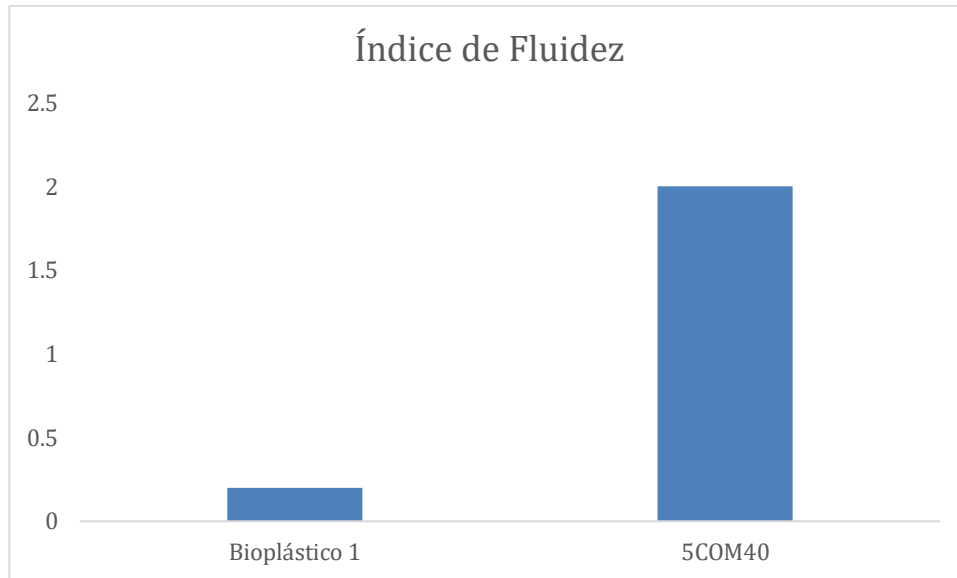


**ANEXO B: ANÁLISIS SEM**

*Figura 16. Análisis SEM bioplástico 2*



*Figura 17. Análisis SEM bioplástico 1*

**ANEXO C: ÍNDICE DE FLUIDEZ**

*Figura 18. Índice de fluidéz composite y bioplástico 1.*