

## **OBTENCIÓN DE ACETATO DE CELULOSA A PARTIR DE COLILLAS DE CIGARRILLO**

**Jorge Braulio Amaya Pinos\*<sup>1</sup>, Cristian Alexis Marín Cajamarca<sup>2</sup>**

- 1) Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador – Calle vieja y Elia Luit .\*Correo electrónico: [jamaya@ups.edu.ec](mailto:jamaya@ups.edu.ec)
- 2) Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador – Calle vieja y Elia Luit. Correo electrónico: [camc1994@outlook.com](mailto:camc1994@outlook.com)

*Recibido: Febrero de 2022; Aceptado: Marzo de 2022*

### **RESUMEN**

Los residuos sólidos son considerados uno de los principales factores de los impactos ambientales, lo que ha llevado a investigar varias metodologías de aprovechamiento de los residuos. Las colillas de cigarrillos son consideradas como un tipo de residuo más comunes en la actualidad, representando alrededor del 45% del contenido total de rellenos sanitarios y botaderos. Con lo citado, se planteó la investigación de obtener un biopolímero a partir de los desechos de las colillas de cigarrillo, que consistió en separar los componentes que son el papel y el algodón (celulosa), para luego realizar un proceso de acetilación de la celulosa para obtener el acetato y comprobándolo mediante espectroscopia FTIR; además se dosificó el papel (acetato de celulosa) con la celulosa acetilada con el objetivo de tener un proceso de acetilación más estable. Posteriormente se elaboró films con diferentes dosificaciones de acetato de celulosa obtenido con almidón, glicerina, alcohol polivinílico y agua caracterizándolo con pruebas físico químicas como la solubilidad, capacidad de absorción y la densidad además con análisis de espectroscopia FTIR. Se logró obtener un biopolímero totalmente estable y soluble en medio ácido y parcialmente en agua, por lo que podemos decir que el biopolímero elaborado tiene características amigables con el medio ambiente.

**Palabras claves:** celulosa, acetato de celulosa, residuos, colillas de cigarrillo

### **ABSTRACT**

The solid waste is considered one of the main factors of environmental impacts, which has led to the investigation of various methodologies for the use of waste. Cigarette butts are considered the most common type of waste on today, representing around 45% of the total content of landfills and dumps. With the aforementioned, the investigation of obtaining a biopolymer from the waste of cigarette butts was proposed, that consisted of separating the components that are paper and cotton (cellulose), and then carry out a process acetylation of the cellulose to obtain the acetate and to verify it by FTIR spectroscopy; In addition, the paper (cellulose acetate) was dosed with acetylated cellulose in order to have a more stable acetylation process. Subsequently, films were made with different dosages of cellulose acetate obtained with starch, glycerin, polyvinyl alcohol and water, characterizing it with physical chemical tests such as solubility, absorption capacity and density, as well as FTIR spectroscopy analysis. A totally stable and soluble in acid medium and partially in water was obtained biopolymer, so we can say that the elaborated biopolymer has friendly characteristics with the environment.

**Palabras claves:** cellulose, cellulose acetate, waste, cigarette butts.

### **INTRODUCCIÓN**

El aumento de la densidad poblacional en las ciudades mantiene una influencia directamente proporcional a la generación de residuos sólidos urbanos, siendo ésta una de las principales problemáticas para las entidades de control y regulación debido a la gestión de suelo destinado para la construcción de rellenos sanitarios y su cada vez menor tiempo de vida útil [2]. La generación de desechos o residuos sólidos ha tomado una gran fuerza en los últimos años debido a la degradación

medioambiental a nivel mundial que producen estos. El incremento de los residuos involucra a la producción, manejo y disposición final de estos residuos generados por la población, por lo que el incremento será proporcional a la densidad poblacional [3]. Según [1], explica que una manera para explotar el potencial de los residuos sólidos es la transformación o conversión química, teniendo en cuenta la viabilidad económica de los procesos a llevar a cabo, y esto debido a que las fuentes de los residuos son diversas y por lo tanto se tendrán diversas materias primas para obtener igualmente diferentes materiales.

Es de poco conocimiento de la población sobre los residuos sólidos no aprovechables, sin embargo, estos residuos son fuente de materia prima importantes y es por ello, que son desechados de una forma y en lugares inadecuados y debido a su lenta descomposición generan impactos ambientales de todo tipo. Uno de los residuos sólidos poco aprovechables son las colillas de cigarrillo. Considerando que la producción de cigarrillos en el mundo es aproximadamente de 6 billones de unidades, de los cuales 4,5 billones no tienen una disposición adecuada por lo que tienen una disposición en los océanos y de todo los residuos desechados a los océanos, las colillas de cigarrillo representan el 13% de su totalidad [4]. Con lo dicho anteriormente, hay que recalcar que uno de los componentes de la colillas de cigarrillo que causa contaminación ambiental, es el acetato de celulosa, ya que conforma una gran parte de la colilla y tarda hasta cien años en degradarse de forma natural [5]. Las colillas de cigarrillo están compuestas en un 95% por algodón (en su mayor parte) y el polímero denominado acetato de celulosa y específicamente este plástico es derivado del petróleo [6].

El acetato de celulosa es comúnmente obtenido a partir de fuente del petróleo, aunque también puede ser obtenido a partir de fuentes naturales y una característica que tiene este polímero es el grado de sustitución, siendo el más común de 2,5 otorgándole una gran solubilidad en disolventes orgánicos y además propiedades referentes a su punto de fusión; siendo por esta razón su uso principal en las colillas de cigarrillo [7]. El acetato de celulosa (AC) es un éster de la celulosa que puede ser obtenido de fuentes naturales o aquellas que contengan celulosa para luego ser modificado por el método de acetilación, siendo este método de gran impacto en la química verde, por lo tanto le otorga propiedades totalmente biodegradables, de baja toxicidad, baja inflamabilidad y de bajo costo [8]. El proceso de acetilación consiste en hacer reaccionar la celulosa con ácido acético y con anhídrido acético como precursor, usando el ácido sulfúrico en altas concentraciones como

catalizador. Esta reacción suele sintetizarse en dos fases, la primera de ella es la acetilación propiamente dicha y luego la hidrolisis acida para producir el grado de sustitución requerida, esto se puede observar en la Figura 1 [9].

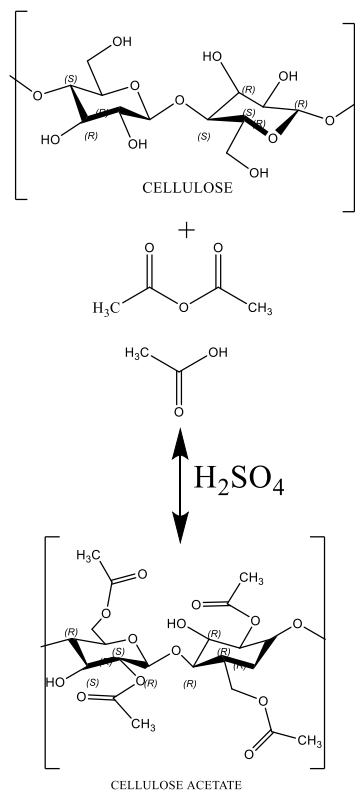


Figura 1. Acetilación de la celulosa.

En la actualidad existen muchos estudios sobre la obtención de acetato de celulosa a partir de fuentes renovables, así como residuos sólidos a escala de laboratorio y todos ellos han tenido un éxito debido a la factibilidad de su proceso. Con lo dicho, es necesario anotar que los residuos sólidos poco aprovechables es una potencial fuente de obtención de celulosa para poder modificarla y obtener biopolímeros a gran escala. Afortunadamente la química verde y la ecoeficiencia están aprovechando estos métodos de obtención de biopolímeros para producir los "productos sostenibles" con el objetivo de sustituir a los plásticos convencionales [10].

En el presente estudio exploratorio tuvo como objetivo modificar el algodón de los filtros de cigarrillo mediante acetilación de celulosa para posteriormente mezclar con el acetato de celulosa del filtro obtenido y verificar sus propiedades físicas químicas principales.

## PARTE EXPERIMENTAL

**Tratamiento de la materia prima. Recolección separación de los componentes de las colillas de cigarrillo.** Para la recolección se instaló recolectores metálicos en los ingresos frontal y posterior de distintos establecimientos, durante un periodo de 90 días y un almacenamiento cada 15 días; se logró receptar una cantidad aproximada de 5 kilogramos de residuos o colillas mezclados entre sus distintos colores y marcas. Posteriormente se procedió a clasificar a las colillas en sus distintas variedades para luego separar los componentes que son: el papel de recubrimiento y las fibras internas que estructuran la parte interna de los filtros.

**Lavado de la materia prima.** Previo al proceso de lavado, en una primera instancia se mantuvo tanto la celulosa como el acetato en agua potable durante un periodo de siete días para luego secarlos, esto se realizó con la finalidad de facilitar la remoción de impurezas propias de la interacción de las colillas con factores climáticos propios de su disposición final. Posterior a ello, se realizó una remoción de los sedimentos remanentes con agua, manteniéndolos en reposo durante 3 días con agitación mecánica constante utilizando un *Turbomixer* GM100 para remover impurezas de carbón y otros. En esta remoción y lavado se configuraron 5 lavados a 300 revoluciones por minuto en un periodo de 5 minutos por lavado en muestras de 900 mL (750 mL de agua potable y 150 mL de muestra), posterior al proceso lavado se evaluó mediante un colorímetro digital *LaMotte* modelo *Smart2* con condiciones normales de temperatura juntamente con agua potable. El agua del lavado sirvió para evidencia la disminución de la turbidez y de esta manera cerciorar la mayor remoción de impurezas en los filtros. En la Tabla 1 se parecía las condiciones con las que se usó el turbidímetro.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del *Colorímetro Lamotte smart2*.

<i>Lectura</i>	<i>4 líneas gráficas, 16 caracteres por línea LCD</i>
Longitudes de onda	430, 520, 570, 620
Precisión de longitud de onda	2 nm
Precisión Fotométrica	0,001 A
Detectores	4 fotodiodos de sílice

Fuente: <http://lamotte.com>

Enseguida se realizó un lavado manual de ambos materiales en agua potable con exposición a una temperatura entre 60 a 70°C y agitación constante. Mediante esta operación se buscó una limpieza mayor y el desprendimiento de materiales sólidos que no son de interés tales como tinta del papel, carbón, impurezas, etc. Basados en el mismo principio se evaluó cada agua

residual de lavado tanto de celulosa como acetato al colorímetro para analizar eficiencia del proceso mediante la reducción del color y reducción de la turbidez del agua residual de lavado.

**Secado de la materia prima.** Se procedió a realizar el secado de las muestras mediante una estufa a una temperatura de 60°C durante un periodo de 48 horas para cada muestra, buscando reducir la cantidad de agua retenida en el lavado.

**Caracterización de la materia prima.** Para la caracterización de la materia prima previamente tratada, se realizó mediante un análisis espectroscópico FTIR individual de cada material, con el objetivo de determinar las regiones en función de la absorbancia en la composición de los materiales, mediante interpretación de los picos más representantes del espectro y proponiendo la hipótesis de composición de los materiales de interés como acetato de celulosa correspondiente al filtro interno de absorción y celulosa del filtro plástico de recubrimiento entre otros componentes como carbón, papel *clipboard* y tinta de papel.

**Filtración y purificación de la materia prima.** La finalidad fue la de incrementar al máximo su grado de pureza y obtener mejores resultados en el proceso de transformación química mediante circulación de un solvente orgánico. Para este proceso de filtración se realizó mediante un equipo de circulación de solvente ideal que no modifique la estructura inicial de los materiales, en este caso etanol al 96% de pureza. Para éste partimos con 48,69 gramos de acetato de celulosa correspondiente al material del filtro interno de absorción caracterizado anteriormente y 10 g de celulosa obtenida del proceso de secado. Posteriormente se realizó la purificación, para lo cual, se eligió una metodología de recirculación de solvente mediante en ensamblaje de un tubo *Soxhlet* a una fuente de enfriamiento mediante recirculación de agua a condiciones normales de temperatura en la parte superior; además de una fuente de calor mediante el instrumento *PRECISBAT* para temperaturas regulables desde 0 hasta 200°C, dosificado en 12 niveles de calor hacia un balón de vidrio de 500 mL. Dentro de cada tubo *Soxhlet* se añadieron 4,5 gramos del acetato de celulosa (filtrado) contenido en un empaque de papel filtro (Véase la Figura 2) y en el balón de vidrio ingreso 250 mL de etanol al 96% de pureza como sustancia disolvente a una temperatura de 160°C.

Se realizaron tres recirculaciones por empaque en tubo *Soxhlet* durante unos 90 minutos. Posteriormente se procedió a retirar los empaques de materia prima de la estructura y a lavar dicho material con agua destilada hasta tener un pH neutro. Finalmente se procedió a realizar el secado de las muestras en una hornilla de calor seco durante 12 horas a una temperatura de 60°C.



Figura 2. Recirculación mediante equipo Soxhlet. Fuente: Los autores.

**Lavado de impurezas y blanqueamiento.** Para el blanqueamiento del acetato de celulosa del filtro se usó hipoclorito de sodio al 5% a una temperatura aproximadamente de 40°C en un vaso de precipitación de 800 mL. Durante un intervalo de 8 minutos y evitando la ebullición del hipoclorito se realizó el blanqueamiento del material acetato y se procedió a secar en una estufa de calor seco durante 12 horas a 60°C.

**Análisis espectroscopia Infrarroja (FTIR).** Mediante el espectrómetro *Thermo Scientific Nicole iS10 FTIR* se procedió a realizar un análisis cualitativo de la muestra, basado en parámetros que involucran la interacción de energía con la materia a una determinada longitud de onda y en consecuencia obtener una banda o espectro que determina la absorción y trasmisión en los principales grupos funcionales de la muestra.

**Caracterización físico química.** En esta caracterización se analizaron los principales parámetros tales como: solubilidad, la densidad y capacidad de absorción de agua.

**Solubilidad.** Para la determinación de este parámetro nos basamos conceptos analíticos de laboratorio, en las cuales especifica un análisis en la exposición de la muestra a distintos solidos a sustancias de características acidas, básicas y neutras; durante un tiempo determinado y mediante observación de la presencia de homogeneidad o no en las fases de conformación. Mediante este concepto se estableció diferentes medios para analizar la solubilidad tanto de la celulosa como del acetato de celulosa. En este ensayo se realizó la inmersión en dos medios ácidos (ácido sulfúrico al 90% frío y dimetilcetona a condiciones normales de temperatura), un medio básico (hidróxido de sodio al 5%), y un medio con un pH en un intervalo de 6,5–8 como el agua potable. En la siguiente tabla se enuncia las dosificaciones para las pruebas de solubilidad.

Tabla 2. Dosificaciones de pruebas de solubilidad.

ACETATO DE CELULOSA		CELULOSA	
Cantidad de AC	Disolvente	Cantidad de AC	Disolvente
1 g	5 mL de agua	1 g	5 mL de agua
1 g	5 mL de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (90%)	1 g	5 mL de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (90%)
1 g	5 mL de NaOH (75%)	1 g	5 mL de NaOH (75%)
1 g	5 mL de Dimetilcetona (80%)	1 g	5 mL de Dimetilcetona (80%)

**Densidad.** Para la determinación de la densidad de los sólidos analizados nos basamos en el principio de *Arquímedes*, el cual enuncia que “el volumen ejercido por un cuerpo sólido representa el mismo volumen al estar inmerso en el líquido con un volumen conocido”. Se puede establecer la en la siguiente relación (ecuación 1) en función a la densidad del líquido de inmersión.

$$Densidad = \frac{masa}{Volumen\ final - Volumen\ inicial} \quad [1]$$

Se realizó en una probeta de 100 mL con un volumen conocido de 70 mililitros de agua. Posteriormente se introdujo una masa de 5 gramos de cada solido durante 1 hora y se analizaron los resultados.

**Capacidad de absorción de agua.** Para la determinación de este parámetro físico se consideró la relación que existe en el diferencial del peso seco de una muestra (tanto de acetato como de celulosa), y el peso de la muestra saturada de agua, la cual se establece dicha relación en la ecuación [2]:

$$\% Absorción\ de\ agua = \frac{Peso\ saturado\ de\ la\ muestra - Peso\ seco\ de\ la\ muestra}{Peso\ seco\ de\ la\ muestra} \cdot 100 \quad [2]$$

**Acetilación química.** Para realizar el proceso de acetilación de celulosa de los filtros de los cigarrillos se eligió el método de acetilación según *Fisher-Speier* (1895) como el método más adecuado para dicho procedimiento químico experimental el cual consiste en incorporación de un grupo acetilo en presencia de un catalizador ácido [11].

Se procedió a sumergir 3 gramos de celulosa con 45 mL de ácido acético al 96% de pureza, manteniendo una agitación constante hasta alcanzar una temperatura de 38° C y mantener



estable por una hora, posteriormente se añadió 76 mL de ácido acético y 0,2 mL de ácido sulfúrico concentrado, manteniendo temperatura y agitación por 45 minutos más. Luego de este periodo de tiempo se realizó choque térmico al generar un cambio de temperatura, sumergiendo la muestra en un baño de hielo hasta alcanzar una temperatura de 17°C, se adicionó, luego de esto, 50 mL de anhídrido acético y llevamos la mezcla hasta los 32°C y agitar por una hora. Finalmente agregamos una solución de 36 mL de agua y 64 mL de ácido acético, y llevamos a una temperatura máxima de 38°C por el lapso de una hora. Una vez terminado el periodo de 5 horas de reacción se filtró mediante una bomba al vacío con un lavado constante con agua destilada, buscando neutralizar el pH del excedente y eliminar el olor del ácido acético. Posteriormente se secó en temperatura ambiente durante 2 horas para luego realizar su secado en estufa de calor seco durante 24 horas.

Finalmente, se eligió un solvente que no modifique las propiedades de la celulosa, en este caso el cloroformo con la finalidad de separar la fase de extracción, mediante este nos permitió extraer la fase de acetato de celulosa sintetizado en el proceso de acetilación. Durante 1 hora se realizó la disolución del material en 150 mL en cloroformo con agitación constante y se filtró al vacío para luego dejar evaporar a temperatura ambiente durante 24 horas. Posterior al proceso de extracción de la celulosa acetilada, se realizó una última caracterización espectrofotométrica con el fin de validar la acetilación química realizada partiendo de un producto inicial como la celulosa y terminando un proceso de transformación de dicho material hasta acetato de celulosa.

*Dosificación de componentes y formación de películas poliméricas.* Para la elaboración del polímero plástico se definió los diferentes compuestos que facilitarían la conformación de las películas tales como: agentes plastificantes, reticulantes y poliméricos macromoleculares, dentro de los cuales se eligieron elementos plastificantes al almidón de yuca, alcohol polivinílico y glicerina con diferentes concentraciones con el objetivo de evaluar la mejor película polimérica formada con los elementos según las características que brindan tales como: flexibilidad, resistencia y espesor de cada placa dosificada (ver Tabla 2), además de la temperatura de fusión y secado, indispensables en la conformación de placas plásticas biodegradables.

Con el material acetilado seco fue triturado y filtrado en un tamiz de 2 mm, y se procedió a realizar la mezcla de los componentes: agua destilada, alcohol polivinílico, glicerina y acetato de celulosa variando a diferentes dosificaciones con agitación constante mediante un mecanismo de agitador magnético y a una temperatura de 80°C. Una vez alcanzada dicha



temperatura (cercana a la ebullición), se retiró el material conformado y se colocó en moldes plásticos con la finalidad de formar una placa de espesor uniforme; se dejó secar en una estufa a una temperatura de 35°C por un lapso de 48 horas para posteriormente analizar sus propiedades como resistencia y alongamiento.

Tabla 3. Dosificación de elementos plastificantes con acetato de celulosa.

ELEMENTO	PRUEBA N°1	PRUEBA N°2	PRUEBA N°3	PRUEBA N°4	PRUEBA N°5	PRUEBA N°6
Acetato de Celulosa	0,25 g	0,5 g	0,75 g	0,5 g	0,75 g	1 g
Almidón de yuca	0,25 g	0,25g	0,5 g	1 g	1 g	1 g
Glicerina	0,2 mL	0,2 mL	0,3 mL	0,4 mL	0,4 mL	0,4 mL
Alcohol Polivinílico	0,2 mL	0,2 mL	0,3 mL	0,4 mL	0,4 mL	0,4 mL
Agua destilada	20 mL	20 mL	20 mL	20 mL	20 mL	20 mL

**Caracterización físico química de las películas poliméricas.** Durante esta etapa se realizaron las pruebas físico-químicas para determinar características de los materiales obtenidos, tales como: Solubilidad, Densidad y Capacidad de Absorción de Agua bajo procedimientos establecidos en técnicas analíticas de laboratorio.

**Solubilidad de las películas poliméricas.** La determinación de este parámetro es muy similar a los ensayos realizados para la solubilidad del acetato de celulosa formado con consistió en la exposición de 1 gramo de nuestra placa conformada en presencia de compuestos con características acidas, básicas y neutras; a temperatura ambiente de 18°C y sin mecanismo de agitación, se procede mediante observación de la presencia o ausencia de homogeneidad en las fases de conformación, para establecer a la nuestra muestra como soluble o insoluble en un medio durante un periodo de 24 horas. Para en análisis de solubilidad de la película de acetato sintetizado se realizaron análisis en diferentes medios tales como: Ácido sulfúrico al 90% frío, dimetilcetona al 90% a condiciones normales de temperatura, hidróxido de sodio al 5% y agua potable; esto se detalla en la Tabla 4

Tabla 4. Pruebas de solubilidad en diferentes disolventes.

PELICULA BIOPLASTICA	
Cantidad	Disolvente

0,2 g	5 mL de agua
0,2 g	5 mL de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (90%)
0,2 g	5 ml de NaOH (75%)
0,2 g	5 mL de Dimetilcetona (80%)

**Densidad de las películas poliméricas.** Para la determinación de este parámetro se usó el mismo procedimiento que para la determinación del acetato de celulosa formado y usando la ecuación [1] para apalazar sus resultados con la diferencia que se usó 1 gramo de la película polimérica formada.

**Capacidad de absorción de agua de las películas poliméricas.** Para la determinación de este parámetro se procedió a realizar de la misma manera que tomando un gramo de película polimérica formada y aplicando la ecuación [2].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Tratamiento de la materia prima. Separación de los componentes.** En la separación de los componentes estructurales de las colillas de cigarrillos se aisló los tres compuestos identificados previamente por la información brindada por la industria tabacalera tales como: el acetato de celulosa correspondiente a la parte interior del filtro, la celulosa como para sección de características similares al papel cuya función es la conformación del filtro y sus componentes; y el carbón ubicado en la parte interior del acetato, responsable de la filtración de impurezas propias del proceso de combustión del tabaco (ver Figura 3).



Figura 3. Separación de componentes de filtros de cigarrillos

**Lavado de la materia prima.** Las muestras fueron sometidas a un proceso de hidratación durante un período determinado de días, tal y como se detalla en un apartado 2 posterior

a este proceso, se evaluó la eficiencia del mismo mediante un análisis del agua residual de cada lavado usando el colorímetro contrarrestando coeficientes de color y turbidez, tal como se expresa en la Tabla 3.

*Tabla 5. Análisis de Colorimetría en agua residual de lavado filtros de tabaco*

<b>Nº LAVADAS</b>	<b>COEFICIENTE AL COLORIMETRO</b>
1	260
2	183
3	120
4	93
5	90

La presencia de gran cantidad de sólidos suspendidos en el agua nos brindó un panorama que permitió optimizar este proceso de lavado, por lo cual se optó por implementar calor controlado al proceso de lavado (75°C), donde obtuvimos los siguientes resultados luego de seis lavados analizados en el colorímetro digital, estos resultados se aprecian en la Tabla 4.

*Tabla 6. Análisis Colorímetro N°2 en agua residual de lavado de filtros con agua caliente.*

<b>N.º LAVADA</b>	<b>COEFICIENTE AL COLORIMETRO</b>
<b>1</b>	372
<b>2</b>	191
<b>3</b>	84
<b>4</b>	71
<b>5</b>	56
<b>6</b>	54

Mediante un análisis comparativo entre ambos procesos de limpieza en nuestra materia prima, en función de datos cuantitativos ofrecidos por un colorímetro digital expresados en las Tablas 3 y 4, podemos apreciar que la intervención de movimiento rotatorio y altas temperaturas cercanas a la ebullición del agua como medio acuoso, infiere directamente en la remoción efectiva de impurezas del filtro de acetato al ofrecer lecturas más altas de sólidos suspendidos en el agua en

la segunda prueba con agitador magnético y la presencia de alta temperaturas. Posterior a ello se secó el material, tal como se detalló antes, obteniendo así el acetato de celulosa y la celulosa seca (ver Figura 4).



Figura 4. (a) acetato de celulosa seco y (b) celulosa seca.

**Caracterización de la materia prima.** Mediante espectroscopia FTIR se pudo validar los componentes de los materiales obtenidos en el proceso anterior; en la Figura 5 se aprecia el espectro IR del acetato de celulosa. En dicha gráfica que puede observarse que la banda correspondiente a  $1.734\text{ cm}^{-1}$  corresponde al estiramiento del grupo carbonilo ( $\text{C} = \text{O}$ ) correspondiente al grupo éster, además de apreciar dos señales en  $1.430$  y  $1.365\text{ cm}^{-1}$  que corresponden a la torsión del grupo carboxilo, así como en  $2.918\text{ cm}^{-1}$  se aprecia el estiramiento del grupo hidroxilo ( $\text{OH}$ ). Seguidamente en la figura 6 se observa el espectro FTIR de la celulosa, donde presenta una señal alrededor de  $3.300\text{ cm}^{-1}$  correspondiente a las vibraciones por tensión del grupo hidroxilo ( $\text{OH}$ ), además se observa la señal alrededor de  $2.900\text{ cm}^{-1}$  referente a la vibración por estiramiento del enlace  $\text{C} - \text{H}$ , de igual manera alrededor de  $1.700\text{ cm}^{-1}$  corresponde al estiramiento del grupo carbonilo ( $\text{C} = \text{O}$ ), lo que nos lleva a concluir que hace referencia a la celulosa.

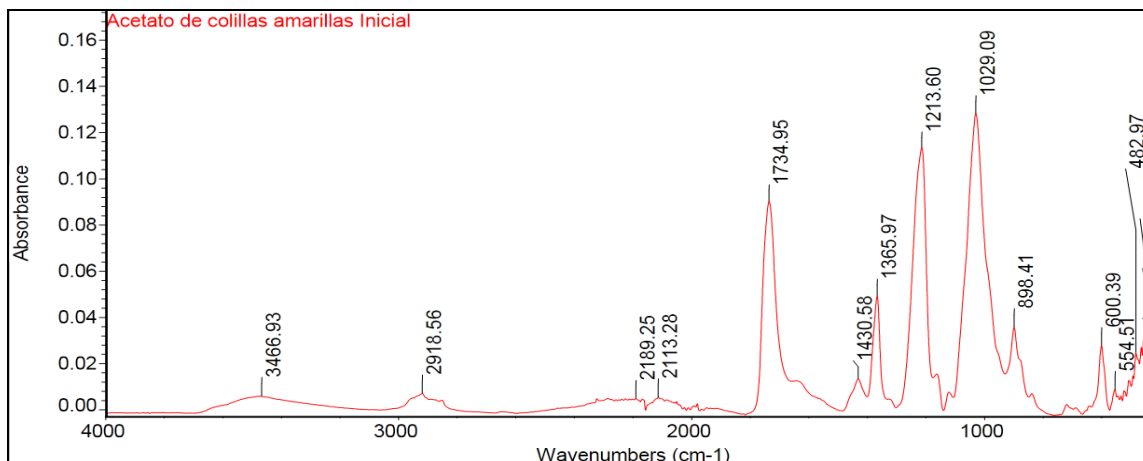


Figura 5. Espectro FTIR del acetato de celulosa de las muestras de colillas amarillas.

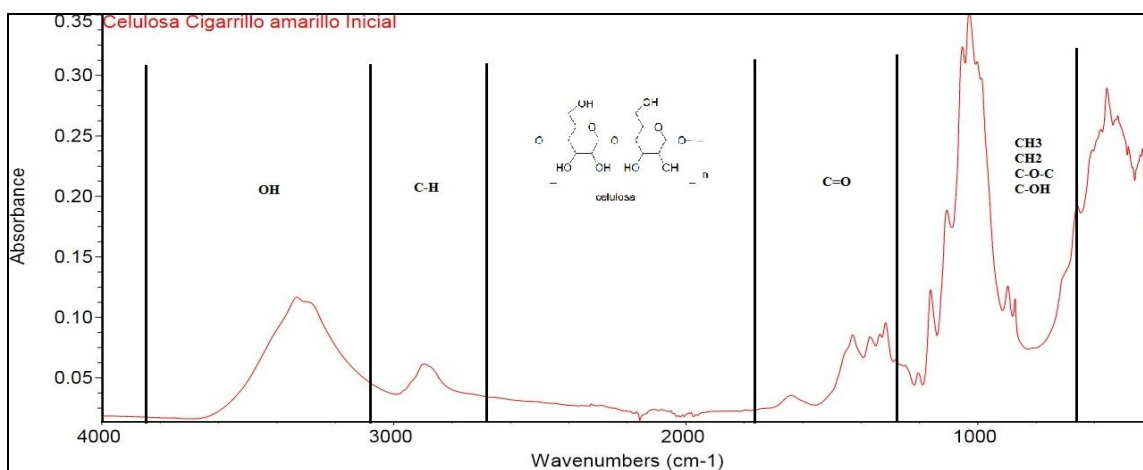


Figura 6. Espectro FTIR de la celulosa de las muestras de colillas amarillas.

**Purificación de la materia prima.** Durante el proceso de lavado se evidenció la dilución de las partículas de carbono que aún se encontraban presentes en el interior de los filtros al incrementar la turbidez del solvente luego de dichas filtraciones. Para evidenciar la disminución de la turbidez se realizó un análisis de efluentes al colorímetro, en el cual mediante cada recirculación se redujo la turbidez del agua residual de cada celda. En la Tabla 7 se aprecia los coeficientes colorimétricos para cada reflujo aplicado.

En la Tabla 5 se aprecia una disminución del coeficiente colorimétrico en la recirculación número cuatro; lo que nos indica el desprendimiento de las estructuras de carbón activado presentes entre las fibras de acetato, siendo el proceso de purificación eficiente. Posteriormente a esta recirculación, se procedió a realizar el blanqueamiento y el secado.

Tabla 7. Análisis de Colorimetría para las recirculaciones en Soxhlet.

Nº de Recirculación	Coefficiente al Colorímetro Digital
1	389
2	306
3	250
4	206

**Caracterización físico química de la materia prima purificada.** Se realizaron las respectivas pruebas de solubilidad, densidad y capacidad de absorción de la celulosa, así como del acetato de celulosa siguiendo los procedimientos citados anteriormente. Los respectivos resultados se muestran en las Tablas 7 y 8.

Tabla 8 Resultados de los ensayos de solubilidad.

<i>SOLUBILIDAD</i>			
<i>ACETATO DE CELULOSA</i>		<i>CELULOSA</i>	
<i>MEDIO</i>	<i>SOLUBILIDAD</i>	<i>MEDIO</i>	<i>SOLUBILIDAD</i>
Agua	Insoluble	Agua	Insoluble
Ácido sulfúrico concentrado	Soluble	Ácido sulfúrico concentrado	Soluble
Dimetil Cetona	Insoluble	Dimetil Cetona	Insoluble
Hidróxido de Sodio	Insoluble	Hidróxido de Sodio	Soluble

Tabla 9. Densidad y capacidad de absorción de agua.

<i>DENSIDAD</i>		<i>CAPACIDA DE ABSORCION</i>	
<i>ACETATO DE CELULOSA</i>	<i>CELULOSA</i>	<i>ACETATO DE CELULOSA</i>	<i>CELULOSA</i>
0,75 g/mL	1,25 g/mL	7,58%	4,58%

**Acetilación de la celulosa.** Inicialmente, se logró acetilar a la celulosa purificada con una mezcla de ácido sulfúrico y ácido acético, desplazando los radicales internos de los grupos carboxilo previo a su sustitución. Para en una posterior fase se realizó la reacción de sustitución del grupo hidroxilo por el grupo acetilo, brindando nuevas características visibles en el material, presentando un carácter hidrófobo y de apariencia cristalina propio de esta reacción.

Finalmente se logró extraer el material acetilado mediante el cloroformo como solvente orgánico que no altera la estructura de nuestro material. Posteriormente, el acetato producido se sometió a secado en la estufa para posteriormente se triturado a un tamaño de 2 milímetros de granulometría. Uno de los factores que se han estudiado según [12] es la pureza de la celulosa que será acetilada, es decir, mientras más pura es la celulosa, la reacción de acetilación será más eficiente y por lo tanto, las propiedades físicas son mejores, tal es el caso de su dureza.

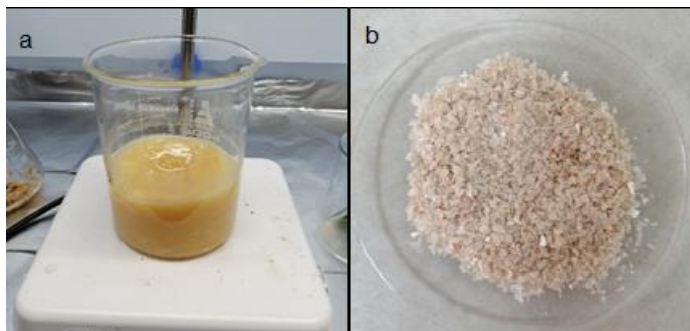


Figura 7. (a) Acetilación de la celulosa y (b) acetato de celulosa triturado

A diferencia de otros métodos de transformación, *Fisher* utiliza como agente el anhídrido acético, el cual tiene como objetivo obtener un mayor grado de sustitución y acelerar la reacción principal de acetilación, sin embargo, hay que considerar que el grado de sustitución también es un indicio del grado de degradabilidad que tendrá el biopolímero *Wittcoff* (2008).

**Análisis de espectroscopia FTIR del acetato de celulosa obtenido.** Fundamentados en un análisis espectroscópico de identificación de picos espectrales comparativos con la muestra estándar de acetato de celulosa; se validó el proceso de acetilación mediante una cuantificación de coincidencias espectrales del estándar con la nueva estructura o componente acetato de celulosa, reflejando un proceso exitoso de transformación química. También se pudo comparar con la celulosa sin acetilar con el objetivo de evidenciar la inclusión de los grupos carbonilos en la estructura.

En la Figura 8 se aprecia una comparación del acetato de celulosa estándar con la muestra obtenida; se puede evidencia que la señal correspondiente a  $1.700\text{ cm}^{-1}$  pertenece a la vibración del grupo carbonilo y además la banda alrededor de  $930\text{ cm}^{-1}$  corresponde al doblaje fuera del plano del grupo OH, así como en  $1.400\text{ cm}^{-1}$  se puede aducir que el doblaje en el plano de COH. En comparación con el espectro de la celulosa (ver Figura 6) se aprecia que se ha producido la



formación del grupo carbonilo en la banda alrededor de  $1.700\text{ cm}^{-1}$  por lo que se puede concluir que el proceso de acetilación ha sido eficiente.

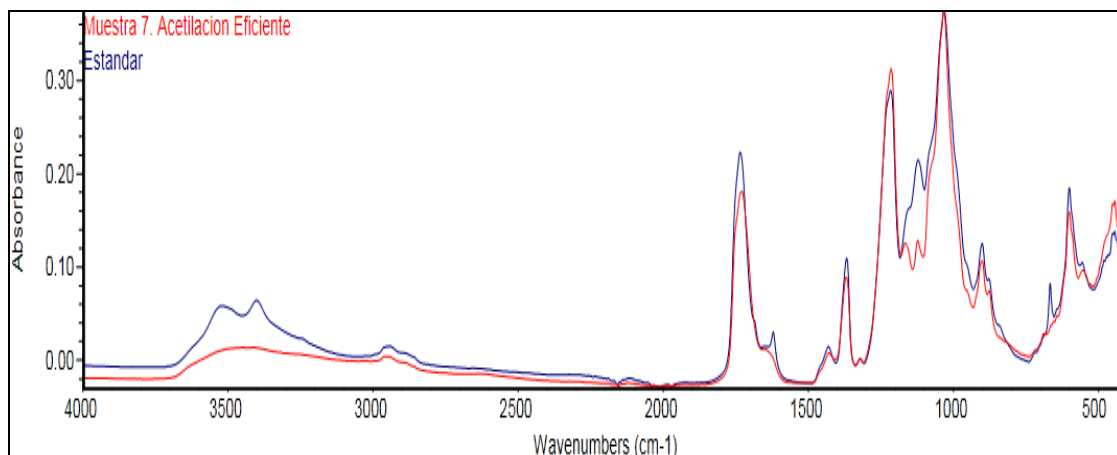


Figura 8. Espectro FTIR del acetato de celulosa obtenido vs el estándar.

**Formación de películas plásticas.** Se realizaron las dosificaciones indicadas en la Tabla 3 y las placas que presentaron mejores cualidades pensando en la elaboración de la película del polímero fueron las de las pruebas No.4 y No.5, en las cuales se presenta la conformación homogénea en el espesor y gran resistencia ante la ruptura al ejercer una fuerza manual apreciable de manera visual. Con estos antecedentes elegimos la dosificación de la prueba No. 5 debido a ser la de mayor concentración de uso del polímero acetato de celulosa para la replicación en las películas plásticas.

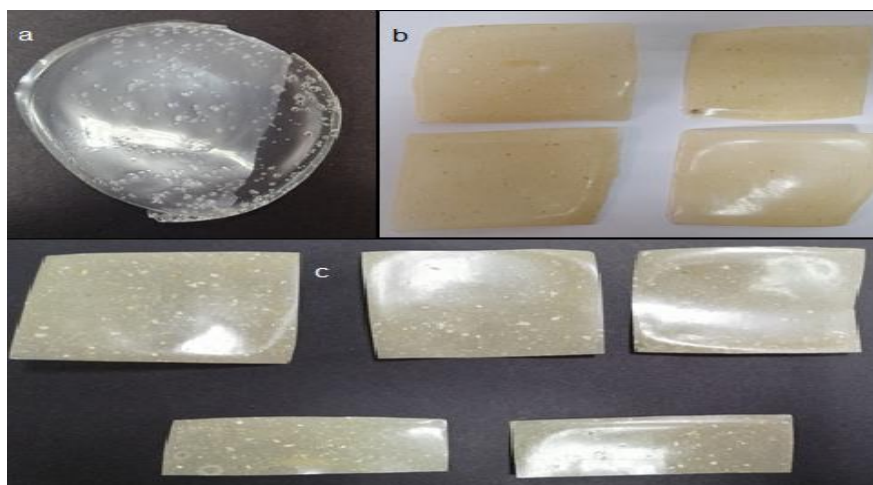


Figura 9. Películas poliméricas: (a)acetato de celulosa sin dosificar, (b)acetato de celulosa en diferentes concentraciones, (c) acetato de celulosa dosificado con la mejor dosificación.

En la Figura 9 se aprecia las películas de acetato de celulosa formadas; en la Figura a, se observa la película, pero sin dosificar con el acetato de celulosa, en la Figura b, son las películas bioplásticas con diversas concentraciones de acetato de celulosa y en la Figura c, muestras las películas bioplásticas con las concentraciones ideales que fue la número 5 (ver Tabla 3)

**Caracterización de las placas bioplásticas.** Se realizaron la caracterización físico-química de las películas bioplásticas formadas y con la mejor dosificación; las pruebas que se realizaron fueron: solubilidad, densidad y capacidad de absorción del agua.

**Solubilidad.** Se realizaron las diferentes pruebas de solubilidad según lo establecido en la Tabla 4, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados de pruebas de solubilidad en diferentes disolventes.

DISOLVENTE	RESULTADO
Agua	Ligeramente Soluble
Ácido sulfúrico concentrado	Soluble
Dimetilcetona	Insoluble
Hidróxido de Sodio	Insoluble

Podemos concluir que debido a la naturaleza que posee el almidón, permite la inclusión de las moléculas de agua en la estructura de la aleación de polímeros, permitiendo su disolución en agua en un lapso de 48 horas.

**Densidad.** Usando la ecuación [1], se obtuvo que la densidad de la película bioplástica fue de 0,75 mg/mL, este resultado se puede explicar que conforme se añaden elementos plastificantes como la glicerina, el alcohol polivinílico y el almidón existirá una reducción de la densidad en comparación con la densidad inicial de la celulosa que fue de 1,25 mg/mL, razón por la cual podemos concluir la nueva condición de dichas placas como solubles en medio ácido y acuoso.

**Capacidad de absorción de agua.** Empleando la ecuación [2] se obtuvo un resultado de 5,30%; se observa una todavía alta capacidad de absorción del polímero plástico en comparación con el valor de la celulosa que fue de 4,58%, lo que indica un gran potencial de absorción y por consecuencia de degradación en medio acuoso. Después de 24 horas de absorción de agua en la

muestra se observó una uniformidad en la estructura en la placa, aunque un ligero aspecto de disolución debido a su nueva conformación de plastificantes orgánicos solubles en agua.

### **CONCLUSIONES**

Como consecuencia del análisis de las estructuras que conforman estos residuos, se pudo demostrar que dichos filtros están compuestos principalmente por polímeros de acetato de celulosa en un porcentaje del 95% en su parte interior y celulosa como el principal componente de su recubrimiento exterior.

El método más eficaz para eliminar impurezas dentro de las fibras de interés fue mediante una recirculación de un solvente orgánico como el etanol, el mismo favoreció el desprendimiento de los gránulos de carbón del filtro, obteniendo así un acetato de celulosa con concentraciones de pureza cercanas al 90%, y esto ayudó a tener mejores características fisicoquímicas de la película polimérica. A lo citado anteriormente podemos añadir que la pureza de la celulosa ayuda a que la mezcla con el acetato de celulosa, que es el papel, sea más efectiva y esto se puede demostrar en el espectro IR de la celulosa acetilada, donde se observa la banda de  $1.734\text{ cm}^{-1}$  el pico correspondiente al grupo carbonilo.

Para obtener acetato de celulosa se manejó de una manera puntual diferentes parámetros con el fin de obtener la acetilación esperada. Partiendo desde el proceso de hidrolisis mediante el cual comienza la interacción de grupos funcionales en la estructura de la celulosa obtenida, hasta culminar con la sustitución del grupo OH por el grupo COOH mediante la reacción del anhídrido acético, finalizamos evidenciando una acetilación completa y homogénea mediante un análisis de espectroscopia FTIR, concluyendo que los parámetros de control dentro de la acetilación fueron los adecuados, favoreciendo directamente el resultante de la acetilación química. Para esto, se determinó que el tiempo óptimo de la reacción es alrededor de 6 horas divididas en 2 etapas de acetilación; en función de múltiples pruebas adaptadas a la naturaleza de nuestra materia prima buscando una máxima eficiencia del proceso, obteniendo mediante éste el polímero acetato de celulosa con un nivel de pureza superior al 90% en todas las pruebas, ideal para ser incorporado dentro de estructuras sintéticas compuestas por polímeros tales como polipropileno, poliestireno o polietileno industrial.

En relación a lo antes expuesto, se deduce que la incorporación de nuestro polímero acetato dentro de una estructura conformada por agentes plastificantes como el almidón y alcohol

polivinílico, mejora notablemente sus características de resistencia a la abrasión, deformación, alargamiento, basados en análisis físico químicos como degradación mediante solubilidad, densidad y flexibilidad.

**Agradecimientos.** La presente investigación se realizó con el apoyo del grupo *GIVABI* de la *Universidad Politécnica Salesiana* sede Cuenca en el proyecto “Obtención de polímeros biodegradables”.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ruiz Karla “Optimización del proceso etanosolv para la obtención de celulosa biomásica y valoración de diferentes rutas de acetilación del material,” Chihuahua, 2018
- [2] Alejandro Fernández Colomina I “La gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el desarrollo sostenible local”, *Revista Cubana de Química*, XVII (3), 35 (2005)
- [3] Ávila SL, Nieto MS, Jiménez DC, Osorio JC “Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas.” 2011
- [4] Puma PJ, Valenzuela Tamayo LM. “Elaboración de papel artesanal a partir de filtros de cigarrillo degradados por *Pleurotus ostreatus*”, Lima 2020,” *Repos. Inst. – UCV*, 2020, Accessed: Feb. 08, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/62206>.
- [5] Pinzón JSM, Moyano ID, Chaparro JP “Uso integral de colillas de cigarrillo con fines ambientales y comerciales. Proyecto piloto en la facultad del medio ambiente de la Universidad Distrital Francisco José de CALDAS”, *Boletín Semillas Ambient.*, **11(1)**, 72 (2017). Accessed: Feb. 08, 2022. [Online]. Available: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/12234>
- [6] Lee M, Kim GP, Don Song H, Park S, Yi J “Preparation of energy storage material derived from a used cigarette filter for a supercapacitor electrode”, *Nanotechnology*, **25(34)**, 2014; doi: 10.1088/0957-4484/25/34/345601
- [7] Puls J, Wilson SA, Höltel D “Degradation of Cellulose Acetate-Based Materials: A Review,” *J. Polymers and the Environment*, **19(1)**.152 (2011); doi: 10.1007/s10924-010-0258-0
- [8] Ortega GS, Rodríguez AE “Síntesis de acetato de celulosa y rayón a partir de residuos agroindustriales del cultivo y procesamiento de piña” *Rev. Teinova*, **3**, 22 (2018), Accessed: Feb. 08, 2022. [Online]. Available: <http://revistas.sena.edu.co/index.php/CDITI/article/view/2355>
- [9] Carreño Solly ML “Obtención de acetato de celulosa a partir de residuos celulósicos postconsumo,” Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2005
- [10] Manjarrez L “Síntesis de membranas nanocompuestas a partir de derivados esterificados de lignina en triacetato de celulosa” Gobierno de Mexico, Mexico, 2016
- [11] Monopoli VD “Síntesis ambientalmente compatible de 2-etil-1-hexil acetato y p-metoxi acetofenona catalizada porheteropoliácidos Keggin inmovilizados en soportes no convencionales,” Universidad Nacional de la Plata, 2012
- [12] Pereira Miguel PKRJ “Efecto del contenido de lignina sobre la acetilación de aserrín de madera de pino radiata”, *III Congreso Latinoamericano sobre Biorrefinerías*. Pucón – Chile, 2012, Accessed: Feb. 17, 2022. Available: <https://www.biorrefinerias.cl/wp-content/uploads/2017/12/Miguel-Pereira-Efecto-del-contenido-de-lignina-sobre-la-acetilación-de-aserrín-de-madera-de-pino-radiata.pdf>.