



**Tecnológico de Estudios Superiores de
Coacalco.**

INGENIERÍA QUÍMICA.

**“OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE LOS
DESECHOS ORGÁNICOS DE LOS PÉTALOS DE FLORES”**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

P R E S E N T A:

**CASTILLO MARTÍNEZ ADRIANA
SANTAMARIA CORONADO MARIA FERNANDA**

ASESOR DE PROYECTO: I.B.Q. MA. DEL CARMEN DOMÍNGUEZ REYES



ESTADO DE MEXICO, COACALCO DE BERRIOZÁBAL.

AGOSTO 2024

AGRADECIMIENTOS

Adriana.

A la vida que se me otorgo, pues siempre me guía hacía el camino en el que debo estar.

A mis padres, hermano, abuelo y padrinos porque sin su apoyo y confianza nada de esto sería posible, en especial a mi madre por siempre rezar por nosotros.

A mi familia de los cuales siempre he recibido apoyo, a mis amigos que se han convertido en parte de mi familia.

A mi compañero de vida que me ha dado en todo momento su mano para seguir adelante, gracias por tanto.

A la Ing. Ma. Del Carmen por acompañarme, darme su tiempo y su guía desde el inicio de este proyecto.

A mi compañera de proyecto Fernanda porque siempre encontré un refuerzo y amistad en ella.

Al TESCO que se convirtió en nuestra segunda casa, sus instalaciones albergaron un sueño.

Fernanda.

A Dios por guiarme, brindarnos salud y fortaleza.

A mis padres por su apoyo, amor y confianza, que me ayudaron en la culminación de mis estudios y su guía que me brindan gracias por siempre estar cuando más lo he necesitado y nunca dejarme sola, por motivarme siempre ante cualquier situación tan complicada que puede ser y darme ánimos en todo momento.

A mi asesora de proyecto la I.B.Q. Ma. Del Carmen Domínguez Reyes, por su dirección, apoyo y confianza, gracias por su tiempo, consejos para la elaboración de este trabajo.

A mi compañera de proyecto Adriana por dejarme formar parte de esto y ser una gran amiga con la cual puedo contar y confiar.

A mis amigos que estuvieron ahí para impulsarme a seguir adelante, por sus consejos y regaños, por no dejarme dar por vencida y siempre motivarme a dar más y seguir ante cualquier situación.

A mi mejor amigo y compañero por siempre estar presente en todo momento fuera malo o bueno, por limpiar mis lágrimas y provocar mis alegrías, por estar dispuesto a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, en donde su compañía y cariño me fortalecían para seguir adelante.

Al Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco que fue nuestra segunda casa, donde viví mi formación como profesionista.

Gracias.

RESUMEN

El uso comercial de la celulosa es muy variado, siendo principalmente la producción de papel. El presente trabajo se centró en el estudio del uso de residuos de flores, específicamente las hojas y pétalos para la obtención de celulosa.

De acuerdo con la literatura estudiada, se puede extraer pasta de celulosa de distintos desechos orgánicos, como lo logrado en los estudios de Juan Enrique Valdivieso V. (2020) quien diseñó un proceso para la elaboración de papel a partir de la celulosa extraída del olote de maíz (*Zea mays* L. var. Ceratina) o Velasco Rosas Lidia Selene, Estrada Flores Miriam y Reza San Germán Carmen Magdalena (2020) quienes obtuvieron celulosa a base de plantas que crecen alrededor de las aguas de canal, lo cual permite presentar a estos desechos orgánicos como una alternativa viable a las fuentes convencionales.

Actualmente el país afronta una alta demanda de celulosa, lo cual se traduce inmediatamente una tala inmoderada de árboles, acrecentando este problema la tala clandestina, México perdió a causa de la tala clandestina 127 mil 770 hectáreas de bosque tan solo para 2020 (SEMARNAT, 2022). Se utilizó un método alcalino de extracción en el cual, las fibras de materia prima se llevan a cocción con una solución de NaOH (licor blanco), para retirar la lignina presente en las muestras, dando como resultado las fibras de celulosa junto con una solución de NaOH y lignina (licor negro). Finalmente después de la cocción, lavado y blanqueado de las fibras se obtuvo una pasta de celulosa suave y visualmente similar a la presentada en la literatura.

Este proyecto además permitió desde el punto de vista ingenieril, desarrollar comparativos que colocan esta forma de obtención de celulosa como alternativa de convertirse en una opción competente en comparación con las fuentes maderables, encontrando que de 1 kg de madera se obtienen 0.57 kg de celulosa mientras que de 1kg de residuos orgánicos se logran obtener 0.80 kg de celulosa. Además, el tiempo de producción se reduce: una rosa tarda en florecer entre 6 a 8 semanas y los claveles alrededor de 4 meses, lo que es poco en comparación con lo que tarda un árbol para alcanzar la madurez necesaria para ser talado y procesado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Agradecimientos	2
Resumen	3
Indice de ilustraciones	5
Indice de tablas	6
Capitulo I. Generalidades del proyecto	7
1.1 Introducción	8
1.2 Justificación	9
1.3 Problemática a resolver	9
1.4 Antecedentes	10
1.4.1 Antecedentes históricos	10
1.4.2 Antecedentes investigativos	11
1.5 Objetivos	14
1.5.1 Objetivo general	14
1.5.2 Objetivos Específicos	14
1.6 Alcances y limitaciones	14
1.6.1 Alcances	14
1.6.2 Limitaciones	15
1.7 Impactos esperados y viabilidad	15
1.7.1. Impactos esperados	15
1.7.2 Viabilidad.	15
Capitulo II. Marco teórico.	16
2.1 Marco teórico	17
2.2 Estado del arte	24
Capitulo III. Desarrollo	29
3.1 Recolección	30
3.2 Preparación de muestras	31
3.3 Preparación de muestras con hidróxido	33
3.4 Cocción con hidróxido	34
3.5 Lavado y blanqueado	35
3.6 Prensado y secado	37
Capitulo IV. Resultados	38
4.1 Pruebas de secado	39
4.2 Pruebas de cocción de muestras orgánicas	39
4.2.1 Cantidad de lignina eliminada	39
4.2.2 Lavado y blanqueado	40
4.3 Pruebas morfológicas	42
4.4 Pruebas de identificación	43
Economía circular	45
Conclusiones	47
Competencias desarrolladas	48
Fuentes de información	49

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Estructura Química de la Celulosa. Fuente: Ascensión Sanz Tejedor, Química orgánica industrial.	18
Ilustración 2. Resultados de los análisis para papel de diferentes muestras. Fuente: Velasco, Estrada y Reza, 2020.	20
Ilustración 3. Imágenes de pulpa de médula de bagazo de caña: A. Pulpa de médula blanqueada, microscopio óptico, 4x; B. Pulpa de médula blanqueada refinada, microscopio óptico, 4x. Fuente: Vargas, Salazar, Barrientos, Perez, Renteria, Rodriguez, Navaroy Rutiaga.	21
Ilustración 4. Espectros del infrarrojo cercano resultantes de la interacción de la luz NIR con muestras de papel. Fuente: Metrohm.	21
Ilustración 5. Espectro de polvo de bambú Fuente: Xiaoli Li, Chanjun Sun, Binxiong y Yong He.	22
Ilustración 6. Proceso de extracción de celulosa propuesto. Fuente: El autor	30
Ilustración 7. A) Sección de flores; B) Entrada Central de abastos de Tultitlan, mercado de flores. Fuente: Maps	30
Ilustración 8. A) Clasificación de residuos; B) Limpieza de residuos Fuente: El autor ...	31
Ilustración 9. A) Pétalos de rosa; B) Pétalos de clavel; C) Hojas de rosa. Fuente: El autor.	31
Ilustración 10. Pesado Fuente: El autor	31
Ilustración 11. A) Material para estructura de secado; B) Estructura de secado Fuente: El autor	32
Ilustración 12. A) Residuos frescos; B) Muestras secadas al sol Fuente: El autor	32
Ilustración 13. A) Horno; B) Muestras colocadas dentro de horno; C) Muestras secas Fuente: El autor.	32
Ilustración 14. A) Pesado de NaOH; B) Preparación de solución de NaOH; C) Preparación de vasos de precipitado con solución. Fuente: El autor	33
Ilustración 15. Pesado de muestras. Fuente: El autor.	33
Ilustración 16. A) Introducción de residuos secos en solución de NaOH; B) Muestras para cocción. Fuente: El autor.	34
Ilustración 17. A) Autoclave con parámetros de cocción; B) Introducción de muestras en autoclave; C) Cocción en autoclave. Fuente: El autor.	34
Ilustración 18. A) Colado de muestras posterior a cocción; B) Resultante de cocción. Fuente: El autor.	34
Ilustración 19. A) Lavado de muestras con agua de grifo; B) Muestra resultante. Fuente: El autor.	35
Ilustración 20. A) Blanqueado con Peróxido de hidrogeno; B) Muestra resultante. Fuente: El autor.	35
Ilustración 21. A) Blanqueado con cloro comercial; B) Muestra resultante. Fuente: El autor.	35
Ilustración 22. A) Lavado con calor en parrilla; B) Muestra resultante. Fuente: El autor .	36
Ilustración 23. Bastidor con base de fieltro. Fuente: El autor	37
Ilustración 24. Prensado. Fuente: El autor.	37
Ilustración 25. Secado mediante pistola de calor. Fuente: El autor.	37
Ilustración 26. Colado de muestras. Fuente. El autor.	40
Ilustración 27. Muestras lavadas y blanqueadas. Fuente: El autor	40

Ilustración 28. Fibras en solución. Fuente: El autor	40
Ilustración 29. Pasta de celulosa. Fuente: El autor	41
Ilustración 30. Apariencia física de las muestras A) Muestra lavada con agua de grifo; B) Muestra blanqueada con Peróxido de Hidrogeno; C) Muestra blanqueada con cloro; D) Muestra seca. Fuente. El autor.....	41
Ilustración 31. Celulosa extraída. Fuente: El autor	42
Ilustración 32. Celulosa en solución acuosa vista microscopio. Fuente: El autor	42
Ilustración 33. Introducción de base de datos A) Programa correspondiente para equipo MicroNIR; B) Lectura blanco de referencia; C) Lectura muestra base. Fuente: El autor.	43
Ilustración 34. A) Lectura de muestra; B) Modelo resultante. Fuente: El autor.....	43
Ilustración 35. Espectros del Infrarrojo Cercano resultantes de las muestras de celulosa. Fuente: El autor.....	44

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Peso de las muestras de materia prima. Fuente: El autor.....	39
Tabla 2. Cantidad aproximada de lignina eliminada. Fuente. El autor.....	39

CAPITULO I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

Desde que se le dio uso comercial a la celulosa proveniente de fuentes maderables para la producción de papel, este recurso ha sido explotado tanto, que actualmente el nivel de deforestación nacional es muy alto, colocando en una situación de peligro a nuestros ecosistemas. De dicho problema nace la idea de obtener celulosa de otras especies, promoviendo la investigación y obteniendo resultados alentadores. Se encontró que se puede obtener celulosa de desechos orgánicos de flores siguiendo el mismo método que para las fuentes maderables: el método alcalino. El estudio de alternativas como la mencionada anteriormente, puede servir como estrategia para, en un futuro, disminuir la tala de árboles, debido a que tradicionalmente la producción de celulosa ha sido a partir de fuentes maderables, en conjunto con el reciclaje de papel. Estos métodos permitirán el aprovechamiento de residuos contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental.

La SEMARNAT (2021), indica que en 2019 se tuvo una producción de 123,030 toneladas de celulosa química de madera en el país.

Velasco Lidia y colaboradores (2020), presentan como resultado de su investigación, la obtención de celulosa para cartoncillo o papel de escritura a partir de las plantas que crecen alrededor de los canales de aguas residuales.

Aunado a la explotación de residuos maderables para la producción de celulosa, se debe considerar que durante el proceso de producción de este material son usadas grandes cantidades de agua, INEGI (2021) nos indica que para fabricar una tonelada de papel se emplean de 150,000 a 200,000 litros de agua. Por lo que es indispensable la búsqueda de alternativas para la producción sustentable del papel, un material de uso diario y de alta demanda, que ha propiciado que las dependencias que lo producen estén invirtiendo actualmente en su investigación. El Gobierno de México (2019) indica que según datos del Censo Económico 2019, 12.30% de las unidades económicas grandes del sector privado y paraestatal de Industria del Papel tuvieron actividades de innovación en 2018. Del total del personal ocupado en unidades económicas grandes, solo 2.08% estuvo ocupado

en actividades de innovación de productos y 1.52% en innovación de procesos.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo investigó la obtención de celulosa a partir del aprovechamiento de los desechos de tallos y pétalos de flores comúnmente usadas en el país como las rosas y el clavel, como alternativa sostenible que puede favorecer de forma significativa la reducción de desechos y trabajar con recursos fácilmente renovables; el tratamiento que se da a estos materiales permite reducir el consumo de agua y químicos en comparación con los empleados en la madera. Por otro lado, la celulosa obtenida de esta forma podría emplearse como materia prima para la obtención de papel, creación de biopolímeros, textiles, entre otros productos, al poseer propiedades únicas como fragancia residual, color y propiedades mecánicas especiales, convirtiéndose en una nueva oportunidad, en una actualidad donde la economía circular comienza a hacer ruido y existen en nuestro país regiones donde la producción de flores es alta, favoreciendo proporcionar valor agregado a sus residuos y diversificando su oferta.

1.3 PROBLEMÁTICA A RESOLVER

De acuerdo con el INEGI (2021), la elaboración de papel se realiza empleando como materia prima principal a la celulosa, el 90% de esta se obtiene de las fibras naturales de los árboles, el 10% restante es aportado por otras plantas como pastos, bambúes, cáñamos, entre otras; reportándose un consumo en promedio de 2,400 kilogramos de madera (17 árboles) por tonelada de papel, árboles que no siempre son de procedencia lícita.

SEMARNAT (2022) reporta que tan sólo en el 2020 México perdió a causa de la tala clandestina 127 mil 770 hectáreas de bosque, una deforestación superior a la del periodo 2010-2015, que fue de 91 mil 600 hectáreas. Dada la crisis de tala elevada y clandestina, se tiene una creciente necesidad de buscar alternativas

para la obtención de este polímero de forma rápida y eficiente, lo que no se logra actualmente con los árboles.

En camino a la búsqueda de estas alternativas, se detectan opciones que sin darles otro uso suelen terminar como desechos orgánicos en tiraderos.

El Gobierno del Estado de México (2021) indica que para el cierre del 2020 se tuvo una producción ornamental de 22,732,925.44 gruesas (cada gruesa equivale a 12 docenas o 144 unidades) de estas; 7,088,578 son de rosas, las cuales, al terminar su vida útil, son llevadas a tiraderos municipales sin darles algún otro uso, provocando inclusive un foco de infección debido a las malas prácticas de desecho de residuos orgánicos.

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2021) reporta que al cierre de 2021 se obtuvo un volumen de 27,003,572 flores. Resaltó que la producción de rosa, considerada la flor más popular y vendida en el país, aumentó 5.70% respecto a 2020, al finalizar el año pasado con 9,600,175 gruesas, el 35.60% del total nacional. Las entidades con mayor producción de esta flor fueron; Estado de México, con el 77.20%; seguida de Puebla con el 7.60%, y Morelos con 7.30%.

1.4 ANTECEDENTES

1.4.1 Antecedentes históricos

Cámara del Papel (2023). Su fabricación por primera vez fue en el año 105 de nuestra era en China y su composición fue de una mezcla de fibras de corteza de morera, bambú, ramio, cáñamo y trapo usada.

La fabricación de la celulosa y del papel en México se remonta alrededor del año 500 D.C. en el cual los mayas inventaron, y posteriormente los aztecas mejoraron, su proceso a base de corteza de higuera. Dentro de este proceso la corteza era ablandada a base de golpes y posteriormente tratada con agua y cal para remover la sabia, formando hojas sobre tablas planas que dejaban secar al aire, para después desprenderlas y emplearlas como papel. El primer molino para fabricar

papel en nuestro país y en América, data de fines del siglo XVI recién terminada la conquista de México, como queda constatado por hallazgos recientemente efectuados en la población de Culhuacán, en la Cd. de México.

La primera planta de fabricación de celulosa y papel dentro del concepto moderno, se establece a finales del siglo pasado en San Rafael, Estado de México.

Gobierno de México (2023) las entidades federativas con más ventas internacionales en Celulosa y sus Derivados Químicos, no expresados ni comprendidos en otra Parte, en formas primarias fueron Ciudad de México (US\$20M), Estado de México (US\$997k), Baja California (US\$741k), Nuevo León (US\$286k) y Guanajuato (US\$178k).

Gobierno de México (2024). Acerca de la fabricación de pulpa, papel y cartón, en el segundo trimestre de 2024 se registró un PIB de \$6.58B MX, evidenciando un alza de 5.06% con respecto al trimestre anterior.

1.4.2 Antecedentes investigativos

Juan Enrique Valdivieso V. (2020) diseñó un proceso para la elaboración de papel a partir de la celulosa extraída del olote de maíz (*Zea mays* L. var. Ceratina). Para ello el olote fue sometido a un proceso de molienda y tamizado, donde se obtuvo un material particulado (MP) con diámetro de luz de malla de 210 μm que facilitó la extracción de la pulpa celulósica a diferentes proporciones de hidróxido de sodio por cada 100 g de materia prima (1:5, 3:10, 2:5). Las condiciones del pulpeado se efectuaron a 95°C con variación de tiempo de 2,3 y 4 horas, la pulpa obtenida se sometió a un proceso de blanqueado con hipoclorito de sodio a 45°C por 0.75 h hasta conseguir el color característico del papel bond. El proceso de pulpeado más óptimo dio un rendimiento de 44.73% y un número de kappa de 32.88 al trabajar con una proporción 3:10 de NaOH (hidróxido de sodio) durante 3 h a 95 °C.

Andrés Teodoro Pérez N. y Danny Joel Sánchez C. (2020) realizaron el aislamiento de fibras de celulosa a partir de raquis de banano (el raquis de banano o pinzote es

el tallo que sostiene a las frutas, su mayor compuesto es la fibra, la cual está compuesta a su vez por celulosa, hemicelulosa y lignina), comparando la extracción tradicional con la extracción acelerada, utilizaron una metodología de carácter experimental–cualitativo mediante un tratamiento alcalino. A las diferentes muestras se les aplicó el tratamiento alcalino, tratamiento con NaOH 5% por 14 h a temperatura ambiente, tratamiento con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 1% para ajustar el pH a 5 durante 1 h a 70°C, tratamiento con NaOH 5% por 14 h a temperatura ambiente y se termina con el tratamiento usando HCL al 1% para poner en agitación durante 2 h a 80°C eliminando así las trazas de los minerales existentes en el material. Se determinó el aislamiento de microfibras de celulosa con la extracción tradicional, mientras que la extracción acelerada dio como resultado nanofibras de celulosa.

Juan López M., y José Miguel Ferri A. (2021) este trabajo se dedicó a estudiar tres fuentes alternativas a la madera para la obtención de la celulosa que son bagazo de alcachofa (*Cynara scolymus*), tallo de malva (*Malva arborea*) y espiga de maíz (*Zea mays*). Se logró hirviendo 1g de cada muestra en 150 ml de agua destilada por 1 h para posteriormente filtrar la mezcla con papel filtro con un tamaño de poros de 90 mm, se limpió el residuo filtrado con 300 ml de agua caliente. La fracción sólida obtenida se secó y guardó en un desecador hasta obtener una masa constante. La masa se mezcló con 150 ml de ácido sulfúrico 1N (0.5 mol/l) por 1 h con un calentamiento medio, la mezcla obtenida se filtró y limpió con 300 ml de agua destilada en ebullición, después de secarlo, el residuo de filtración se pesó, se empapó en 10 ml de ácido sulfúrico a 72% de concentración y se dejó reaccionar durante 4 h. El compuesto acuoso, obtenido previamente, se integró en un dispositivo de reflujo mientras se mezclaba con 150 ml de ácido sulfúrico 1N a alta temperatura y alto reflujo durante 1 h. La mezcla se neutralizó con 400 ml de agua destilada y filtró, secó, y pesó como anteriormente. Según este análisis químico se puede concluir que el tallo de Malva tiene el mayor contenido en celulosa.

García Alcocer Nidia K, Salgado García Sergio, Córdova Sánchez Samuel, Castañeda Ceja Raúl, De la Cruz Burelo Patricia y Turrado Saucedo José (2019), realizaron una evaluación de óxido de calcio (CaO) e hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

para la obtención de fibra de celulosa; Se utilizó paja de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) de la variedad Méx 69-290, seca y con un tamaño de 40 mm de longitud. Para la extracción de la fibra se evaluaron tres reactivos, hidróxido de sodio (NaOH) al 10%, hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) al 10, 15, 20, 25 y 30%, y óxido de calcio (CaO) al 5, 7.50 y 10%. Los nueve tratamientos, se realizaron usando un diseño completamente al azar con cinco y cuatro repeticiones, respectivamente. El método usado para extraer la fibra de celulosa fue el artesanal y para cada proceso se usó 100 g de paja seca. La obtención de fibra y el rendimiento de fibra de celulosa con Ca(OH)_2 a una concentración mayor de 25%, fue superior a la obtenida con Ca(OH)_2 al 10%. Las características y calidad de las hojas formadas con la fibra de celulosa extraída con Ca(OH)_2 al 25% e NaOH al 10% fueron similares. Con la fibra de celulosa obtenida de Ca(OH)_2 al 25 y 30% fue posible elaborar vasijas artesanales con buena consistencia y belleza. La fibra de celulosa extraída con Ca(OH)_2 permite elaborar papel artesanal y vasijas.

Velasco Rosas Lidia Selene, Estrada Flores Miriam, Reza San Germán Carmen Magdalena (2020) obtuvieron celulosa a base de plantas que crecen alrededor de las aguas de canal. Se obtuvo celulosa para cartoncillo o papel de escritura a partir de plantas que crecen alrededor de los canales de aguas residuales. Con esto se dará mejor uso a las plantas que crecen sobre estas zonas, y consecuentemente mejorar los senderos donde se encuentran ya que no suelen aprovecharse de una manera correcta, para obtener un producto de calidad y competitivo para su futura comercialización. En esta investigación se trabajó con 4 diferentes tipos de plantas encontradas en la zona, las cuales fueron: *Schinus molle*, *Ricinus communis*, *Hypochaeris radicata*, *Atriplex canescens* y mezcla de plantas. El calentamiento se realizó a 150°C, en una bomba solvothermal, obteniendo así resultados similares a los de la industria, para verificar se comparó el rendimiento obtenido en cada planta, con la finalidad de determinar cuál posee las propiedades más adecuadas para la elaboración de cartoncillo y del papel de escritura.

EGADE (2022) La empresa papelera Bio Pappel creó un modelo propio de economía circular llamado “Bosque Urbano”. Consiste en producir papel y productos

de papel de alta calidad a partir de materia prima 100% reciclada, desacoplando así la fabricación del papel y sus derivados de la extracción de recursos naturales vírgenes y extendiendo el ciclo de vida de este material. Con esta estrategia, la empresa ha logrado disminuir los residuos contaminantes y optimizar el consumo de energía y recursos naturales. Algunas cifras: 15.7 millones de árboles salvados, 29 millones de toneladas de CO₂ capturadas y así como la recuperación y reciclaje de 795 toneladas de papel y cartón.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

- Obtener celulosa a partir de residuos forestales como pétalos y tallos de rosa, clavel y pasto seco.

1.5.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades de la materia prima propuesta y proporcionar tratamiento previo.
- Estudiar el proceso químico para la obtención de pulpa de celulosa por el método alcalino.
- Caracterizar el producto obtenido, mediante aplicación del método de espectroscopia del infrarrojo cercano y observación de fibras por microscopía óptica.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.6.1 Alcances

- El aprovechamiento de los residuos agroindustriales generados como materia prima para incorporarlos al proceso de obtención de celulosa
- Disminución del uso del agua durante el proceso de obtención de la

celulosa.

- Generación de propuestas para la implementación de procesos verdes en la producción de papel.

1.6.2 Limitaciones

- La relación entre el volumen de materia húmeda y materia seca.
- Falta de aprovechamiento de los residuos que se generan en el proceso de obtención de celulosa.

1.7 IMPACTOS ESPERADOS Y VIABILIDAD

1.7.1. Impactos esperados.

El presente proyecto intenta proponer una posible alternativa a las fuentes de obtención de fibras de celulosa, los desechos de poda, de tallos de rosa y clavel, utilizando el método de producción alcalino que permita complementar la alta demanda en la industria de la celulosa.

Por otro lado, permitirá analizar el impacto de la aplicación de los principios de la economía circular para los residuos florales.

1.7.2 Viabilidad.

La materia prima propuesta en este proyecto permite generar una cantidad de fibras de celulosa similar a la obtenida de fuentes maderables, utilizando la misma metodología, puesto que esta materia es generada como desecho no representa un costo económico y ambiental tan alto como las fibras generadas de fuentes habituales. Además de representar una opción más verde al utilizar una menor cantidad de agua potable para su extracción.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 MARCO TEÓRICO

La celulosa es el polímero natural que se encuentra en mayor proporción en la Tierra se localiza en las paredes celulares de las plantas, diferentes tipos de algas, tunicados e incluso de bacterias (Eartrakulpaiboon y Tonanon, 2015).

Generalmente se obtiene de la madera utilizando la pulpa de los árboles, el cual pasa por un tratamiento mecánico o químico, de acuerdo con las propiedades que se le desea dar lo cual por su consumo constante va fomentando una mayor deforestación de bosques por su alta demanda. La celulosa es el principal componente de las paredes celulares de los árboles, algas y otras plantas, ya que es una fibra natural la cual está constituida por una larga cadena de carbohidratos polisacáridos (Velasco, Estrada y Reza 2020).

La celulosa es el material básico del cual están formadas las fibras de las plantas. Esta generalmente aceptado que la celulosa es un polímero de condensación lineal, el cual consiste de unidades D-anhidroglucopyranosa unidas entre sí por enlaces β -1,4-glucosídicos. La estructura molecular de la celulosa, la cual es responsable de su estructura supramolecular determina mayormente sus propiedades químicas y físicas. En toda la extensión de la molécula, las cadenas de unidades adyacentes esta orientadas por sus medios planos en un ángulo de 180° cada uno. Así, la unidad repetitiva en la celulosa es la unidad de anhidrocelobiosa. Debido a su estructura lineal, se establecen puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de las distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, dotando las de una gran resistencia mecánica y la anteriormente mencionada insolubilidad al agua. De esta forma, se originan fibras compactas que constituyen la pared celular de las plantas, brindando así la rigidez necesaria (Macclesh del Pino, 2021)

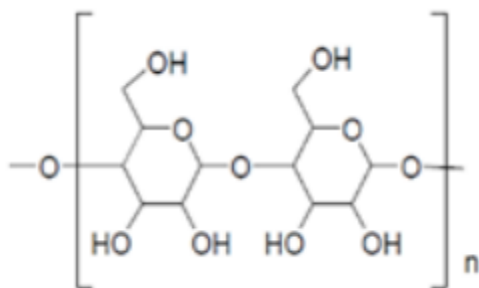


Ilustración 1. Estructura Química de la Celulosa. Fuente: Ascensión Sanz Tejedor, Química orgánica industrial.

La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, el tamaño de esta lineal depende mucho de las plantas, árboles o algas que se desean utilizar, de esta manera, se originan fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales (Fernández, 2020).

La obtención de la celulosa se basa principalmente en dos importantes métodos, los cuales son utilizados constantemente en la industria, estos han tenido pequeñas modificaciones de acuerdo a sus diferentes usos. Método químico: Se obtiene a partir de un proceso de cocción química de la madera a altas temperaturas y presiones, cuyo objetivo es disolver la lignina contenida en la madera con una disolución alcalina, liberando las fibras. Dependiendo de los aditivos químicos usados en la cocción pueden generarse diferentes tipos de papel, por ejemplo, existen celulosas químicas kraft y al sulfito, siendo la primera más utilizada a nivel mundial (Velasco, Estrada y Reza 2020).

La celulosa química se caracteriza por tener un rendimiento total relativamente bajo, es decir, sólo entre un 40 y 55% del material original queda en el producto final (Altesor, 2018), el resto se disuelve en la solución alcalina para ser posteriormente quemada y generar la energía térmica y eléctrica necesaria en los procesos productivos. Estas celulosas son más resistentes, ya que las fibras quedan intactas, son más fáciles de blanquear y menos propensas a perder sus cualidades en el tiempo (Tejedor, 2020).

Método mecánico: Se obtiene a partir de un proceso por el cual la madera es molida y triturada mecánicamente, siendo sometida a altas temperaturas y

presiones. Posteriormente la pasta es clasificada, lavada y eventualmente blanqueada. La celulosa mecánica, se caracteriza por tener un alto rendimiento, normalmente entre un 85 y 95% (Tejedor, 2020), pero la lignina remanente en el producto puede oxidarse generando el color amarillo (Velasco, Estrada y Reza 2020).

Todas las metodologías para la obtención de fibras de celulosa en la producción de papel se basan en la separación de las fibras de la madera. Existen dos procesos principales para la obtención de estas fibras: el método alcalino y el método del sulfito. Este último se desarrolló inicialmente basado en el uso de bisulfito de calcio, un producto barato para la fabricación de pasta. Este proceso fue evolucionando a través de su uso e incorporando otros sulfitos y bisulfitos, pero con el paso del tiempo éste ha perdido terreno frente al método Kraft (Chávez y Domine, 2013). En el proceso con sulfitos se utiliza licor blanco; una mezcla de hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na₂S). El NaOH degrada la lignina y el Na₂S acelera las reacciones de cocción y decrece la degradación de la celulosa causada por el NaOH. La lignina hace que la pulpa se torne marrón durante la cocción. Debido a que los productos químicos de blanqueo son mucho más caros que los químicos de cocción, se trata de remover la lignina tanto como sea posible durante el proceso de cocción. Sin embargo, una remoción de lignina extensa causa que la degradación de la celulosa aumente. Esto decrece el rendimiento y la resistencia de la pulpa (García, Salgado, Córdova, Castañeda, De la Cruz y Turrado, 2019).

Velasco, Estrada y Reza (2020) Investigaron la obtención de celulosa, siguiendo la secuencia de experimentación para cada una de las plantas: se preparó una solución de hidróxido a 3 M. Pesado de 2.6 g de cada planta seleccionada. Se realizó la etapa de cocción para obtener las fibras de cada muestra, agregando la planta seleccionada y 15 ml de la solución alcalina a la bomba solvothermal, calentando en una mufla a 150°C y presión atmosférica durante 24 h. Una vez pasado el tiempo se procedió a neutralizar la mezcla con ácido sulfúrico (H₂SO₄) hasta alcanzar un pH de 7. Para el papel comercial 3 lavados a diferentes

concentraciones al 10, 20 y 30%, en todos los experimentos se realizan agitaciones de 15 min con cada solución de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) correspondiente. Al obtener una pasta se procedió a secar por 1 h a $105^{\circ}C$ para la obtención de la celulosa en base seca. La pasta seca pasa por una prensa hidráulica a una presión de 1 t aproximadamente para la formación de pequeñas pastillas.



A) Higuera



B) Pirul



C) Chamizo

Ilustración 2. Resultados de los análisis para papel de diferentes muestras. Fuente: Velasco, Estrada y Reza, 2020.

Se presentan imágenes de la pulpa de médula blanqueada y pulpa de médula blanqueada refinada, con el propósito de apreciar visualmente el efecto de la refinación (Vargas, Salazar, Barrientos, Pérez, Rentería, Rodríguez, Navaroy Rutiaga, 2015).

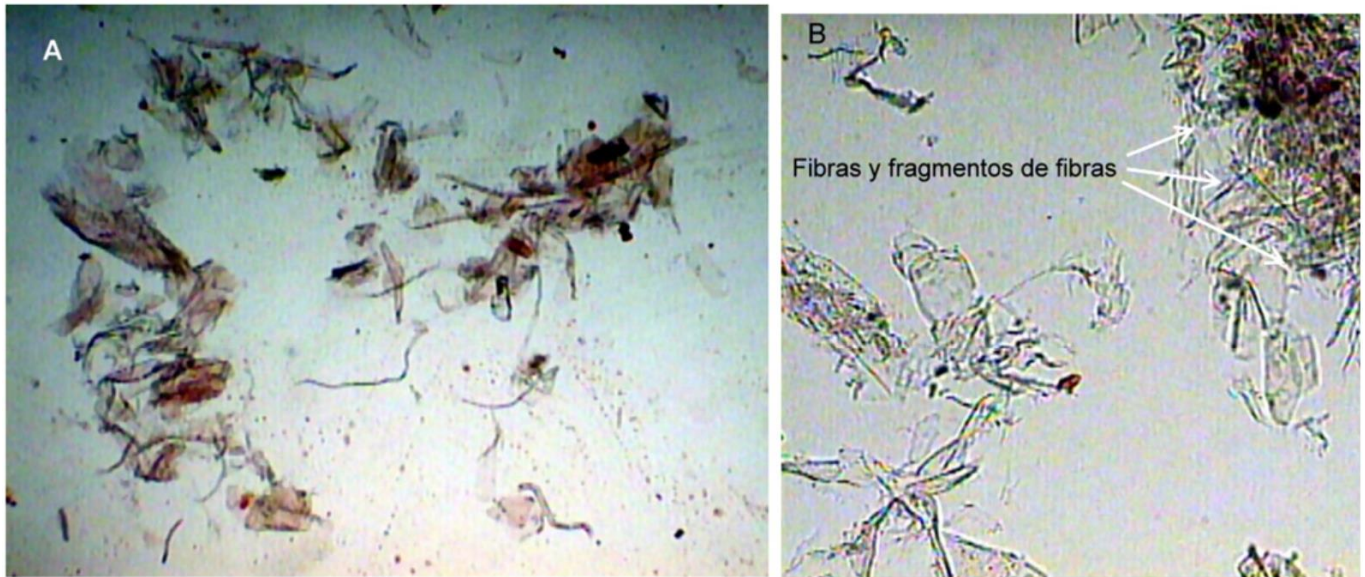


Ilustración 3. Imágenes de pulpa de médula de bagazo de caña: A. Pulpa de médula blanqueada, microscopio óptico, 4x; B. Pulpa de médula blanqueada refinada, microscopio óptico, 4x. Fuente: Vargas, Salazar, Barrientos, Perez, Renteria, Rodríguez, Navaroy Rutiaga.

La luz y la materia interactúan de muchas maneras (por ejemplo, absorción, reflexión, dispersión, emisión y transmisión). Cuando se habla de la luz utilizada en los métodos espectroscópicos, normalmente se describe en longitud de onda o números de onda. Espectrómetros NIR, generan espectros llenos de información midiendo la interacción luz-materia (Metrohm, 2024).

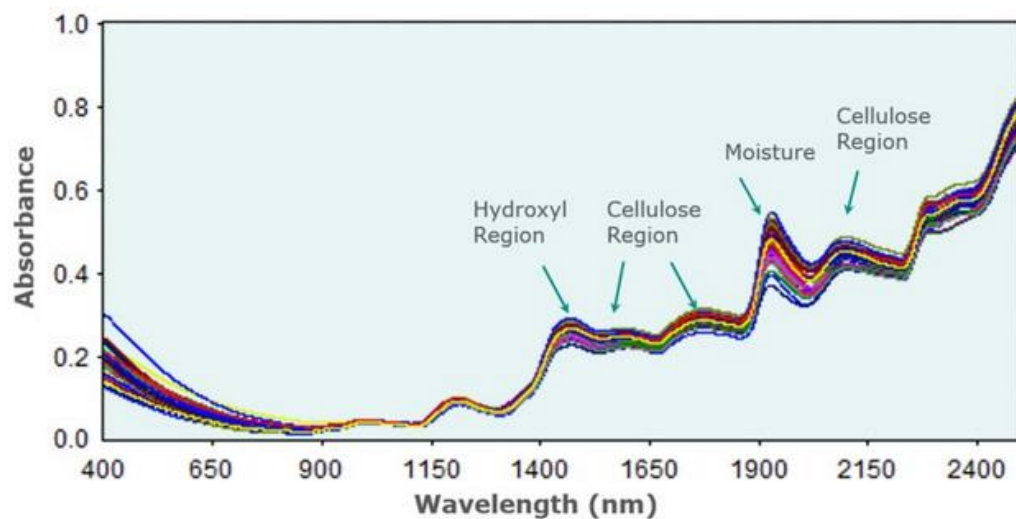


Ilustración 4. Espectros del infrarrojo cercano resultantes de la interacción de la luz NIR con muestras de papel. Fuente: Metrohm.

Los espectros NIR (Espectroscopia de Infrarrojo Cercano) pueden proporcionar la información estructural de los componentes de la biomasa mediante el análisis de los picos de absorción NIR amplios y altamente superpuestos. Se aprecia, un pico de absorción débil y amplio alrededor de 1216 nm se asigna al estiramiento de C–H (2° sobretono). Las absorciones en la región de 1420–1600 nm se asocian con el estiramiento de O–H (1° sobretono). La señal en la región de 1620–1780 nm se atribuye a los grupos C–H (1° sobretono). (Xiaoli Li, Chanjun Sun, Binxiong y Yong He, 2015).

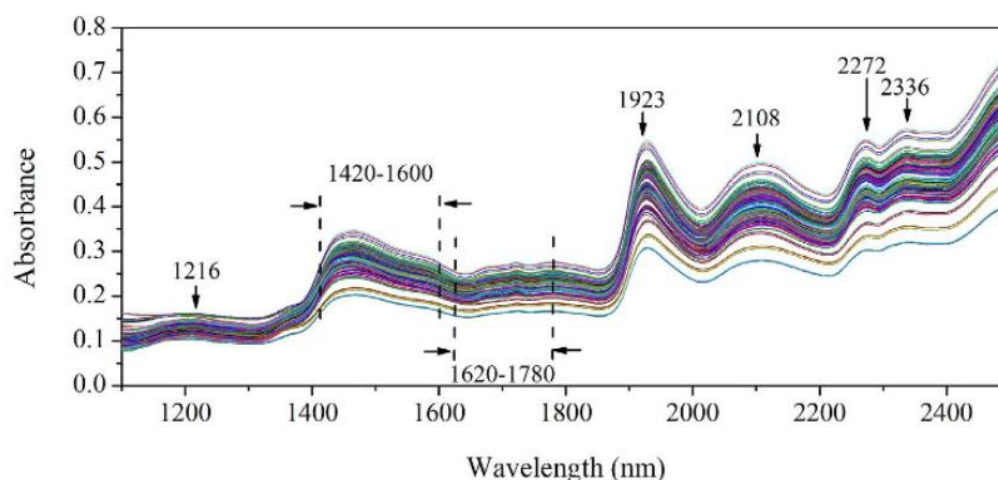


Ilustración 5. Espectro de polvo de bambú Fuente: Xiaoli Li, Chanjun Sun, Binxiong y Yong He.

Gobierno de México (2021) La Economía Circular (EC) es un sistema de aprovechamiento de recursos donde se considera la reducción de los elementos: disminuir la producción al mínimo indispensable y cuando sea necesario hacer uso del producto, por lo que se deben reutilizar los elementos que, por sus propiedades, no pueden volver al medio ambiente.

Es una alternativa que busca redefinir qué es el crecimiento, enfatizando los beneficios para toda la sociedad, genera oportunidades económicas y de negocios, además, proporciona beneficios ambientales y sociales.

El concepto reconoce lo importante que es el funcionamiento de la economía en cualquier nivel, tanto en grandes y pequeños negocios, como en las organizaciones e individuos, de manera global y local.

INEGI (2023) La propuesta innovadora de la EC se fundamenta en la metodología

6Rs basada en múltiples sistemas de ciclos de vida de los productos, la cual comprende:

1. Reducir: se enfoca en la disminución de recursos en la premanufactura, además de la reducción tanto en el uso de energía, materiales y otros recursos durante la manufactura como de emisiones y desperdicios en la etapa de uso/consumo.
2. Reusar: se refiere al uso del producto en su totalidad, o sus componentes, después de su primer ciclo de vida, promoviendo nuevos ciclos, evitando así el requerimiento de materiales vírgenes para la producción de nuevos productos y componentes.
3. Reciclar: involucra el proceso de convertir insumos que de otra forma se considerarían como basura en nuevos materiales y productos.
4. Recuperar: proceso de recolección de productos al final de su etapa de uso y su posterior desmontaje, clasificación y limpieza para su utilización en posteriores ciclos de vida.
5. Rediseñar: actividad que implica diseñar la próxima generación de productos, permitiendo un uso más eficiente de componentes, materiales y recursos recuperados del ciclo de vida anterior o de la anterior producción.
6. Remanufacturar: implica el reprocesar productos ya utilizados para su restauración a un estado original o como un nuevo modelo a través de la reutilización de la mayor cantidad de partes como sea posible sin pérdida de funcionalidad.

2.2 ESTADO DEL ARTE

- En el año 2021, Guerrero Villa determino que las concentraciones que mejor resultado dieron para la celulosa a partir de “pasto” es ejecutando una hidrólisis básica con una solución de hidróxido de sodio al 10% p/v, una hidrólisis ácida con una solución de ácido sulfúrico al 10% v/v y el blanqueamiento de la celulosa con una solución de hipoclorito de sodio al 0.5% v/v, produciendo 10 g de celulosa por cada 50 g de pasto.
- Lars en el año 2019 estudiaron que el material celulósico se haya sometido a cualquier pretratamiento tal como astillado, vaporización o prehidrólisis; el material se cuece en presencia de lejía de cocción alcalina o ácida basada en un compuesto de metal alcalino o alcalinotérreo soluble. El objetivo de la etapa de cocción es separar celulosa y lignina disolviendo la lignina en la lejía de cocción. En el caso de un proceso kraft o de sosa, la lejía de cocción alcalina consiste principalmente en un hidróxido o carbonato de metal alcalino (e hidrosulfuro de sodio en kraft). Independientemente del procedimiento de elaboración de pasta, la temperatura en la etapa de cocción se mantiene dentro del intervalo desde aproximadamente 110°C hasta aproximadamente 200°C, preferiblemente desde aproximadamente 120 hasta 160°C. A mayores temperaturas de cocción, se requiere un tiempo de retención más corto en el recipiente de reacción. Un tiempo de retención de 30 a aproximadamente 60 min puede ser suficiente 60 a una temperatura en el intervalo de 170 a 200°C, mientras que desde 60 hasta 360 min.
- Mayta y colaboradores en el año 2023, estudiaron el polvo de hojas de maíz secas el cual se trató con hidróxido de sodio al 4% p/v, manteniendo una relación sólido/liquido de 1 a 25. La mezcla de reacción se agitó a 500 rpm a 80°C durante 4 h. Después de transcurrido el tiempo de reacción, la mezcla se filtró y se lavó con agua desionizada hasta que el pH fuera neutro. Este tratamiento se realizó dos veces. Después del doble tratamiento alcalino, se realizó el blanqueado utilizando clorito de

sodio (NaClO_2 , 1.7% p/v). Para tal fin, la solución de NaClO_2 se acidificó hasta un pH de 3.8 añadiendo gotas de ácido acético (CH_3COOH) 6M. Posteriormente la solución se mezcló con el sólido resultante del doble tratamiento alcalino ("2TA"), y esta mezcla se calentó hasta ebullición bajo la acción de una campana extractora de aire. Se logró obtener celulosa con un 72.30% de pureza a partir de residuos de hojas de maíz con una eficiencia de extracción del 79.40%, mientras que el análisis de cristalinidad permitió estimar el índice de cristalinidad en 45.60%.

- En este mismo año, Van Engelen y su grupo de colaboradores ejemplifican el trabajo realizado en un tanque agitado (volumen de trabajo 70 L) calentado con vapor, se introdujeron 16.70 kg de pulpa de remolacha azucarera lavada que tenía un contenido de sólidos del 15 % de SS (Sólidos sedimentables) (2.50 kg de SS en el lote) y se añadió agua del grifo a un volumen total de 70 L. La masa se calentó con vapor y, una vez que la temperatura alcanzó los 50°C, se añadieron 1200 g de NaOH. Se continuó calentando hasta alcanzar una temperatura final de 95°C. La mezcla se homogeneizó 6 veces. La masa homogeneizada se introdujo posteriormente en un tanque de mezcla y se calentó a una temperatura de 80 a 85 °C, donde posteriormente se realizó un paso de microfiltración usando una membrana cerámica con un tamaño de poro de 1.4 μm . Obtuvieron una dimensión mayor (ponderada por volumen) mediana de las partículas contenidas en el material de 43.65 μm , con aproximadamente el 90% del material (en base al volumen) que tenía un tamaño de partícula inferior a 100 μm .
- En el año 2022, Pinzón y su colaboradora para llevar a cabo la digestión kraft se determinó un tiempo de cocción de 3 h y a una temperatura de 130°C, junto con una relación de 6:1 de licor-SCG, los que equivale a 41 g de NaOH, 25 g de Na_2S y 1218 g de agua, se determinó la composición de los residuos SCG (residuos generados como consecuencia del procesamiento de la bebida del café), en donde se logra evidenciar que los dos componentes más abundantes son la hemicelulosa (35.60%) y lignina (25.95%) los cuales son polímeros naturales, al igual que la

celulosa, formados por diferentes carbohidratos; por otro lado, se encuentran en menor medida las proteínas (14.57%), seguido de la celulosa (12.28%), los aceites (8.46%) y finalizando con los polifenoles (3.03%).

- En el año 2020, Villavägen y colaboradores realizaron una investigación de fibras producidas a partir de material de desecho celulósico reciclado. En el cual describe la fabricación de fibras celulósicas regeneradas a partir de material de celulosa reciclado tal como papel usado, algodón reciclado y material textil viscoso. El proceso de fabricación implica un tratamiento previo de la materia prima para purificar el material antes de disolver la celulosa sustancialmente pura en hidróxido de sodio (NaOH), formando así una sustancia de hilatura. El proceso de fabricación de fibras textiles comprende además la regeneración de nuevas fibras de celulosa en un baño de coagulación alcalina seguido del lavado, estiramiento y secado de las fibras producidas. El disolvente NaOH se recupera y se recicla a la etapa de disolución para disolver celulosa sustancialmente pura. Las fibras celulósicas regeneradas se definen como fibras celulósicas que comprenden más del 85% en peso de celulosa. La celulosa se deriva de unidades de D-glucosa, que se condensan mediante enlaces glicosídicos (1-4).
- Noguchi y colaboradores en el 2021 trabajaron en un método para producir celulosa fibrosa ultrafina y celulosa fibrosa, también se refiere a una suspensión que contiene celulosa fibrosa ultrafina y una lámina que contiene fibro-celulosa ultrafina y fibrosa; la producción de celulosa fibrosa debería ser capaz de obtener eficientemente celulosa fibrosa ultrafina que tenga grupos de ácido fosfórico (H_3PO_4) con un alto rendimiento. Lo que hace referencia a que tiene un ancho de fibra de 1000 nm o menos, que comprende: introducir grupos de ácido fosfórico en fibras de celulosa para formar estructuras reticuladas a través de los grupos de H_3PO_4 , obteniendo así celulosa fosforilada reticulada, se forman estructuras reticuladas en una cantidad de 0.05 mmol /g o más y 2.0 mmol /g o menos y al romper algunas o todas las estructuras

reticuladas para obtener fibras de celulosa fosforiladas reticuladas rotas y realizar un tratamiento mecánico sobre las fibras de celulosa fosforiladas reticuladas rotas para obtener celulosa fibrosa que tiene una fibra ancho de 1000 nm o menos, en donde estas son una etapa para realizar la hidrólisis de las estructuras reticuladas en un disolvente acuoso con pH 3 más. Se evaluaron en los últimos años, debido a una mayor conciencia sobre las alternativas a los recursos petroleros y la conciencia ambiental, se ha centrado en materiales que utilizan fibras naturales reproducibles. Entre las fibras naturales, hasta ahora se han utilizado ampliamente fibras de celulosa que tienen un diámetro de fibra de 10 μm o más y 50 μm o menos, en particular, fibras de celulosa derivadas de la madera (pulpa), principalmente como productos de papel. Además, la celulosa fibrosa ultrafina, que tiene un diámetro de fibra de 1 μm o menos, se conoce como fibras de celulosa. Esta celulosa fibrosa ultrafina se puede utilizar como materia prima para constituir una lámina o un complejo. Se sabe que cuando se utiliza celulosa fibrosa ultrafina, los contactos de las fibras aumentan significativamente y, por tanto, la resistencia a la tracción de dicha lámina o complejo mejora significativamente. Además, también se ha considerado el uso de celulosa fibrosa ultrafina en un espesante o similar. Se puede producir celulosa fibrosa ultrafina sometiendo fibras de celulosa convencionales a un tratamiento mecánico. Las fibras de celulosa se unen fuertemente entre sí mediante un enlace de hidrógeno. En consecuencia, cuando se produce celulosa fibrosa ultrafina simplemente realizando un tratamiento mecánico sobre dichas fibras de celulosa, se requiere una enorme energía para obtener la celulosa fibrosa ultrafina.

- Kakubari y colaboradores en el 2021, trabajaron en un método para producir carboximetilcelulosa o sal de esta, y agente aglutinante para un electrodo, en general, una carboximetilcelulosa o una sal de la misma se produce realizando una reacción de formación de celulosa alcalina en la que se deja que un álcali reaccione con la celulosa y añadiendo posteriormente un agente eterificante a la celulosa alcalina resultante

para llevar a cabo la reacción de eterificación. Un ejemplo de un método de producción conocido incluye realizar una reacción de formación de celulosa alcalina usando un disolvente mixto que contiene agua y un disolvente orgánico, añadiendo posteriormente ácido monocloroacético para realizar una reacción de eterificación.

CAPITULO III. DESARROLLO

El proceso de extracción de celulosa a partir de los desechos orgánicos de flores se realizó siguiendo una serie de subprocesos, las cuales se presentan en el diagrama correspondiente a la Ilustración. 6, describiéndose a continuación.

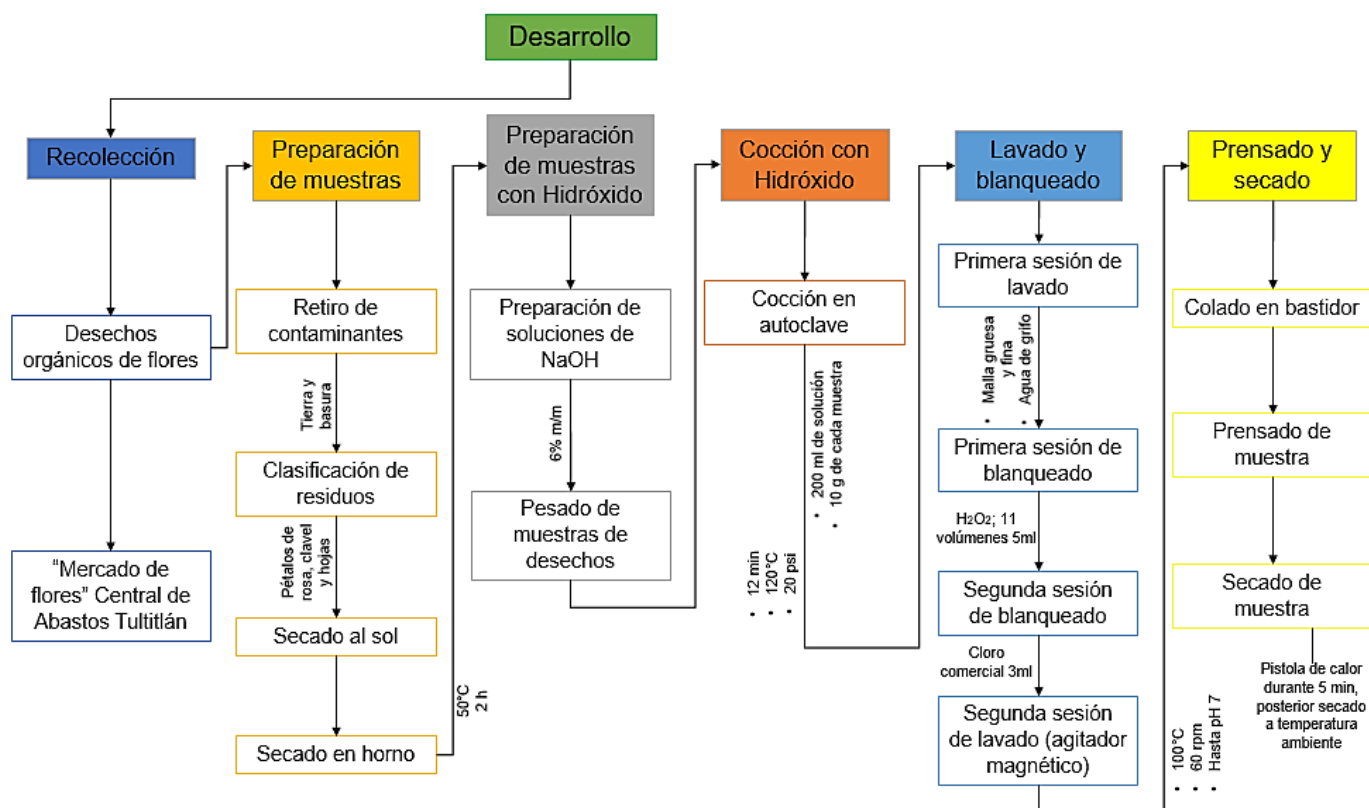


Ilustración 6. Proceso de extracción de celulosa propuesto. Fuente: El autor

3.1 RECOLECCIÓN

3.1.1 La recolección de la materia prima se llevó a cabo en la sección correspondiente al Mercado de Flores en la Central de Abastos en Tultitlán Edo. de México.



Ilustración 7. A) Sección de flores; B) Entrada Central de abastos de Tultitlan, mercado de flores. Fuente: Maps

3.2 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

3.2.1 Se retiraron los contaminantes tales como tierra y basura presentes al momento de recolección de muestras.



Ilustración 8. A) Clasificación de residuos; B) Limpieza de residuos. Fuente: El autor

3.2.2 Posteriormente se separaron en tres clasificaciones que a continuación se presentan.



Ilustración 9. A) Pétalos de rosa; B) Pétalos de clavel; C) Hojas de rosa. Fuente: El autor.

3.2.3 Con apoyo de una báscula se obtuvo el peso de cada una de las muestras que se pondrán a secar para posteriormente calcular la cantidad de agua que se retirara mediante los procesos de secado.



Ilustración 10. Pesado. Fuente: El autor

3.2.4 Se contaba con una estructura anteriormente acondicionada para colocar las muestras en proceso de secado al sol.



Ilustración 11. A) Material para estructura de secado; B) Estructura de secado Fuente: El autor

3.2.5 Posterior al retiro de residuos se colocaron las muestras en las estructuras durante una semana.



Ilustración 12. A) Residuos frescos; B) Muestras secadas al sol Fuente: El autor

3.2.6 Después se llevó a cabo un proceso de secado en horno en condiciones de 50°C durante dos horas, las muestras se colocaron papel aluminio para su contención.



Ilustración 13. A) Horno; B) Muestras colocadas dentro de horno; C) Muestras secas Fuente: El autor

3.3 PREPARACIÓN DE MUESTRAS CON HIDRÓXIDO

3.3.1 Para la cocción de las muestras se prepararon soluciones de NaOH a una concentración de 6% m/m.

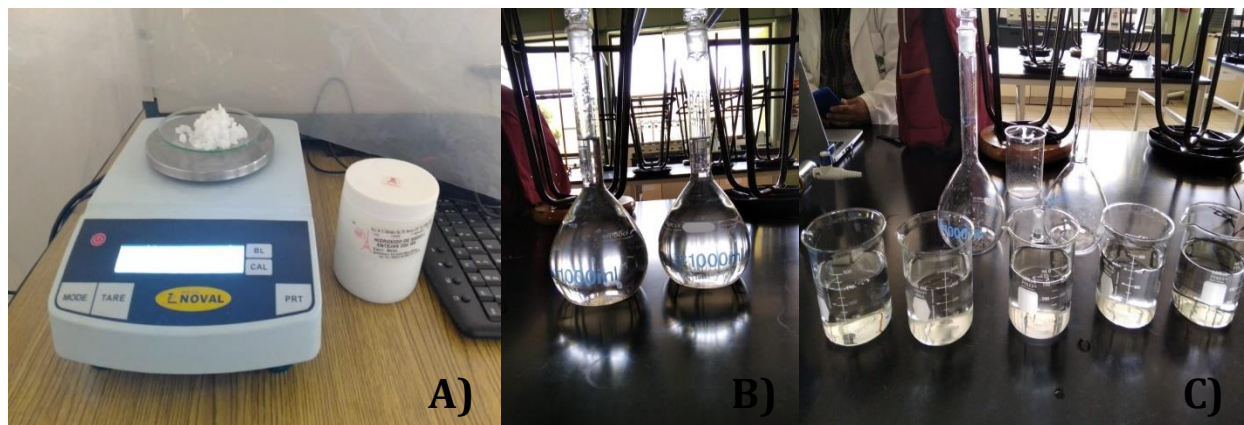


Ilustración 14. A) Pesado de NaOH; B) Preparación de solución de NaOH; C) Preparación de vasos de precipitado con solución. Fuente: El autor

3.3.2 Posteriormente se pesaron 10 g de las muestras de desechos orgánicos secos y se colocaron en vasos de precipitado con la solución previamente realizada.



Ilustración 15. Pesado de muestras. Fuente: El autor.

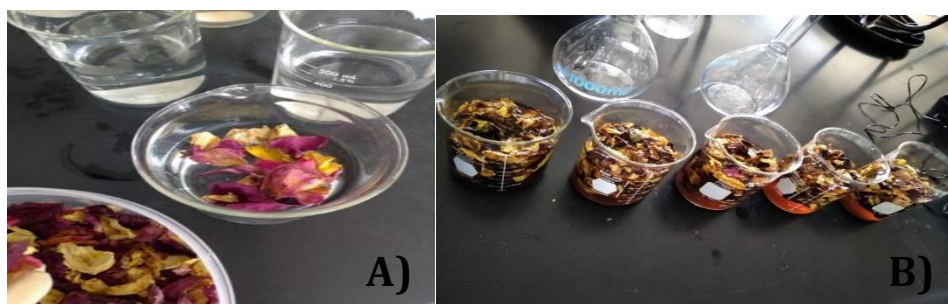


Ilustración 16. A) Introducción de residuos secos en solución de NaOH; B) Muestras para cocción. Fuente: El autor.

3.4 COCCIÓN CON HIDRÓXIDO

3.4.1 Se realizó la cocción de las muestras de materia prima, la cocción se realizó con 200 ml de solución por cada una, esta se llevó a cabo en un autoclave durante 12 min a una temperatura de 120°C con una presión de 20 psi.



Ilustración 17. A) Autoclave con parámetros de cocción; B) Introducción de muestras en autoclave; C) Cocción en autoclave. Fuente: El autor.

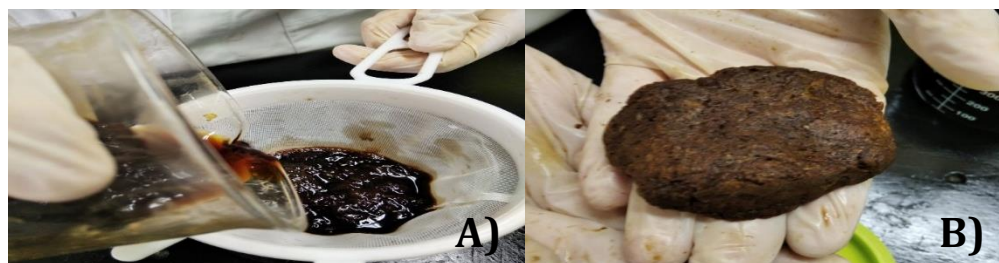


Ilustración 18. A) Colado de muestras posterior a cocción; B) Resultante de cocción. Fuente: El autor.

3.5 LAVADO Y BLANQUEADO

3.5.1 Posterior al proceso de cocción con ayuda de un colador de malla gruesa y otro de malla fina, las muestras se llevaron a lavado con agua de grifo.



Ilustración 19. A) Lavado de muestras con agua de grifo; B) Muestra resultante. Fuente: El autor.

3.5.2 Las muestras ya lavadas, se llevaron a un primer proceso de blanqueado utilizando peróxido de hidrogeno (USS COTTON; 11 volúmenes (cantidad de oxígeno liberada)) 5 ml por muestra para posteriormente llevarlas a un segundo proceso de blanqueado utilizando cloro comercial, 3 ml para cada muestra.



Ilustración 20. A) Blanqueado con Peróxido de hidrogeno; B) Muestra resultante. Fuente: El autor.

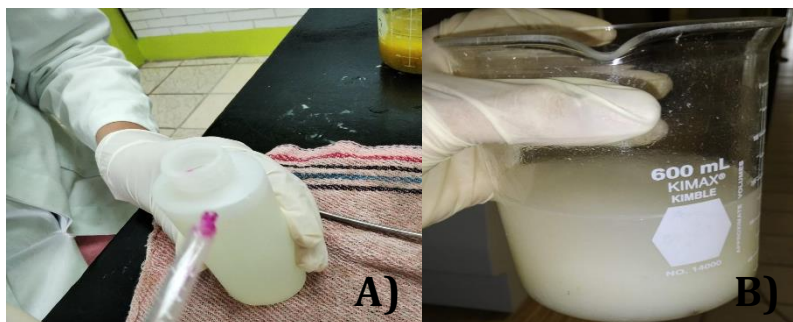


Ilustración 21. A) Blanqueado con cloro comercial; B) Muestra resultante. Fuente: El autor.

3.5.3 Para optimizar la cantidad de agua utilizada posterior al blanqueado:

- Se llevó a cabo un lavado con agua grifo a condición ambiente.
- Después se colocó la muestra en agua de grifo la cual con ayuda de una parrilla con agitador magnético se sometió a un proceso de lavado con calor a condiciones de 100°C y 60 rpm.

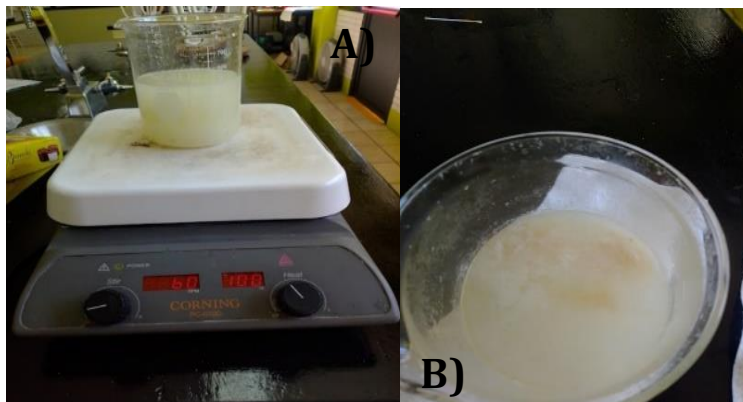


Ilustración 22. A) Lavado con calor en parrilla; B) Muestra resultante. Fuente: El autor

- Posterior a esto la muestra se sometió nuevamente a lavado con agua de grifo a condición ambiente hasta que esta presento un pH de 7.

3.6 PRENSADO Y SECADO

3.6.1 La pasta de celulosa obtenida se filtró en un bastidor circular con fieltro.



Ilustración 23. Bastidor con base de fieltro. Fuente: El autor

3.6.2 La pasta de celulosa obtenida se llevó a un proceso de prensado con ayuda de tela tipo manta como medio de contención, tablas de madera y sargentos como medio de compresión.



Ilustración 24. Prensado. Fuente: El autor.

3.6.3 Posteriormente esta muestra se secó con ayuda de una pistola de calor por alrededor de 5 min para posteriormente dejar secar a condiciones ambiente.



Ilustración 25. Secado mediante pistola de calor. Fuente: El autor.

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1 PRUEBAS DE SECADO

Para la prueba de secado se tomaron muestras de 10 g de cada desecho limpio para posteriormente llevar a cabo el proceso descrito en la metodología; una vez seco el material, se tomó el peso de cada muestra para con estos datos poder determinar el % de humedad eliminado. En la mayoría de los casos el peso de la pérdida de humedad es mayor al 50%, siendo que los pétalos de clavel son los que más agua absorben. (Tabla 1).

Muestra	Peso de muestra húmeda (gr)	Peso muestra seca (gr)	Agua eliminada (gr)
Pétalos de rosa	10	4.4	5.6
Hojas de rosa	10	4.6	5.4
Pétalos de clavel	10	2.8	7.2

Tabla 1. Peso de las muestras de materia prima. Fuente: El autor.

4.2 PRUEBAS DE COCCIÓN DE MUESTRAS ORGÁNICAS

4.2.1 Cantidad de lignina eliminada

Para conocer la cantidad aproximada de lignina eliminada en cada cocción, se tomaron otras muestras similares a las que se usaron para la extracción de celulosa, estas fueron sometidas a las mismas condiciones de cocción; se realizó un lavado con agua, esto se pasó por un colador de tela y posteriormente las muestras se llevaron secado a 60°C durante 4 h. Se utilizó un colador de tela para evitar perder una gran cantidad de muestra al momento de quitar el excedente se liquidó presente. (Tabla 2).

Muestra	Peso de muestra seca antes de cocción (g)	Peso de muestra seca posterior a la cocción (g)	Cantidad aproximada de lignina eliminada
Pétalos de rosa	10	8.6	1.9
Pétalos de clavel	10	8.6	1.4
Hojas de rosa	10	8.1	1.9

Tabla 2. Cantidad aproximada de lignina eliminada. Fuente: El autor.

4.2.2 Lavado y blanqueado

Una vez que se ha realizado el proceso de blanqueado se pudo observar en las muestras acuosas la presencia de fibras cortas similares a las obtenidas de manera industrial, estas fibras son semejantes en cuanto a blancura con respecto a las presentadas en la literatura.



Ilustración 26. Colado de muestras. Fuente. El autor.



Ilustración 27. Muestras lavadas y blanqueadas. Fuente: El autor



Ilustración 28. Fibras en solución. Fuente: El autor

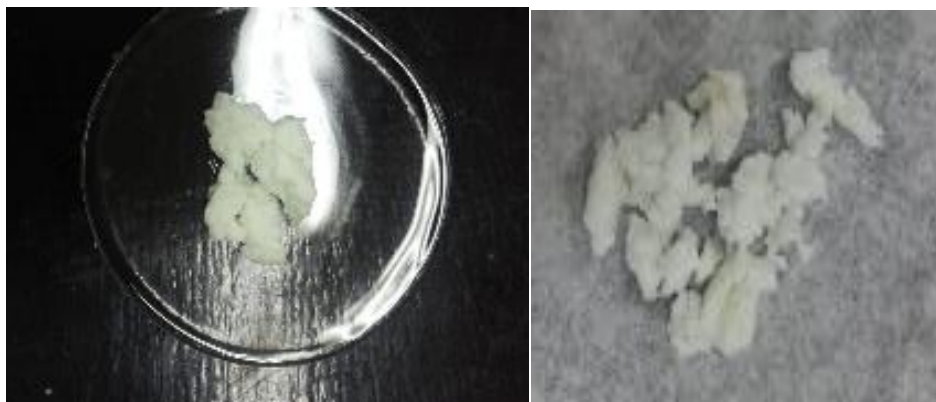


Ilustración 29. Pasta de celulosa. Fuente: El autor.

En cuanto a apariencia física mediante observaciones visuales se puede apreciar buen grado de blancura aparente, además de presentar texturas suaves y flexibles, al separar las muestras se pueden notar numerosas fibras de celulosa.

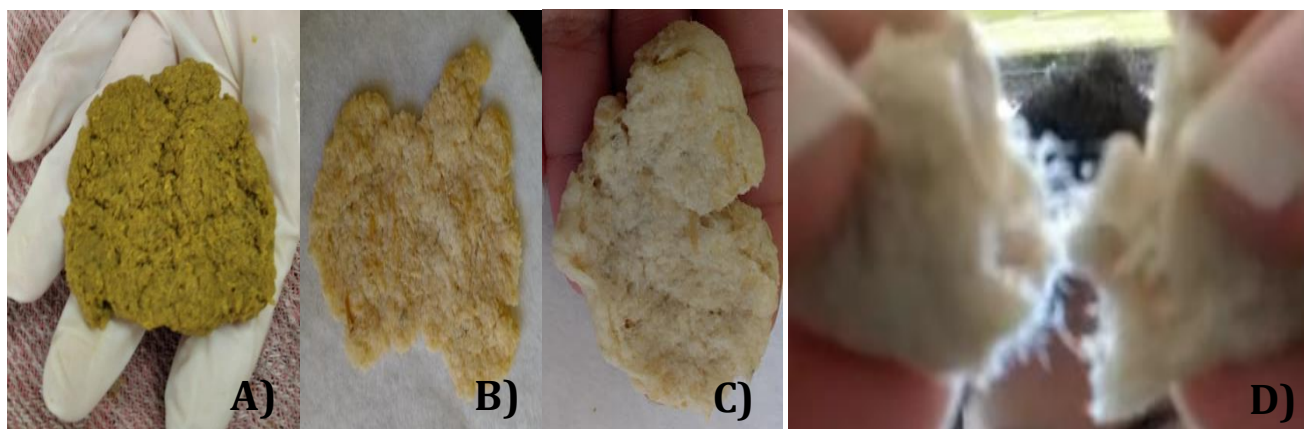


Ilustración 30. Apariencia física de las muestras A) Muestra lavada con agua de grifo; B) Muestra blanqueada con Peróxido de Hidrogeno; C) Muestra blanqueada con cloro; D) Muestra seca. Fuente. El autor.

4.3 PRUEBAS MORFOLÓGICAS

Las fibras blanqueadas, prensadas y secas presentan una apariencia física similar a la del papel kraf usado convencionalmente.



Ilustración 31. Celulosa extraída. Fuente: El autor

Se muestra la vista de celulosa en microscopio, de acuerdo con las imágenes de pulpa y pulpa blanqueada de medula de bagazo de caña, presentes en la investigación “Pasta blanqueada y azúcares fermentables a partir de medula de bagazo de caña”, presentadas por J. Jesús Vargas y colaboradores, se puede asegurar que las fibras y fragmentos obtenidos son correspondientes a las presentes en pulpa de celulosa.

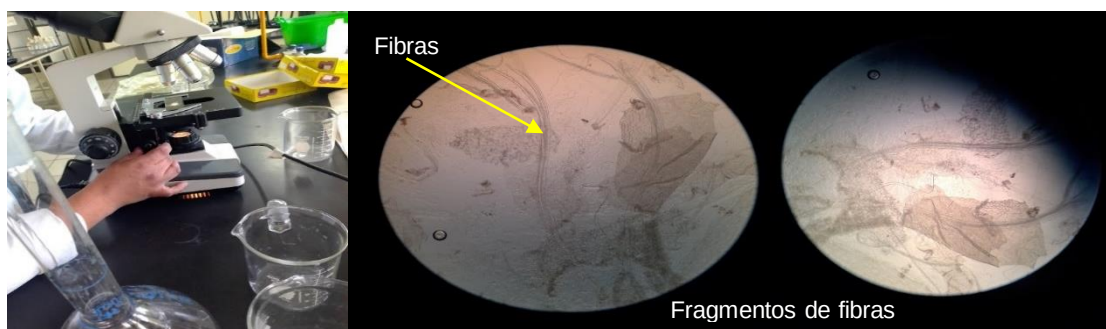


Ilustración 32. Celulosa en solución acuosa vista microscopio. Fuente: El autor

4.4 PRUEBAS DE IDENTIFICACIÓN

Se realiza una identificación mediante Espectroscopia del Infrarrojo Cercano, en el cual se estableció una base de datos con muestra base de papel kraft convencional, el cual se realizó con un equipo MicroNIR portátil, se realiza la comparación de la muestra base con respecto a las muestras obtenidas mediante la metodología presentada.



Ilustración 33. Introducción de base de datos A) Programa correspondiente para equipo MicroNIR; B) Lectura blanco de referencia; C) Lectura muestra base. Fuente: El autor.

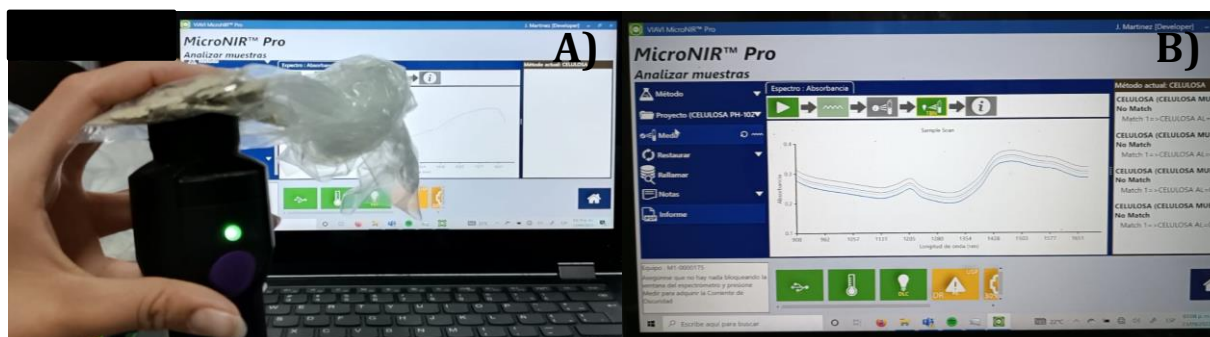


Ilustración 34. A) Lectura de muestra; B) Modelo resultante. Fuente: El autor.

Se establece un modelo que nos proporciona la información estructural de las muestras, analizando los principales picos de absorción de la celulosa obtenida.

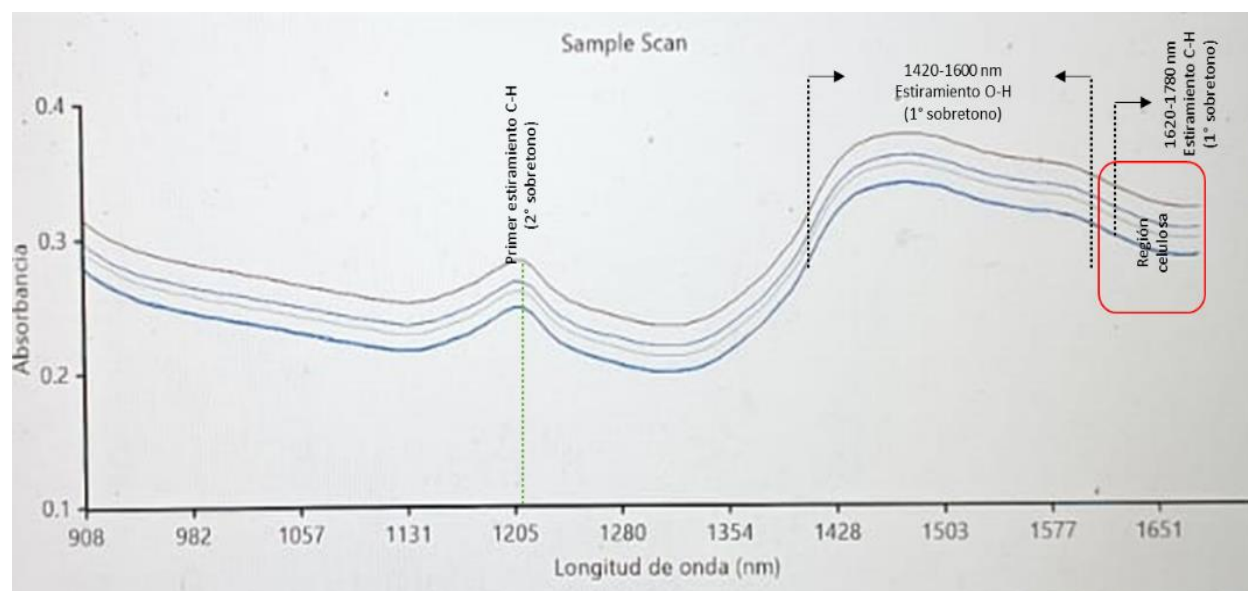


Ilustración 35. Espectros del Infrarrojo Cercano resultantes de las muestras de celulosa. Fuente: El autor

ECONOMÍA CIRCULAR



Plantación
fuente
renovable
(otros
usos)

Las flores plantadas se venden para ramos, adornos, entre otros usos que se le puedan dar



Llega con el consumidor para darle uso y satisfacer necesidades del consumidor.



Recolección
de residuos.

Se recolectan los pétalos de rosas claveles y las hojas de las rosas, se retiran los contaminantes, se separan y se clasifican.



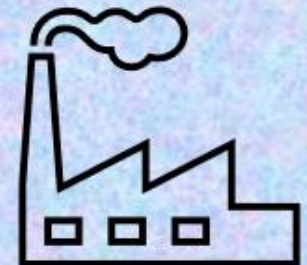
Producción
de la
celulosa.

Posterior mente ya clasificada se pasa a secar para realizar una cocción, se pesan y se mezclan con la solución, se realiza la cocción durante 12 min. Al termino se prosigue al lavado y blanqueo de este.



Consumo de
producto.

Fabricación
de producto



Teniendo ya lavado y blanqueado se pasa a un prensado y secado, para finalmente dar la forma que se le dará y entregar para la venta.

CONCLUSIONES

Se logró retirar aproximadamente el 50% de la humedad presente en las muestras.

En la literatura recopilada, la concentración de hidróxido de sodio varía de entre 10 hasta más del 25% m/m, la cantidad usada para este trabajo es de 6% m/m lo cual representa un ahorro significativo en el uso del reactivo, resultante de la modificación principalmente de la materia prima usada así como el cambio de condiciones en la metodología, disminuyendo costos entre otros, de igual manera el agua que se utilizó para realizar el lavado de las muestras fue de aproximadamente 2 L para obtener alrededor de 8 g de fibra lo que representa una opción competente en su consumo, ya que de manera industrial se invierten un promedio de 1L de agua para producir 5 g de fibras de celulosa.

Se obtuvo un porcentaje de eficiencia del 86.0 % en pétalos de rosa.

Las muestras obtenidas se caracterizaron mediante Espectroscopia de Infrarrojo Cercano, identificando los picos característicos de absorción correspondientes a los grupos específicos de la celulosa, además obtener imágenes de las fibras vistas desde el microscopio óptico, similares a las presentadas en la literatura.

Por lo que esta investigación proporciona una alternativa para la obtención de celulosa a partir de los desechos orgánicos de pétalos de flores.

Mediante la economía circular a pesar de que se trabaja con residuos se pretende trabajar de una forma sostenible con los materiales reutilizables para reducir desperdicios, darles una segunda vida y una mejor forma de terminar dándoles una utilidad.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

- Colabora en equipos interdisciplinarios y multiculturales en su ámbito laboral, con actitud innovadora, espíritu crítico, disposición al cambio y apego a la ética profesional.
- Utiliza las tecnologías de la información y comunicación como herramientas en la construcción de soluciones a problemas de ingeniería y difundir el conocimiento científico y tecnológico.
- Realiza innovación y adaptación de tecnología en procesos aplicando la metodología científica, con respeto a la propiedad intelectual.
- Se comunica en forma oral y escrita en el ámbito laboral de manera expedita y concisa.
- Demuestra actitud creativa, emprendedora y de liderazgo para impulsar y crear empresas que contribuyan al progreso nacional.
- Demuestra actitudes de superación continua para lograr metas personales y profesionales con pertinencia y competitividad.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- SEMARNAT. (2022). Gob.mx:8443. Recuperado el 3 de agosto de 2024, de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2021/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet6e33.html
- INEGI. (2021). Org.mx. Recuperado el 3 de agosto de 2024, de https://www.inegi.org.mx/contenidos/inegi/sma/doc/Revista_Eco1_2021.pdf
- Gobierno de México. (2019). Industria del Papel. Data México. Recuperado el 3 de agosto de 2024, de <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/industry/paper-manufacturing?yearsMunNoSector=option1>
- Gobierno de México. (2021). Producción Agropecuaria del Estado de México. Gob.mx. Recuperado el 3 de agosto de 2024, de https://secampo.edomex.gob.mx/sites/secampo.edomex.gob.mx/files/files/Produccion_Campo/Cierre_Prod_Agro_2020.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fsecampo.edomex.gob.mx%2Fsites%2Fsecampo.edomex.gob.mx%2Ffiles%2Ffiles%2FProduccion_Campo%2FCierre_Prod_Agro_2020.pdf%0AVisible%3A%200%25%20
- Gobierno de México. (2022). Estimación de las pérdidas económicas por la tala ilegal en México. Gob.mx. Recuperado el 3 de agosto de 2024, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/781684/162_2022_Perdidas_Economicas_por_Tala.pdf
- Valdivieso J. (2020). Diseño de un proceso para la obtención de papela partir de la celulosa extraída del olote de maíz (Zea mays L. var. Ceratina). Recuperado el 3 de agosto de 2024, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13964/3/96T00575.pdf>
- Pérez N. A. T. y Sanchez C. D, J (2020). Análisis de La Obtención de Fibras de Celulosa A Partir de Raquis de Banano Mediante Extracción Tradicional Y Extracción Acelerada. Edu.ec. Recuperado el 3 de agosto de 2024, de https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15661/1/T-3574_PEREZ%20NIEBLA%20ANDRES%20TEODORO.pdf
- Cruz A. R, Mendoza M. A. M, Chávez C. M. Y, Rivera A. J. L y Cruz G. M. J.

(2011). Aprovechamiento del bagazo de piña para obtener celulosa y bioetanol. Recuperado el 3 de agosto de 2024, de <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/267945/355543>

- López M. J. y Ferri A. J. M. (2021). Estudios de fuentes alternativas a la madera para la obtención de la celulosa. Recuperado el 3 de agosto de 2024, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/175418/Dhia%20-%20Estudio%20de%20fuentes%20alternativas%20a%20la%20madera%20para%20la%20obtencion%20de%20celulosa.pdf>
- García-Alcocer, N. K., Salgado-García, S., Córdova-Sánchez, S., Castañeda-Ceja, R., De la Cruz-Burelo, P., & Turrado-Saucedo, J. (2019). Evaluación de óxido de calcio e hidróxido de calcio para la obtención de fibra de celulosa. *Agro Productividad*, 12(7). <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1433>
- Velasco R. L. S, Estrada F. M, Reza S. G. C. M. (2020). Obtención de celulosa a base de plantas que crecen alrededor de las aguas de canal. Recuperado el 3 de agosto de 2024, de <http://hdl.handle.net/11191/7741>
- Eartrakulpaiboon S., Tonanon N. (2015). Preparation of microcrystalline cellulose from dissolving cellulose by cryo-crushing and acid hydrolysis.
- Macclesh del Pino P. L. A. (2021). Síntesis y Caracterización de Películas a Base CNF (Nanofibra de Celulosa) Incorporadas con Nanopartículas Metálicas. *Tecnm.mx*. Recuperado el 3 de agosto de 2024, de https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/5130/1/D08071254_donacion_tesis_bib.pdf
- Fernández D. (2020). *www.tesisenred.net*. Recuperado el 19 de Marzo de 2020, de <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/8503/Fundamentos-5.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Altesor Alice (2018). G. E. N. M. D. P. y. C. R., La industrial de la celulosa y sus efectos: certezas e incertidumbres, *Ecología Austral*, p.14
- Tejedor A.S. (2020). Química Orgánica Industrial. Recuperado el 3 de Agosto de 2024, de <https://www.eii.uva.es/organica/qoi.php>
- Chávez, S.M. y Domine, M. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. Recuperado el 3 de Agosto del 2024, de

<https://www.redalyc.org/pdf/3236/323629266003.pdf>

- Vargas R. J. J, Salazar R. E, Barrientos R. L, Pérez C.A, Rentería U. M, Rodríguez R.A, Navarro A. F y Rutiaga Q.J. (2015). Pasta Blanqueada y Azúcares Fermentables A Partir de Médula de bagazo de Caña Inecol.mx. Recuperado el 3 de agosto de 2024, de <https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/download/449/617?inline=1>
- Metrohm (2024). Control de calidad de pulpa y papel y detección de productos con espectroscopia NIR. Recuperado el 3 de agosto del 2024, de https://www.metrohm.com/es_mx/discover/blog/2024/nirs-qc-pulp-paper.html
- Springer Nature. Scientific Reports. (2024).. Determination of Hemicellulose, Cellulose and Lignin in Moso Bamboo by Near Infrared. Recuperado el 3 de Agosto de 2024, de <http://www.nature.com/scientificreports>
- Villa Guerrero, Y. P. (2021). Extracción de la celulosa a partir de los residuos de pasto común (*Festuca arundinacea*) para la elaboración de acetato de celulosa. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Stigsson, L. (2019). España Patente nº EP 2406291.
- Mayta, S., Edgar, N., Arnold, T. & Quintana, M. Universidad Nacional de Ingeniería (2023). Extracción y caracterización de celulosa a partir de residuos de hojas de maíz. Perú.
- Van Engelen, G. P., & Van Ingen Gijsbert Adrián y Meeuwissen, C. (2023). España Patente nº EP 2877550.
- Pinzón Ruidiaz, D. I., & Rodríguez Jiménez, C. Fundación Universidad de América (2022). Diseño conceptual de la extracción de celulosa presente en la borra de café por medio de una digestión kraft. Bogotá, Colombia.
- Stigsson, L. (2020). Internacional Patente nº WO 2020/251463 A1.
- Yuichi, N., & Homma, I. y. (2021). United States Patente nº US 11,111, 631 B2
- Kakubari, R., & Sanuki, A. (2021). United States Patente nº US 10,941,218 B2.
- Aguiñaga, M.E.E. y Treviño, E.B.L. (2022). Investigación; Seis Casos de Éxito de Economía Circular en México y América Latina. Recuperado el 12 de Agosto de 2024, de <https://egade.tec.mx/es/egade-ideas/investigacion/seis-casos-de-exito-de-economia-circular-en-mexico-y-america-latina>

- Gobierno de México. (2021). Economía Circular. Recuperado el 12 de Agosto de 2024, de <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/economia-circular?idiom=es>
- INEGI. (2023). Midiendo la economía circular en México. Recuperado el 12 de Agosto de 2024, de <https://rde.inegi.org.mx/index.php/2023/01/04/midiendo-la-economia-circular-en-mexico/w>
- Gobierno de México. (2024). Fabricación de Pulpa, Papel y Cartón. Recuperado el 12 de Agosto de 2024, de <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/industry/pulp-paper-and-paperboard-mills>
- Gobierno de México. (2023). Celulosa y sus Derivados Químicos, no Expresados ni Comprendidos en otra Parte, en Formas Primarias. Recuperado el 12 de Agosto de 2024, de <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/chemical-cellulose-and-its-derivatives-not-specified-or-included-elsewhere-in-primary-forms>
- Cámara del Papel (2023). Cámara del Papel: Historia del Papel. Recuperado el 12 de Agosto de 2024, de <https://camaradelpapel.com.mx/historia-del-papel.php>