

## OBTENCIÓN DE CELULOSA MICROCRISTALINA A PARTIR DE DESECHOS AGRÍCOLAS DEL CAMBUR (*Musa sapientum*). SÍNTESIS DE CELULOSA MICROCRISTALINA

Paola Romero Viloria<sup>1\*</sup>, Shirley Marfisi<sup>1</sup>, Pedro Oliveros Rondón<sup>1</sup>, Blanca Rojas de Gáscue<sup>2</sup>, Gladys Peña<sup>1</sup>

1) Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento de Ingeniería Química, Grupo de Investigación de Sistemas Dispersos y Electroquímica, Barcelona, Venezuela. Correo electrónico: [rvpaola@gmail.com](mailto:rvpaola@gmail.com); [smarfisi@udo.edu.ve](mailto:smarfisi@udo.edu.ve)

2) Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas "Dra. Susan Tai", Universidad de Oriente. Cumaná. Correo electrónico: [blanca\\_gascue@yahoo.com](mailto:blanca_gascue@yahoo.com)

Recibido: Julio 2014; Aceptado: Septiembre de 2014

### RESUMEN

Se estudió la obtención de celulosa microcristalina a partir del pseudotallo y pinzote de la planta de *cambur* (*Musa sapientum*), utilizando un procedimiento experimental que consistió en siete etapas: a) Preacondicionamiento de las fibras del pseudotallo y pinzote; b) Extracción *Soxhlet* con tolueno-etanol, y c) Lavado con agua caliente; d) Tratamiento con solución ácida de CH<sub>3</sub>(COOH) al 80% m/m y de HNO<sub>3</sub> al 65% m/m a 110 y 120°C; e) Tratamiento con solución alcalina (NaOH y KOH al 10 y 20% m/m), f) Lavado, filtrado y secado; g) Molienda y tamizado. Las muestras obtenidas se caracterizaron mediante microscopía electrónica de barrido (MEB), microanálisis por espectroscopia de emisión de rayos X (EDS) y espectroscopia infrarroja (FTIR). En las micrografías se observaron partículas fibrosas de forma irregular, semejantes a la morfología de la celulosa comercial *Avicel* utilizada como referencia. En el análisis EDS se identificaron los elementos Na, Zn y K en mayor proporción, seguido de los elementos P y S. Los espectros FTIR no reflejaron picos de absorción correspondientes a la lignina cuando la microcelulosa provenía del pseudotallo tratado a 110°C en medio ácido, igualmente para el pinzote a 120°C.

**Palabras claves:** celulosa microcristalina, desecho agrícola, *Musa sapientum*.

### ABSTRACT

Obtaining microcrystalline cellulose from pseudostem and pinzote of banana plant (*Musa sapientum*) using an experimental procedure consisted of seven stages was studied. The seven step process included: a) preconditioning pseudostem and pinzote fibers, b) *soxhlet* extraction with toluene – ethanol, c) hot water treatment, d) acid treatment with 80% w/w CH<sub>3</sub>(COOH) - 65% w/w HNO<sub>3</sub> to 110 and 120°C, e) alkaline treatment with NaOH and KOH (10 and 20% w/w), f) washing, filtering and drying; g) grinding and sieving. The obtained samples were characterized by scanning electron microscopy (SEM), microanalysis Emission Spectroscopy of X-ray (EDS) and infrared spectroscopy (FTIR). In the micrographs, similar to the morphology of the commercial cellulose *Avicel* used as reference, irregularly shaped fibrous particles were observed. In the EDS analysis, Na, Zn and K elements were identified in higher proportion, followed by P and S. FTIR spectra reflected no absorption peaks corresponding to lignin when microcrystalline cellulose came pseudostem treated at 110°C in acidic medium also for the pinzote to 120°C.

**Keywords:** microcrystalline cellulose, agricultural waste, *Musa sapientum*.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista ambiental, la eliminación de desechos es uno de los problemas más grandes que deben enfrentar los países; producir más no significa usar más sino reusar de manera eficiente. Los residuos agrícolas, constituidos principalmente por raíces, hojas, tallos u otras partes de plantas, son en su mayoría una significativa fuente de biomasa lignocelulósica, generalmente desechada. La celulosa es el compuesto orgánico de mayor abundancia en la naturaleza y de gran

importancia a nivel biológico e industrial; es el principal componente en la mayoría de las fibras naturales como: algodón, lino, cáñamo, yute, sisal, caña de azúcar, entre otras. En la medida que se aprovechen los materiales lignocelulósicos se consigue un doble efecto: el beneficio ecológico al eliminar una fuente de contaminación y el económico al dotar al material de un valor agregado [1-7].

La celulosa microcristalina (MCC) es un derivado de la  $\alpha$ -celulosa despolimerizada, en la cual la pared celular de la fibra ha sido descompuesta en fragmentos de tamaños que varían de decenas a algunas centenas de micras [8]. Se obtiene mediante una hidrólisis ácida controlada, resultando una fracción soluble en ácido y otra insoluble. Esta última fracción contiene más de 97 % (en base seca) de celulosa de alta cristalinidad (MCC) y se caracteriza por ser un polvo blanco y fino, inodoro, inerte, insoluble en agua, en solventes orgánicos y ácidos diluidos, y parcialmente soluble en álcalis diluidos [9-12].

El objetivo de esta investigación consistió en obtener celulosa microcristalina a partir del pseudotallo y pinzote del cambur desechados en las plantaciones durante la etapa de recolección del fruto, para lo cual se propuso un procedimiento con las mejores condiciones logradas en investigaciones por otros autores [13-18]. La importancia de este estudio deriva en el aprovechamiento de residuos para la obtención de una fibra natural de alto valor agregado, biodegradable y útil como materia prima para la producción de una gran cantidad de materiales poliméricos; así como un camino hacia la soberanía tecnológica y el conocimiento libre para la sustitución de importaciones con recursos locales, y la consecuente ventaja para el fortalecimiento de la industria nacional.

La celulosa microcristalina tiene amplio uso en la elaboración de comprimidos, aglutinantes, lubricantes, coadyudantes de recubrimientos para comprimidos, dispersantes en preparaciones líquidas, vehículo para colorantes y pigmentos, mejorador de fluidez en polvos y granulados, y de estabilidad de los principios activos en diversas formulaciones. Puede sustituir al almidón, lactosa y otros azúcares en la preparación de alimentos, mejorando la compresibilidad de los ingredientes y haciendo posible su aplicación tanto en los métodos de fabricación por vía húmeda (granulación húmeda) o seca (compresión directa o granulación), entre otros usos [8, 19, 20].

A escala industrial, la celulosa microcristalina se obtiene mediante la hidrólisis de la madera y del algodón de celulosa, utilizando ácidos minerales diluidos. Otras fuentes potenciales de celulosa son: cáscaras de coco, bagazo de caña de azúcar, ramio, paja de trigo, arroz, yute, lino, fibras de lino y de cáscara de soja; esta variedad explica que las propiedades del producto sean diferentes en cuanto a cristalinidad, contenido de humedad, superficie porosa, peso molecular, entre otras. La producción de MCC a partir de fibras naturales se realiza mediante tratamientos químicos que

involucran álcalis y/o bisulfitos para separar la lignina y extraer la hemicelulosa. Cada método tiene sus ventajas y desventajas respecto a la cantidad, pureza y propiedades de la celulosa obtenida.

Sun *et al.* [13] estudiaron tres procedimientos para el aislamiento de celulosa en el bagazo de caña de azúcar, mediante la extracción con tolueno-etanol, seguido de un tratamiento con agua caliente y tratamientos secuenciales con peróxido de hidrógeno (procedimiento 1), deslignificación con un compuesto clorado (procedimiento, 2) y una mezcla de ácido acético y ácido cítrico (procedimiento 3); con diferentes rendimientos de celulosa de alta pureza.

*El-Sakhawy y Hassan* [14] analizaron las propiedades físicas y mecánicas de la celulosa microcristalina sintetizada a partir de los residuos agrícolas bagazo de caña de azúcar, paja de arroz y tallos de algodón; hidrolizados con ácidos clorhídrico y sulfúrico, respectivamente. Concluyeron que el tipo de ácido no afecta en gran proporción las propiedades de la celulosa, tales como: grado de polimerización, índice de cristalinidad, tamaño de cristal y estabilidad térmica.

*Canché et al.* [15] realizaron un estudio sobre la factibilidad de obtención de celulosa a partir de desechos agrícolas del banano, mediante un proceso de cuatro etapas: hidrólisis ácida, cloración, extracción alcalina y blanqueo. Desarrollaron cuatro tratamientos variando pH (9,2 y 8,4) en la etapa de cloración y la concentración del álcali (20 y 25 % m/m NaOH) en la hidrólisis alcalina. Observaron que la variación de estos factores afecta el rendimiento de la celulosa y su peso molecular, siendo el pH la variable de mayor influencia. *Miranda* [16] estudió la sacarificación enzimática del pseudotallo del banano y mediante un análisis de composición determinó que contiene 23,60% de celulosa y 12,39% de hemicelulosa, en peso. La mayor cantidad de celulosa se obtuvo del pseudotallo pretratado con una solución al 0,5% m/m de NaOH y de los azúcares del pseudotallo pretratado con una solución al 2% m/m de NaOH.

*Morán et al.* [17] realizaron la extracción de celulosa y nanocelulosa a partir de la fibra sisal, mediante dos procedimientos basados en tratamientos químicos usuales (hidrólisis ácida, cloración, extracción alcalina y decoloración). Con el primer procedimiento se logró una celulosa purificada con menor distribución de tamaño, mientras que con el segundo se requirieron más etapas. *Ohwoavworhua y Adalakun* [18] estudiaron las características físicas de la celulosa microcristalina sinterizada del tallo de *Sorghum caudatum* (especie de sorgo), con el fin de evaluar su utilidad en comprimidos farmacéuticos. Obtuvieron un producto con las siguientes propiedades organolépticas: polvo blanco, inodoro, insípido y áspero que se vuelve violeta-azul en presencia de  $ZnCl_2$ , sin impurezas orgánicas, almidón ni dextrina, pH de 6,8 y soluble en solución amoniacal de tetraamina de cobre. Contiene sustancias solubles en agua menores de 0,2%, cenizas totales de 0,14% y una estructura conformada por partículas fibrosas de forma irregular; comparándose favorablemente al producto comercial *Avicel PH 101*.

## PARTE EXPERIMENTAL

**Procedimiento para la obtención de celulosa microcristalina.** El procedimiento experimental propuesto se resume en la Figura 1. A continuación se explica, de manera detallada, cada etapa del proceso.

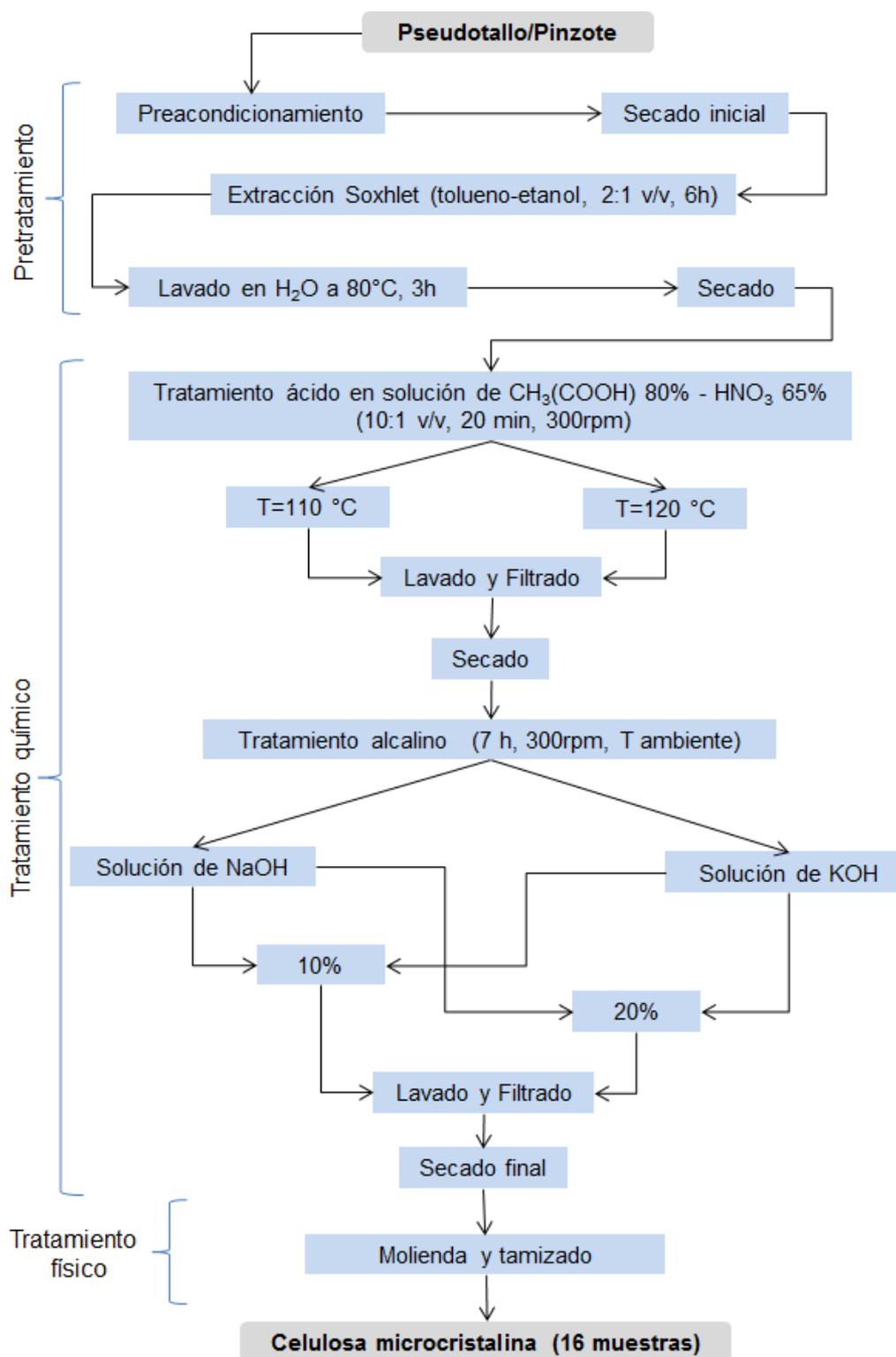


Figura 1. Esquema del procedimiento para la obtención de celulosa microcristalina a partir del pseudotallo y pinzote de una planta de *cambur*.

**Recolección de la materia prima.** Como sustrato se utilizó el pseudotallo y pinzote de una planta de cambur, variedad *Manzano*, producido en una plantación local ubicada en la población *La Laguna*, parroquia *Aricagua*, municipio *Montes* del estado *Sucre*, *Venezuela*. Las muestras fueron transportadas en cavas a una temperatura de 4°C para evitar la proliferación de microorganismos que degradaran el material.

**Preacondicionamiento de las fibras.** El pseudotallo y pinzote se cortaron en secciones de 15 cm y se lavaron con abundante agua. El pseudotallo se separó en capas y se cortó en trozos de 2,5 cm·2,5 cm aproximadamente, los cuales fueron lavados con agua destilada y secados a 55°C en un horno (*Blue M.*, modelo OV-18A, 120V/1 HP/60 Hz, intervalo 38-288°C) hasta que el peso no varió (secado inicial). El pinzote se cortó en secciones de 7,5 cm y se desfibró de manera manual, para luego lavarlo con agua destilada y secarlo en el horno. El porcentaje de humedad en las fibras después del secado inicial fue 92% en promedio y se obtuvo entre 5 a 6 kg de pseudotallo seco a partir de una planta de *cambur* variedad *Manzano* (peso aproximado de 70 kg).

**Extracción con tolueno-etanol.** Aproximadamente 15 g de material seco fueron tratados con 240 mL de una mezcla formada por dos partes de tolueno (*Riedel-de Haën*; 92,14 g·mol<sup>-1</sup>; 0,864 g·L<sup>-1</sup>; 99,7% pureza) y una parte de etanol (*Merck*; 46,07 g/mol; 0,789 g·mL<sup>-1</sup>; 95% pureza) en un extractor *Soxhlet*, por un tiempo de 6 horas. Posteriormente, se retiró el material del extractor, se lavó con etanol para eliminar el tolueno remanente y con abundante agua destilada para retirar el etanol.

**Lavado con agua caliente.** El material extraído en la etapa anterior se trató con 600 mL de agua caliente a 80°C durante 3 horas, dejando enfriar, decantando y lavando nuevamente con abundante agua destilada. Posteriormente, el material se secó en un horno a 55°C, hasta que su peso se mantuvo constante.

**Tratamiento ácido.** Después del lavado y secado, la fibra fue tratada con 400 mL de una solución de ácido acético CH<sub>3</sub>(COOH) (*Riedel-de Haën*; 60,05 g·mol<sup>-1</sup>; 1,05 g/mL; 99,8% pureza) al 80% m/m y de ácido nítrico HNO<sub>3</sub> (*Merck*; 63,01 g·mol<sup>-1</sup>; 1,40 g/mL; 65% pureza) al 65% m/m en una relación 10:1, con agitación a 300 rpm y temperatura de 110°C durante 20 minutos (agitador magnético con plancha de calentamiento *Jenway 1000*, 110V/500W/60Hz); después de 10 min de tratamiento las fibras disminuyeron de tamaño, facilitando su agitación. La muestra tratada adquirió una coloración amarillenta y fue separada de la solución ácida por decantación, luego lavada con etanol para retirar el ácido remanente. Se realizaron lavados sucesivos con agua destilada, filtrado al vacío y secado en horno a 55°C, obteniéndose finalmente una pulpa de celulosa (ver Figuras 2a y 2b). El procedimiento anterior se repitió para una temperatura de 120°C.

**Tratamiento alcalino.** Una vez realizado el tratamiento ácido, la pulpa seca fue tratada con

200 mL de solución de álcali durante 7 horas, a temperatura ambiente y agitación a 300 rpm. En esta etapa se hicieron dos variaciones en el diseño experimental: concentración de álcali a 10 y 20% m/m, y tipo de álcali NaOH (*Riedel-de Haën*; 40 g·mol<sup>-1</sup>; 99 % pureza) y KOH (*Merck*; 56,11 g/mol; 85% pureza). Después de 2 a 3 horas en hidrólisis básica y agitación, las muestras comenzaron a disolverse y tomar una coloración marrón; después de 7 horas se dejaron reposar para separar por decantación la mayor cantidad de celulosa. Se realizaron lavados con etanol para retirar la base remanente, seguido de lavados con agua destilada; la coloración de la celulosa se tornó entre blanco y crema (ver Figura 2c). Posteriormente, el producto fue filtrado al vacío y secado en un horno a 55°C.

**Molienda y tamizado.** Para reducir el tamaño de partícula del material seco se utilizó un mortero y se molió en forma manual (ver Figura 2d). Luego, se clasificó el tamaño del material pulverizado mediante dos tamices de mallas de 250 y 125 µm.

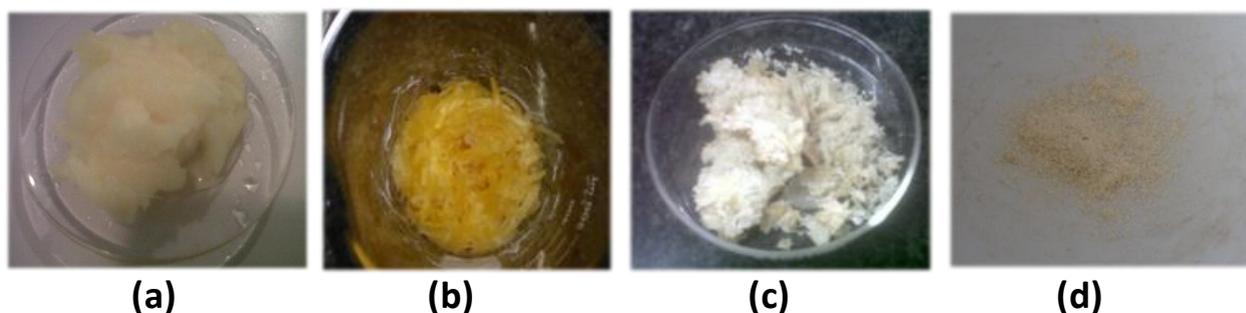


Figura 2. Muestras de celulosa después del tratamiento ácido del pseudotallo (a) y pinzote (b), del tratamiento alcalino del pseudotallo (c), de la molienda y tamizado (d).

**Caracterización de las muestras.** La materia prima y la celulosa microcristalina sinterizada a partir del procedimiento anterior se sometieron a varios ensayos analíticos, descritos a continuación.

**Microscopía electrónica de barrido (MEB).** Se realizaron micrografías de las muestras de materia prima y de celulosa microcristalina en un microscopio electrónico de barrido *Hitachi S-800FE* con emisión de campo, que permitió obtener imágenes de electrones secundarios con voltajes de aceleración de 0,5 a 30 kV y alta resolución. Se utilizó una pequeña porción de cada muestra tomando en consideración el tamaño del portamuestra del microscopio, luego se cubrió con una capa muy delgada de oro (1-100 nm de espesor) para lograr una superficie homogénea y conductora, y se colocó dentro de la columna de vacío del microscopio.

**Microanálisis por espectroscopia de emisión de rayos X (EDS).** El microanálisis se realizó con el equipo de espectroscopia de rayos X (EDS) *Thermo Noran System Seven*, con detector *Thermo EDS* de Si (Li) y ventana para elementos livianos *Novar*, acoplado al microscopio electrónico de barrido. El analizador *EDS* permitió identificar la distribución cuantitativa de los

elementos químicos presentes en las muestras y estudiar de manera general algunas áreas definidas en éstas.

**Análisis por espectroscopia infrarroja (FTIR).** Los espectros de infrarrojo se obtuvieron mediante un espectrómetro de infrarrojo con transformada de *Fourier* (FTIR) *Perkin Elmer* en un rango de longitud de onda de 4.400 a 400  $\text{cm}^{-1}$ . Cada una de las muestras se mezcló con bromuro de potasio (KBr) puro y seco para remover el efecto dispersor de los cristales grandes. La mezcla se trituró en un mortero de ágata hasta obtener un polvo fino, con una proporción de muestra/KBr de 1:100 (relación en peso). Una pequeña porción del polvo se colocó en un portador de muestra para preparar pastillas mediante una prensa de troquel mecánica. La pastilla se colocó en una placa y se analizó con el espectrómetro.

**Análisis estadístico del diseño experimental.** El procedimiento propuesto involucró un diseño multifactorial de  $2^4$  (dos niveles y cuatro factores): Materia prima (pseudotallo y pinzote), temperatura en el tratamiento ácido (110 y 120°C), tipo de álcali (NaOH y KOH) y concentración de álcali (10 y 20% m/m). Para determinar el efecto significativo de estos factores en la extracción de la celulosa se realizó un análisis de varianza multifactorial, mediante el programa *Statgraphics 4.1*, siendo la variable dependiente la masa de celulosa obtenida después del tratamiento alcalino (antes de la etapa de molienda).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Microscopía electrónica de barrido.** Con la aplicación de esta técnica se logró la caracterización morfológica de las muestras y la detección de impurezas, evidenciadas por el contraste en el tono (las impurezas no permiten la conductividad en ese sector), como se indica en las Figuras 3 a 6. En la Figura 3 se observa en las micrografías de las fibras de pseudotallo y pinzote antes del tratamiento químico, que ambos presentan una estructura conformada por fibrillas aglomeradas entre sí, formando capas debido a la presencia de hemicelulosa y lignina que actúan como “pegamento”; las fibras del pinzote están ligeramente menos espaciadas que del pseudotallo. Las micrografías de las fibras después del tratamiento químico se muestran en la Figura 4 y después de la molienda y tamizado en la Figura 5; comparando con el producto comercial en la Figura 6.

En la Figura 4 se observa que las fibras de las microestructuras obtenidas del pseudotallo están más separadas entre sí que las del pinzote; con presencia de residuos que pueden asociarse a la lignina no removida en su totalidad. Una diferencia significativa en la morfología de las celulosas fue evidenciada al variar el álcali: las celulosas tratadas con NaOH presentaron una morfología más cilíndrica con diámetros entre 15 a 50  $\mu\text{m}$ , mientras que las tratadas con KOH fueron fibras más aplanadas y con diámetros entre 20 a 40  $\mu\text{m}$ . Sin embargo, esta diferencia no fue relevante después

de la etapa de molienda y tamizado, donde todas las muestras presentaron una morfología de partículas fibrosas con forma irregular (micrografías en Figura 5) semejante a la estructura de la celulosa microcristalina comercial (Figura 6).

**Microanálisis por espectroscopia de emisión de rayos X (EDS).** Con esta técnica se obtuvo información cuantitativa sobre la composición elemental de la superficie de las celulosas microcristalinas, mediante la obtención de rayos X característicos de la interacción de los electrones con el material analizado. Los elementos químicos identificados en mayor proporción (% en peso) fueron: Na (5-21), Zn (7-60) y K (4-29) tanto en las muestras de microcelulosa provenientes de los desechos del cambur como en el producto comercial *Avicel*.

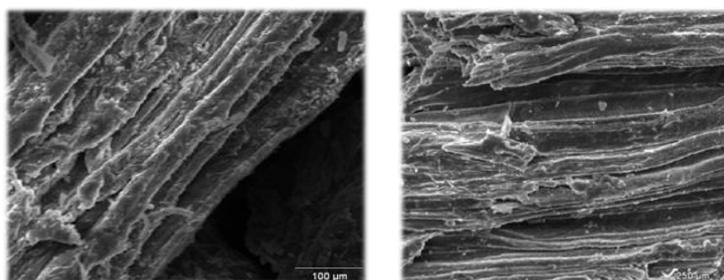


Figura 3. Micrografías de materia prima: pseudotallo (izquierda) y pinzote (derecha).

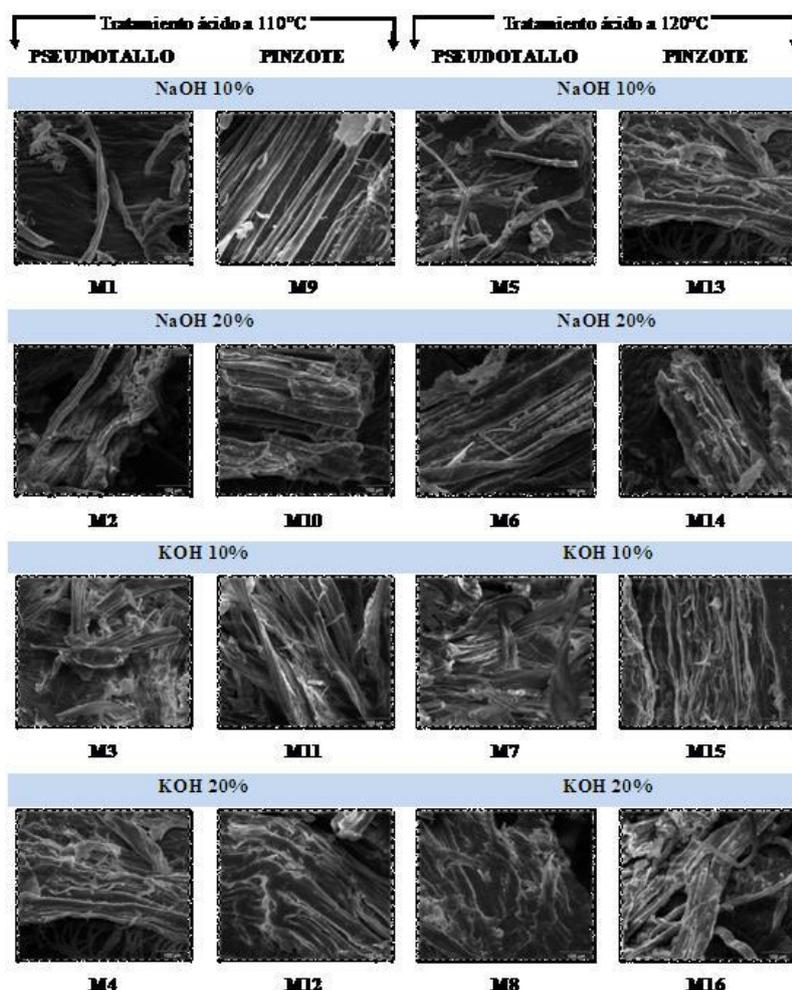


Figura 4. Micrografías de celulosas obtenidas después del tratamiento químico.

Una parte de los elementos Na y K son aportados en el tratamiento alcalino debido a que la biomasa consume álcali durante esta etapa [21]. La presencia de ciertos metales y elementos vitales como P y S son consecuencia del tipo de suelo de donde provienen las plantas de cambur. Considerando que la celulosa *Avicel* es obtenida mediante un procedimiento distinto al propuesto en esta investigación, no hubo una diferencia marcada entre los elementos presentes en ésta y la microcelulosa obtenida, sólo destacaron en mayor porcentaje los elementos Ni y Ba.

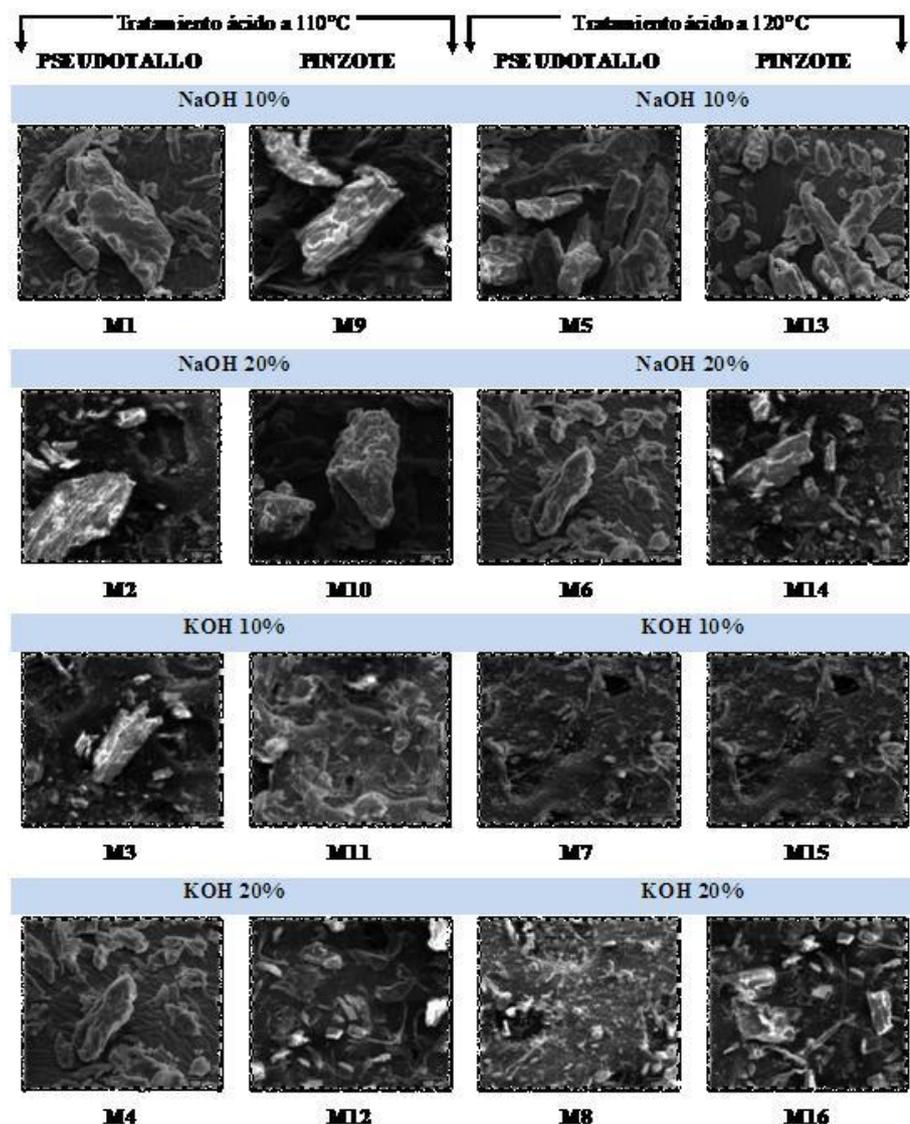


Figura 5. Micrografías de celulosas después de la etapa de molienda.

**Análisis por espectroscopia infrarroja (FTIR).** Esta técnica permitió caracterizar la estructura química de las microcelulosas mediante la identificación de los grupos funcionales presentes, a través del estudio de la absorción o emisión de energía radiante originada por la interacción entre la radiación electromagnética y las muestras analizadas. En las Figuras 7 a 12 se muestran los espectros IR de algunas de las muestras de microcelulosa obtenidas en este estudio,

que al comparar con el espectro del producto comercial (Figura 13) se observan tendencias semejantes. Un espectro IR sirve como huella digital única de un compuesto, de hecho, la región compleja del espectro de  $1.500$  a  $400\text{ cm}^{-1}$  se llama *región de huella digital*; si dos muestras tienen espectros IR idénticos es casi seguro que sean compuestos idénticos [22].

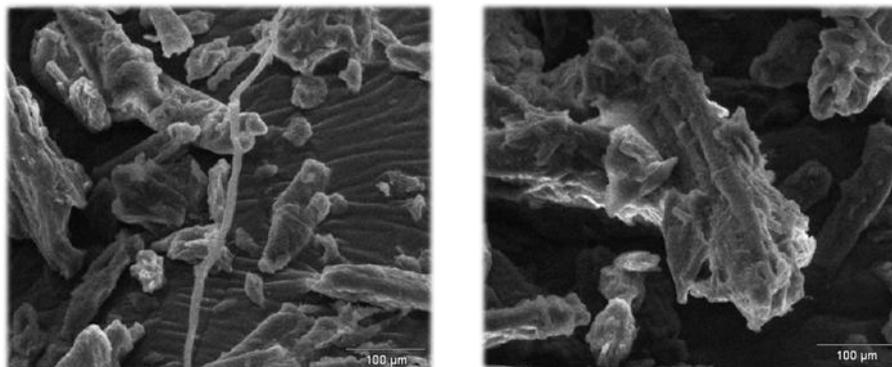


Figura 6. Micrografías de la celulosa microcristalina comercial (Avicel).

En los espectros IR de las figuras 7 a 13 destacan dos regiones principales de absorción, la primera a altas longitudes de onda entre  $3.000$  y  $2.300\text{ cm}^{-1}$  y la segunda en el rango de  $1.650$  y  $450\text{ cm}^{-1}$ . Se observan picos en el intervalo  $3.650$ - $3.400\text{ cm}^{-1}$  debido a la tensión OH de los puentes de hidrógeno intermoleculares. También, un pico en la región  $3.000$ - $2.850\text{ cm}^{-1}$  (señalado en cada espectro), el cual se asocia al estiramiento de los grupos CH presentes en la celulosa. El pico de absorción entre  $1.066$  y  $1.050\text{ cm}^{-1}$  se atribuye a las vibraciones de los grupos C-O-C del anillo de la  $\beta$ -glucopiranososa que constituye a la celulosa [13].

Las muestras M3 y M4 presentan picos de absorción entre  $1.630$  y  $1.760\text{ cm}^{-1}$  correspondientes a las vibraciones de los grupos C=O presentes en la hemicelulosa. Los espectros de las muestras M2, M7, M10 presentan picos en el intervalo de  $1.475$ - $1.600\text{ cm}^{-1}$  correspondientes a la vibración de la estructura de los anillos aromáticos (C = C) característicos de la lignina [22], lo que indica que su remoción fue parcial en estas muestras.

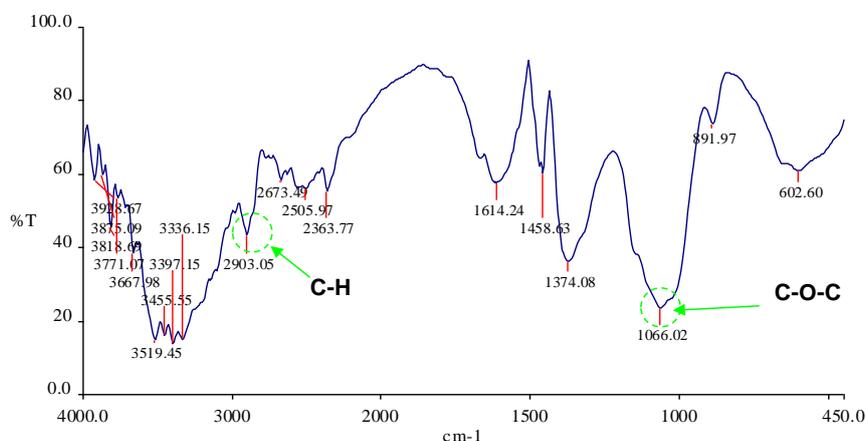


Figura 7. Espectro IR de la muestra M1 (pseudotallo después del tratamiento ácido a  $110^{\circ}\text{C}$  y tratamiento básico con solución de NaOH al 10% m/m).

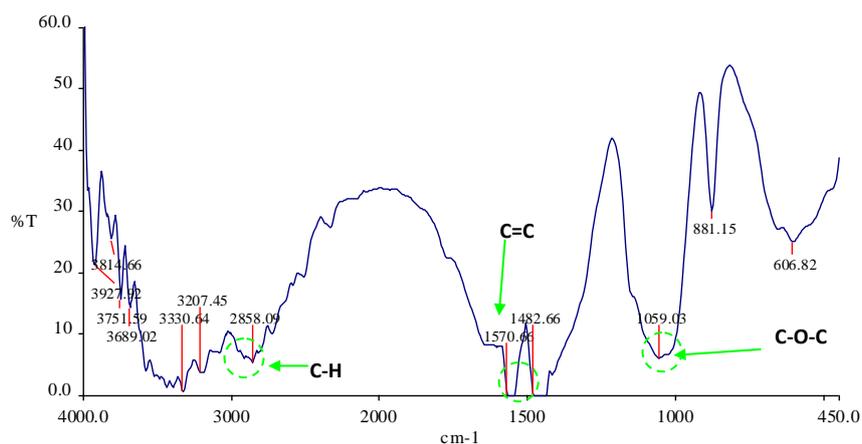


Figura 8. Espectro IR de la muestra M2 (pseudotallo después del tratamiento ácido a 110°C y tratamiento básico con solución de NaOH al 20% m/m).

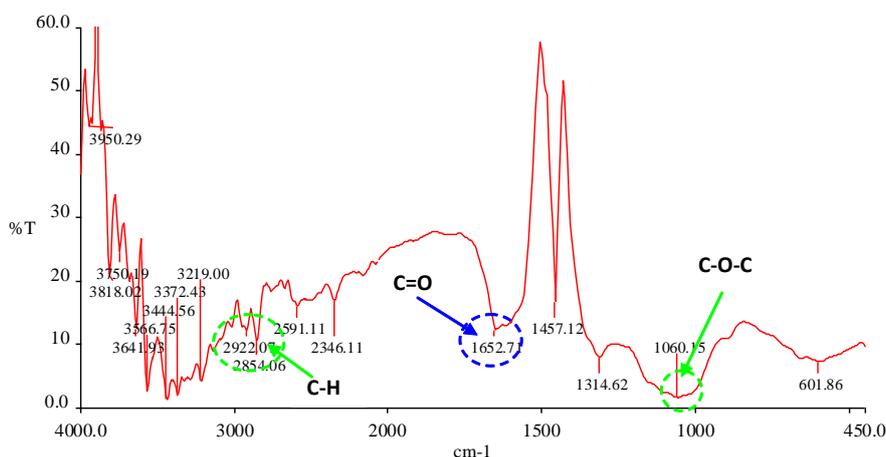


Figura 9. Espectro IR de la muestra M3 (pseudotallo después del tratamiento ácido a 110°C y tratamiento básico con solución de KOH al 10% m/m).

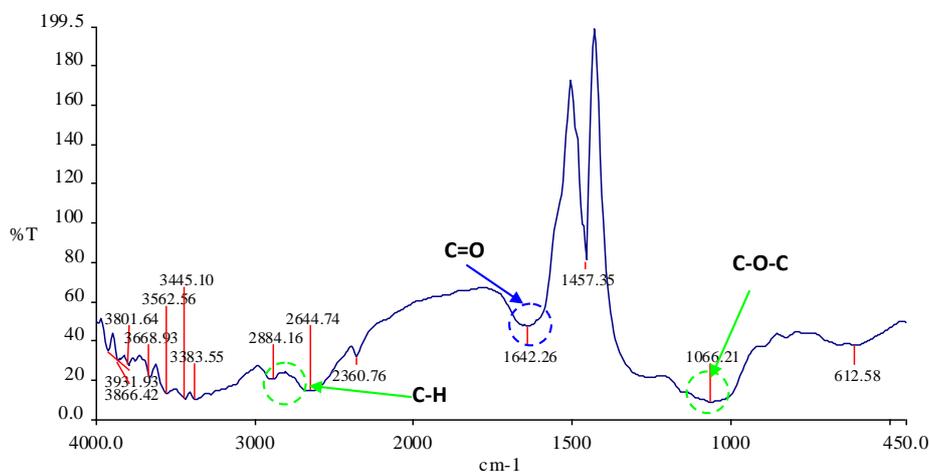


Figura 10. Espectro IR de la muestra M4 (pseudotallo después del tratamiento ácido a 110°C y tratamiento básico con solución de KOH al 20% m/m).

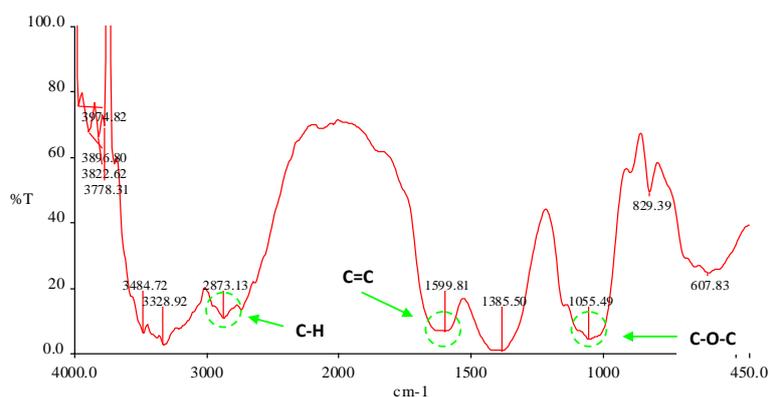


Figura 11. Espectro IR de la muestra M7 (pseudotallo después del tratamiento ácido a 120°C y tratamiento básico con solución de KOH al 10% m/m).

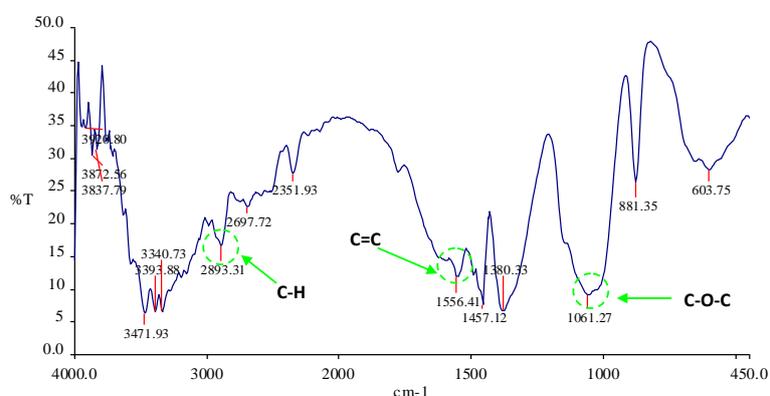


Figura 12. Espectro IR de la muestra M10 (pinzote después del tratamiento ácido a 110°C y tratamiento básico con solución de NaOH al 20% m/m).

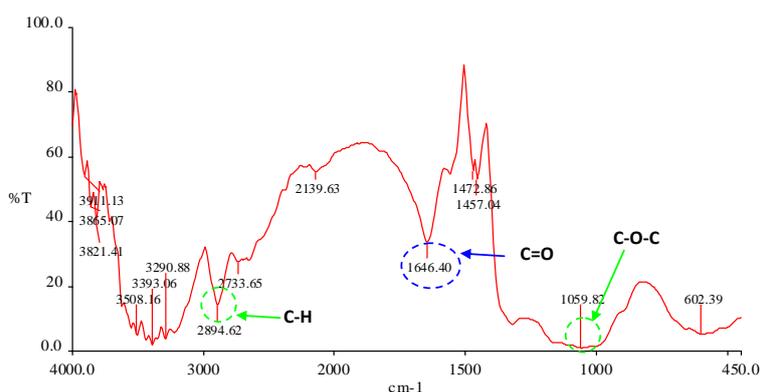


Figura 13. Espectro IR de la celulosa microcristalina comercial Avicel.

**Efecto de factores en el análisis multifactorial.** El análisis de varianza indicó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los factores materia prima, temperatura del tratamiento ácido y tipo/concentración de álcali sobre la masa de la celulosa microcristalina de las 16 muestras obtenidas, con una confiabilidad del 95%. El análisis de mínimos cuadrados medios arrojó que las medias más altas en la masa de microcelulosa se obtuvieron

cuando se trabajó con las siguientes condiciones: pinzote como materia prima, 120°C de temperatura durante el tratamiento ácido, NaOH como álcali y una concentración de 10% m/m de NaOH; adicionalmente, se estudió el efecto producido sobre la composición química de las celulosas. En la Figura 14 se observa que las muestras derivadas del pseudotallo tratadas a una temperatura de 110°C durante la hidrólisis ácida (muestras M1 a M4) arrojaron espectros similares al de la celulosa comercial (CC), independientemente del álcali y su concentración. Sin embargo, las muestras derivadas del pseudotallo y tratadas a 120°C durante la hidrólisis ácida (M5 a M8) arrojaron espectros diferentes (ver Figura 15). En los espectros de las celulosas M2, M6, M7, M8 y M10 hay picos de absorción en el intervalo de 1.475 a 1.600  $\text{cm}^{-1}$  relacionados con las vibraciones de los anillos aromáticos de la lignina; esto indica que un aumento en la temperatura durante la etapa ácida no favorece la remoción de ésta.

En la figura 16 se observan los espectros IR de las muestras a partir del pinzote y tratados a 110 °C durante la hidrólisis ácida (M9 a M12). La muestra M9 tratada con una solución al 10 % m/m de NaOH arrojó un espectro más cercano al de referencia (CC), a diferencia de la muestra M10 (tratada con 20% m/m de NaOH). Por otro lado, las muestras M11 y M12 tratadas con una solución al 10 y 20% m/m de KOH, respectivamente, arrojaron espectros similares entre sí. Un aumento en la concentración del álcali KOH favoreció la remoción de la lignina en la muestra M12. Las muestras M13 a M16, obtenidas a partir del pinzote a 120°C en la etapa ácida (ver Figura 17), mostraron espectros muy similares entre sí, sin picos de absorción en el intervalo asociado a la presencia de lignina.

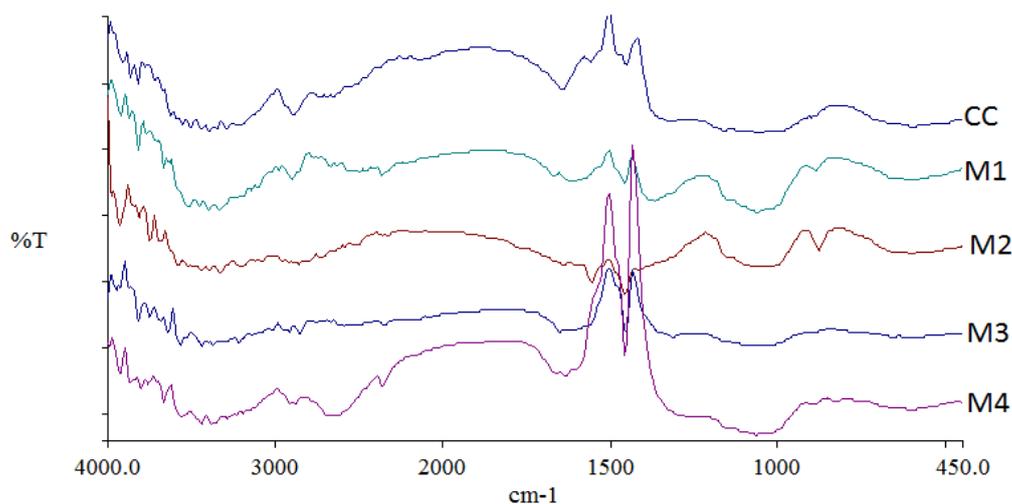


Figura 14. Espectros IR de la celulosa comercial (CC) y de las muestras de celulosa M1, M2, M3, M4.

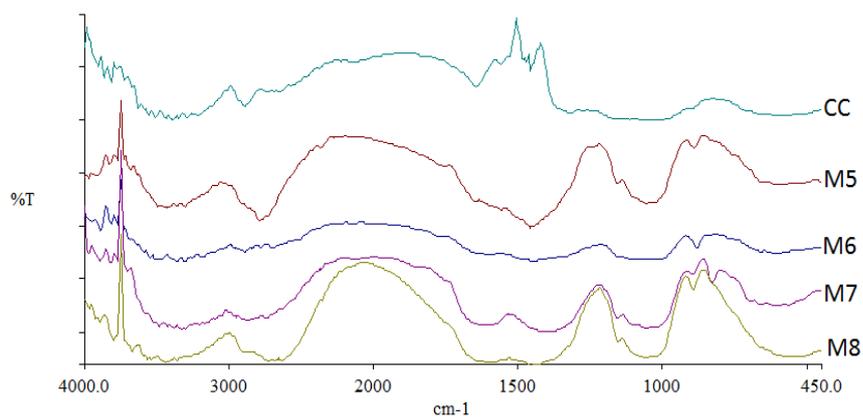


Figura 15. Espectros IR de la celulosa comercial (CC) y de las muestras de celulosa M5, M6, M7, M8.

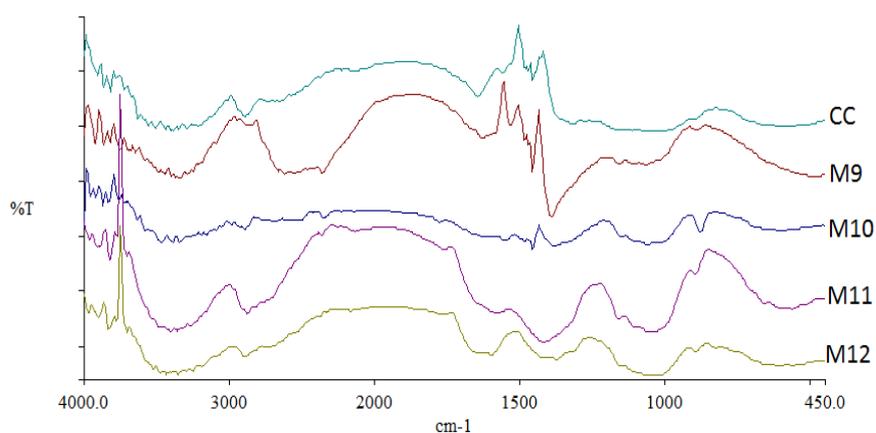


Figura 16. Espectros IR de la celulosa comercial (CC) y las muestras de celulosa M9, M10, M11, M12.

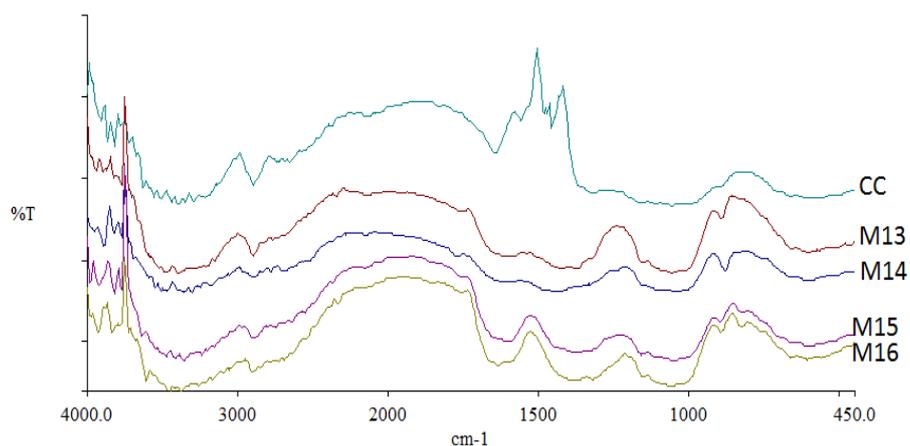


Figura 17. Espectros IR de la celulosa comercial (CC) y muestras de celulosa M13, M14, M15, M16.

## CONCLUSIONES

El procedimiento propuesto en este trabajo para el aprovechamiento de desechos del cambur (pinzote y pseudotallo) resultó viable técnicamente, obteniéndose una celulosa microcristalina con características físicoquímicas semejantes al producto comercial. La remoción de la lignina se logró

para las muestras de pseudotallo a una temperatura de 110°C en la hidrólisis ácida y a 120°C para las muestras de pinzote, independientemente del tipo de álcali y su concentración. El rendimiento de producción fue de 0,27 g de celulosa microcristalina por cada gramo de materia prima seca.

**Agradecimientos.** Al Consejo de Investigación de la *Universidad de Oriente* por el financiamiento otorgado mediante el Proyecto CI-03-020602-1810-12, al Programa de Postgrado Maestría en Ingeniería Química, al personal técnico del Laboratorio “*Sistemas Dispersos y Ambiente*” y del Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas “*Dra. Susan Tai*” de la *Universidad de Oriente* (IIBCA-UDO).

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Prout J “Negociaciones sobre acceso a mercados del Área de Libre Comercio de las Américas, ALCA” (2003). Disponible en línea en: [http://www.ftaa-alca.org/spcomm/soc/Contributions/Miami/cscv82\\_s.asp](http://www.ftaa-alca.org/spcomm/soc/Contributions/Miami/cscv82_s.asp) (acceso 08.03.2011).
- [2] Garrote G, Dominguez H, Parajó J, *Ind. and Eng. Chem. Res.*, **43**(7), 1608 (2004).
- [3] Karnitz O, Gurgel L, Melo J, Botaro V, Melo T, Gil R, Gil L, *Biores. Tech.*, **28**, 1291 (2007).
- [4] Hussein M, Amer A, Sawsan I, *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, **5**(2), 233 (2008)
- [5] Olachea J, Olachea M “Algunos aspectos agronómicos para el manejo en el cultivo de clones del género *Musa* de la familia *Musaceae*, una gran alternativa económica para la población de San Nicolás, Portuguesa, Venezuela” (2011). Disponible en línea en <http://www.sannicolos.infoportales.com/categoria.asp?idcat=111> (acceso 20.07.2012)
- [6] Danglad J, Marfisi S, Linero G, Cova A, *Rev. Sab.*, **25**(1), 97 (2013)
- [7] Ferrer M, Marfisi S, Danglad J, Ceconello L, Rojas de Gáscue B. *Rev. Sab.*, **25**(4), 439 (2013)
- [8] Sharapin N “*Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos*”. Convenio Andrés Bello y Red Iberoamericana de Productos Fitofarmacéuticos. Santa Fé de Bogotá, Colombia (2000). pag. 247.
- [9] Fernández L, Fernández R “*Celulosa Microcristalina*”, Memorias ATCP 32a, Reunión Anual, D.F. México. (1992). pag. 1
- [10] García L, Bordallo E, Cordero D, *Rev. Cub. de Qca.* Vol. XVIII (1), 115 (2006)
- [11] Cubero N, Monferrer A, Villalta J “*Aditivos alimentarios*”. Ediciones Mundi-Prensa. España. (2002). pag. 240
- [12] García L, Bordallo E, Dopico D, Cordero D, *Rev. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* **47**(1):57-63 (2013). Disponible en línea en: <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223126409008.pdf> (acceso 18.04.2014).
- [13] Sun J, Sun X, Zhao H, Sun R, *Polym. Degrad. and Stab.*, **84**(2), 333 (2004)
- [14] El-Sakhawy M, Hassan M, *Carboh. Polym.*, **67**, 1 (2007).
- [15] Canché G, De los Santos J, Andrade S, Gómez R. *Inform. Tecn.*, **16**(1), 83 (2005).
- [16] Miranda M “Estudio sobre la sacarificación enzimática de pseudotallo del banano (*Musa sapientum*)”. Tesis de Maestría. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Anzoátegui, Venezuela. (1981)
- [17] Morán J, Álvarez V, Cyras V, Vásquez A, *Cellulose*, **15**, 149 (2008)
- [18] Ohwoavworhua F, Adelakun T, *Indian J. Pharm. Sci.*, **72**(3), 295 (2010)
- [19] Abril A, Valdéz M, Garcia L “*Fibra dietética para el consumo humano a partir del bagazo de la caña de azúcar*”. Libro Memorias del VII Congreso, Diversificación 2002. Tomo I, 2002. pag. 108-110.
- [20] Barzaga P, Vega R, Tillán J, De la Paz N, *Rev. Cub. de Farm.*, **38**(2), 1 (2004)
- [21] Prinsen P “*Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas*”. Tesis de Maestría en Estudios Avanzados en Química. Departamento de Biotecnología Vegetal. Universidad de Sevilla, España, 2010. Disponible en línea en: <http://www.irnase.csic.es/users/delrio/repository%20theses/2010-Prinsen-MsC.pdf> (acceso 10.01.2012).
- [22] McMurry J “*Química Orgánica*” 5ª Edición. Cengage Learning Editores S.A. Distrito Federal, México 2008. pag. 1224.