

EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS GENERADOS A PARTIR DEL PROCESAMIENTO INDUSTRIAL DEL PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) VARIEDAD HARTÓN, EN EL MUNICIPIO DE SOTOMAYOR DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

-USE OF BYPRODUCTS EVALUATION GENERATED FROM INDUSTRIAL PROCESSING OF BANANA (*Musa Paradisiaca*) HARTON VARIETY, IN THE MUNICIPALITY OF SOTOMAYOR, NARIÑO DEPARTMENT

(Entregado 10/06/2015) – Revisado 28/10/2015)

José Faruk Rojas Navarro

Administrador de empresas agroindustriales, Tecnólogo Agroindustrial y candidato a Magíster del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey en Ingeniería, sistemas de calidad y productividad.

Experiencia en el sector floricultor colombiano, academia y la formulación de proyectos productivos. Actualmente docente tiempo completo del programa de Ingeniería de Procesos de la Universidad Mariana y docente a nivel de pregrado y Posgrado en la Corporación Universitaria Minuto de Dios en Pasto – Nariño Colombia.

Viviana Alexandra Quintero Zambrano

Actualmente es estudiante de noveno semestre del programa de Ingeniería de Procesos en la Universidad Mariana, participó en el quinto encuentro de semilleros de investigación con la propuesta incidencia de la luz UV en presencia de Dióxido de Titanio como catalizador para la reducción de fenoles en aguas residuales, y actualmente participa en el séptimo encuentro de semilleros a nivel regional, permitiendo la participación en el encuentro de investigación a nivel nacional, con el proyecto de investigación Evaluación de la viabilidad técnica de obtención de material celulósico a partir de cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*) variedad dominico hartón del Municipio los Andes Sotomayor en la elaboración de cartón.

Favio Efrey Benavides Ceballos

Estudiante Investigador de “Semilleros de Investigación”. A cargo del Ing. Hernán Zamora de la Universidad Mariana en febrero de 2011. Estudiante Investigador de “Semilleros de Investigación SIIDEP”. Bio, Carlos Pantoja de la Universidad Mariana en febrero 2014. Estudiante Investigador de “Ingeniera mecánica aplicada, talladora de dos grados de libertad”.

A cargo del Ing. Richard Moral de la Universidad Mariana en Julio 2012.

Candidato para optar al título de Ingeniero de Procesos de la facultad de Ingeniería de la Universidad Mariana de Pasto-Nariño-Colombia.

El propósito de este trabajo de investigación fue a causa de encontrar problemáticas latentes en las regiones Nariñenses donde se aprecia que la agricultura es el medio de vivir de nuestras familias campesinas y por lo tanto es necesario resolver dichos problemas de carácter social, ambiental y económico a través de las herramientas de ingeniería para el aprovechamientos de

estos subproductos naturales con gran potencial.

Ingeniería de Procesos-Universidad Mariana - Colombia

* jrojas@umariana.edu.co, **vivianaquintero41@hotmail.com, **efreydarksliferin@hotmail.com

Resumen

Uno de los residuos más abundantes del municipio los Andes Sotomayor, en el departamento de Nariño, es la cáscara de plátano, residuo generado en la actividad de Producción y transformación del plátano. Su mala disposición y carente aprovechamiento está afectando a nivel social, ambiental y económico la población del municipio de los Andes (Sotomayor), que presenta un área destinada a la explotación del sector primario con 720 hectáreas de dos frutos de mayor demanda, el café y el plátano verde de la variedad Dominico, se encontró que en la post cosecha del plátano verde se presenta una pérdida considerable de hasta una tonelada por hectárea, resaltando la importancia de provechar este residuo. En este sentido se evaluó el aprovechamiento del material vegetal para la obtención de cartón y para el crecimiento de microorganismos que produzcan metabolitos secundarios de interés industrial. Se realizó la caracterización de la materia prima por triplicado en cuanto a látex y cáscara; para caracterizar el látex o savia, se realizaron cortes sobre la cáscara recolectando el látex, realizando pruebas físico químicas y obteniendo espectros de sus principales compuestos. De la misma manera, se caracterizó el extracto de muestras aleatorias de cáscaras de plátano verde, por extracción bajo el método Soxhlet con tres solventes a saber, etanol al 96%, benceno y Diclorometano; realizando pruebas físico químicas.

Se obtuvieron valores de celulosa, y lignina residual que constituyen un primer paso en la obtención de material celulósico; se sometió a hidrólisis ácida, empleando ácido sulfúrico (H_2SO_4) e hidrólisis básica con hidróxido de sodio (NaOH), diluidos a diferentes concentraciones y tiempos de reacción según un diseño experimental 2x3x2 con tres repeticiones, obteniendo que para hidrólisis ácida los valores mayores de celulosa se muestran en el tratamiento 1 y 4 es decir, utilizando 2% de H_2SO_4 y 120 minutos; y 6% de H_2SO_4 y 360 minutos, respectivamente. Se observa, además, que el contenido de celulosa tiende a aumentar, conforme se incrementa los niveles de los tratamientos y para hidrólisis básica se obtienen valores mayores de celulosa en los tratamientos 2 y 4, es decir, utilizando 20% y 40% de NaOH y 150 minutos para ambos casos; lo que indica que a medida que se aumenta la concentración y el tiempo de cocción, el contenido de celulosa es mayor. Los datos obtenidos resultaron ser estadísticamente significativos e indican que es factible obtener cantidades importantes de celulosa a partir del material vegetal estudiado para la obtención de cartón. Por otro lado, a partir de los análisis de las propiedades físico químicas y cromatografías de la cáscara se identifica como resultado una presencia considerable de almidón en el material (40%), que desde el punto de vista biotecnológico es una fuente rica de carbohidratos, lo que puede ser aprovechado para el crecimiento de microorganismos de interés industrial y farmacéutico como el *Penicillium notatum*. El almidón fue extraído por medio mecánico siendo separado de la lechada por filtración, se realizó un macerado y secado a 40°C por 5 minutos en microondas; y se usó posteriormente para el crecimiento del hongo en medio líquido y en medio sólido. El *penicillium notatum* se activó previamente en medios APD y Sabouroud, presentando un crecimiento entre de 3 y 5 semanas, finalmente se evalúa la producción de metabolitos secundarios y con la técnica de disco de papel para distinguir su comportamiento de carácter antibiótico, donde se evaluó el efecto Biocida de los metabolitos secundarios en un lugar de muestra tratado.

Palabras claves: Almidón, cáscaras de plátano, celulosa, *Penicillium notatum*.

Abstract

The banana peel is one of the most abundant residues in the municipality of Los Andes Sotomayor in the Department of Nariño. The waste is generated during the agricultural process of production and transformation of the banana. The municipality of Los Andes (Sotomayor), has an area of 720 hectares intended for the exploitation of coffee and green banana of the Dominico's variety, the sector's primary fruits with increased demand. Because of the latent problems affecting the social, environmental, and economic levels of its population, it was found a considerable loss of one ton per hectare during the post-harvest of the green banana, highlighting the importance of this residue. A characterization of latex and peel was performed by making cuts on the shell and collecting latex to conduct physical-chemistry tests and obtaining the spectra on the main compounds.

The same procedure was used to characterize banana samples randomly, to extract Soxhlet with three solvents as follows; ethanol 96%, benzene, and dichloromethane in order to obtain the extract, and the physical-chemical properties of each one were analyzed obtaining the cellulose values and lignin residues that constitute the first step in obtaining cellulosic material. It was subjected to acid hydrolysis using sulfuric acid (H_2SO_4) and basic hydrolysis with sodium hydroxide (NaOH), diluted at different concentrations and reaction times according to an experimental design 2x3x2 with three replications. The result obtained was that for acid hydrolysis the lower values of cellulose shown in treatment 1 and 4, that is, using 2% H_2SO_4 and 120 minutes for the former case, and 6% of H_2SO_4 and 360 minutes for the second case respectively. It is further noted that the cellulose content tends to increase as the levels tested are increased for basic hydrolysis obtaining lower cellulose values in treatments 2 and 4, this is using 20% and 40% NaOH and 150 minutes in both cases, indicating that the increased concentration for this study is influenced by the cooking time, as the concentration and cooking time are increased, the cellulose content is high. The obtained data were statistically significant and suggest that it is feasible to obtain large amounts of cellulose from the vegetable material studied.

Furthermore, from the analysis of the physical-chemical and chromatography properties, we can identified as result a considerable presence of starch in the material (40%), which from a nutritional point of view is a rich source of carbohydrates, which can be exploited to the growth of microorganisms of industrial and pharmaceutical interest, as the *Penicillium notatum*. The starch was extracted by mechanical means, being separated from the slurry by filtration. A maceration and drying at 40°C for 5 minutes was conducted for its use in liquid and solid medium. This means that the skin residues may be a nutritional medium required by the fungus *Penicillium notatum* cultivated in APD and Sabouround medium. Growth of the fungus was 3 and 5 weeks in the media, transferring 3 samples. The initial sample higher, another 10^8 to 10^4 CFU, such samples are carried to Solid and Liquid Fermentation. The production of secondary metabolites is taken, and the paper disc technique is used to distinguish their antibiotic character behavior where the Biocide effect of secondary metabolites was evaluated in a place treated sample.

Keywords: Starch, banana peels, cellulose, *Penicillium notatum*.

1. Introducción

El Departamento de Nariño - Colombia goza de un territorio lleno de oportunidades derivadas de su estratégica posición geoestacionaria y su amplia riqueza en recursos naturales, sin embargo; y de acuerdo al PECTI (Plan Estratégico Departamental de Ciencia, Tecnología e innovación de Nariño, 2012), el comportamiento económico de la industria manufacturera en la región, tuvo una tendencia decreciente entre el 2001 y 2010, con una reducción del 32 % en su contribución al PIB; lo cual se constituye en un punto crítico, toda vez que esta actividad es considerada un eje fundamental del crecimiento económico de la región. Por otra parte, como consecuencia de la baja contribución de la economía regional a la economía nacional, el PIB per cápita de los nariñenses en el 2010, era apenas del 41,5% del promedio nacional; es decir, que por cada cien (100) pesos que ganaba un colombiano, un nariñense ganaba tan solo cuarenta y un (41) pesos con cincuenta centavos.

La necesidad de generar cambios que permitan mitigar el impacto ambiental, fortalecer el nivel social y generar ingresos económicos en la región, son los nuevos pilares para remediar el abuso de los recursos naturales, por lo tanto, la invitación es al aprovechamiento óptimo, al uso de subproductos, a los procesos de transformación renovables, a explotar ámbitos biotecnológicos y la generación de nuevo conocimiento e indicadores de mejoramiento.

Por otro lado, teniendo en cuenta la vocación productiva del Departamento, se observa que Nariño es una región principalmente agrícola, con un robusto crecimiento del sector pecuario en las dos últimas décadas. Sin embargo, la contribución del sector agrícola al PIB departamental según cifras del DANE pasó de 30% en 1990 a 14,7% en 2010. Los escenarios anteriormente mencionados indican debilidades a nivel productivo y competitivo, que requieren alternativas urgentes de solución desde la academia y desde los sectores productivos.

Una de las fuentes más representativas de biomasa relacionada con la actividad agrícola en Nariño, son los subproductos derivados de la transformación y producción del plátano, dentro de los cuales están las cáscaras del fruto, el raquis y el pseudotallo. Sin embargo, según Izquierdo Humberto (2009) se han encontrado estudios sobre el aprovechamiento integral de las cáscaras de musáceas, pero se desconoce cuáles otros de sus componentes podrían ser de significativa utilidad, en aplicaciones específicas para lograr productos con mayor valor agregado. Las cáscaras al ser prensadas producen lixiviado o savia; y en la variedad (*Musa paradisiaca*) está compuesta por carbohidratos como glucosa, arabinosa, xilosa y almidón principalmente (Andrade CUB, Perazzo FF, Maistro EL, 2008).

El determinar las características químicas de cáscaras de plátano, *Musa paradisiaca*, es permite el desarrollo de productos funcionales de considerable valor agregado; y que además, permite fortalecer conocimientos básicos sobre esta variedad en particular, que conlleva a la formulación de sus potenciales aplicaciones. Caracterizar la cáscara permite una mejor explotación de los recursos naturales, ya que conociendo su composición y potencialidades, es posible determinar el procedimiento idóneo, que permita utilizarlos para la producción de derivados con mayor valor agregado.

En este sentido y según Parra R, Miller V, Lundy M (2010), cerca del 95% de los residuos que se generan del cultivo, comercialización, transformación y consumo del plátano no son aprovechados eficientemente por el cultivador, ni por los otros actores de la cadena; y debido a ello después de usar el fruto, se destinan los subproductos como abono o simplemente su disposición hace que estos residuos, vayan a parar a los rellenos sanitarios, perdiendo la oportunidad de aprovechar el valor de los mismos a través de su posible transformación, lo cual según Jose A, Candamo A (2012) puede deberse a la falta de estudios e implementación de técnicas para su aprovechamiento y re-uso.

Por lo tanto y en consecuencia con lo expuesto anteriormente, la presente investigación tiene como objetivo establecer posibles alternativas de aprovechamiento para los residuos vegetales generados en el procesamiento industrial del plátano para generar un impacto positivo a las comunidades; desde el punto de vista de la transformación productiva, desarrollo sostenible y beneficio económico a la población participante.

En este sentido, se analizaron algunas propiedades de las cáscaras del plátano por métodos clásicos, identificando un potencial aprovechamiento del material celulósico en la posible obtención de pulpa en la elaboración de cartón como material de empaque y embalaje; al igual que contenidos importantes de almidón que pueden ser aprovechados como sustrato para el crecimiento de microorganismos que ofrezcan metabolitos secundarios de interés, como es el caso del *Penicillium notatum*.

2. Experimentación

Muestreo de cáscaras

En el Municipio de los Andes Sotomayor se tomó una cantidad representativa y aleatoria de muestra de cáscara de plátano para ser analizadas a escala laboratorio en la finca “El Arenal,” cuya extensión es de dos Hectáreas y donde se identifica la problemática de la acumulación de estos residuos en campo.

La muestra se empacó en una caja de icopor para evitar su rápida degradación a partir de la oxidación progresiva, retrasar su maduración y la posible descomposición del material vegetal.

Recolección y tratamiento del látex: La variedad que se utiliza en el experimento es *Musa paradisiaca*. Se recolectaron 30 kilogramos de cáscara. El proceso de extracción del látex se realizó de la siguiente manera:

- **Extracción del látex:** Se pesó 1 Kilogramo de cáscara de plátano y se realizaron cinco incisiones verticales, horizontales y diagonales para extraer el lixiviado por sangrado.
- **Adición de preservantes:** Citrato de sodio 1%, Bisulfito de sodio 4%, EDTA 0,2% p/p.
- **Látex fresco:** Se refrigeró a 4°C

Se realizó la recolección y tratamiento del látex por fuerza mecánica, es decir; a presión, con la ayuda de una prensa. Se determinó el rendimiento promedio en gramos de látex extraídos por gramo de cáscara, en cada método de extracción

$$\% \text{ Rendimiento de extracción} = \frac{(\text{Peso de extracto obtenido (g)})}{\text{Peso cascara plátano (g)}} \times 100$$

Análisis fisicoquímicos del látex y del extracto de las cáscaras

- La densidad se calculó por el método oficial de la AOAC 945.06 con un picnómetro; se determinó la densidad relativa del látex a temperatura ambiente.
- Los sólidos solubles se calcularon mediante la NTC 4624 con un refractómetro Mettler Toledo, Refracto 30PX. Se realizó maceración de las cáscaras, en el cual se obtuvo el látex. Se midió 0.5 mL de látex para su análisis de sólidos solubles. El Grado °Brix es un sistema de medición específica, que representa el porcentaje en peso de sacarosa químicamente pura, en solución de

agua destilada a 293K (20°C).

- El pH se determinó mediante la NTC 4592 utilizando un pH metro IQ scientific modelo IQ 240, con un electrodo para líquidos, previamente calibrado, con soluciones tampón de pH 4, 7 y 10.
- La acidez titulable mediante la NTC 4623.
- Con el método AOAC 930.15 se determinó el contenido de humedad, con el uso del horno J. P Selecta Digitronic a una temperatura de 105°C.
- Para las cenizas se empleó el procedimiento AOAC 942.05/90, se usó la mufla Thermolyne tipo F1300, sometiendo el material a una temperatura de 500° C.
- Al látex se le evaluó su sedimentación usando la norma APHA, mediante un cono Imhoff, de un litro de capacidad.
- Al látex obtenido de las cáscaras se le realizó un espectro FT-IR, en un espectrofotómetro IR-FT marca Thermo Nicolet 380.
- El contenido de celulosa se determinó con base en la norma TAPPI T 17 m-55.
- La lignina en la madera se determinó con base en la norma TAPPI T13 os (TAPPI, 2015).

Prueba de Kendall: Consiste en la determinación porcentual del contenido proteico en la muestra inicial, por lo cual se toma una muestra de 5 a 10 gramos empleando el método propuesto por A.O.A.C 960.52, adaptado por Bernal en 1998; para poder aplicarlo es necesario contar con reactivos de disolución; además, materiales y equipos como una unidad de digestión, destilación Kjeldahl, balon Kjeldahl de 500 ml, matraces Erlenmeyer de 250 ml. Se realiza un procedimiento de peso de la muestra y se agrega al balon Kjeldahl; se tituló en el micro destilador con ácido clorhídrico, los resultados son evaluados con nitrógeno.

Prueba de extracto etéreo: Por el método oficial 30-25 AACC (2012). Para la extracción de los lípidos se utilizó éter de petróleo como disolvente utilizando un sistema de extracción Soxhlet con 3 gramos de muestra por una corrida durante 1 hora aproximadamente.

En la AOAC (Association of Official Analytical Chemist) se especifica que el solvente a usar en el método es el éter dietílico, sin embargo, muchos laboratorios utilizan el éter de petróleo o hexano. Los hexanos al ser menos polares, extraen menor porcentaje de los lípidos de la membrana, un valor más bajo 96,7% del valor de éter dietílico, Sin embargo, éter dietílico también extrae algunos componentes solubles en agua, como la urea y hexosas.

Prueba de yodo: La técnica ha sido adoptada para asistir en la evaluación de la conversión del almidón de azúcar, durante la maduración del plátano. Se disolvieron 10 g de Yoduro potásico, la solución debe estar almacenada en un contenedor de vidrio sellado en un lugar oscuro (ya que se deteriora con la luz).

Los siguientes son los métodos y procedimientos para evaluar los cambios durante la maduración en los plátanos, se utilizó la prueba de yodo del almidón. Se corta un cuadro de aproximadamente de 2-3 cm de grosor, el lado de superficie cortada de la cáscara debe ser coloreada por 5 segundos con la solución de yoduro potásico.

El almidón presente en la pulpa reacciona con el yodo lo que causa el cambio de color a azul oscuro, la evaluación del patrón de almidón de cada fruta se realiza comparando la superficie cortada, coloreada, acompañándola con una fotografía, la escala de grado de color de 1 a 8 que corresponde a la madurez de la cáscara, que debe ser asignada al cambiante patrón del almidón.

Cromatografía de masas adaptada a gases: Para el análisis de espectro de masas se requiere una muestra de 50 gramos y se coloca en un dedal para ser sometida a Soxhlet con un arrastre de benceno, por lo menos por un tiempo de 1 a 1.5 horas; esta prueba arroja resultados de un micro ml puro de aceite, por lo

que las bases nitrogenadas son reconocidas en el espectrógrafo de gases adaptado a masas para conocer la composición química de la muestra y confrontar los datos con la literatura.

Por lo tanto, la asociación de las dos técnicas, GC (Gas Chromatography) y MS (Mass Spectrometry) da lugar a una técnica combinada GC-MS que permite la separación e identificación de mezclas complejas. (CASAS, JM. & GARCIA, J. 2013)

3. Evaluación del crecimiento del *Penicillium notatum* usando como sustrato el almidón de la cáscara de plátano:

Extracción mecánica de almidón: Una vez evaluado la muestra, se procede a extraer el almidón del material por medio de un prensado mecánico y se decanta con papel filtro, con ayuda de un embudo de decantación para separar el almidón de la lechada.

Secado: Se seca la cáscara del plátano en estado verde durante 3 horas a 40 °C.

Agares de activación:

APD: El agar Peptona dextrosa APD, Peptona, Glucosa, dextrosa, Agua destilada y H₂SO₄ 0,5N.

Sabouroud: El agar de medio comercial que contiene agar, Dextrosa y Peptona.

Incubación: Partiendo de los 2 agares de crecimiento, se procede a incubar el MO por triplicado de una muestra madre adquirida en el Cepario de la Universidad de Nariño - Pasto Colombia. Se espera un crecimiento en un promedio de 5 a 10 días, a una temperatura de 20°C hasta la aparición de colonias fungosas.

Se dispone de la cepa activada en 3 tubos de ensayo con el agar APD dejándola reposar por 20 segundos cada una, en una solución de peptona, el primer tubo de ensayo contiene una muestra pura, el segundo contiene 10⁸ UFC, y una muestra de 10⁴ en el tercer tubo (ROUSSOS & PERRAUD, 1994).

Cuando aparecieron las colonias de hongos en las diversas cajas de Petri, se realizaron placas microscópicas, utilizando como colorantes el lacto fenol con azul de algodón para continuar con la técnica descrita a continuación:

Se tomó una muestra del hongo, se llevó a un porta objetos que contenía una gota de lacto fenol con azul de algodón y se utilizaron dos asa de punta recta para distribuir uniformemente la muestra; además, se colocó el cubre objetos sobre la muestra sin formar burbujas y se observó al microscopio, confirmando la presencia de *Penicillium*.

Procesos de fermentación:

Producción del metabolito en medio líquido: Se inoculó la muestra activada del hongo *Penicillium* en tubos de ensayo con un medio nutritivo con la siguiente formulación: 250 ml de agua destilada, 45 ml de medio APD, 25 ml del almidón extraído de la cáscara de plátano y 5 ml del microorganismo pre inoculado en los agares con ayuda de asas que se inyectan en los Erlenmeyer. Se incuban durante 120 horas a 25°C con agitación de 250 rpm en una balanza magnética de plancha.

Se toman muestras de 1 ml del medio anterior, cada 24 horas, con el objeto de determinar la producción de metabolitos a lo largo de la fermentación y cuantificar la producción.

Fermentación sólida El sustrato de cáscara es macerado obteniendo 100 g y luego es sumergido en un Erlenmeyer con 250 ml de agua destilada, con un pH de 5, agar y peptona. Se fermenta por 120 horas en un lugar aireado a temperatura ambiente. Luego tomando como sustrato de crecimiento la cáscara de plátano, se inocula con las disoluciones de 2 x 10⁶ UFC/mL, con una humedad del 70%.

Producción de antibióticos: De cada colonia se toma en el medio líquido y en el medio sólido sumergido, 15 microgramos y se lleva a un Erlenmeyer con el siguiente medio de cultivo líquido esterilizado en autoclave a 120°C con 15 libras de presión durante 20 minutos: Glucosa 1 g, peptona 0,5 g, solución salina

estándar de 1mL, K₂PO₄ 0,5 g, harina de maíz 1g agar 0,5g, agua destilada 100 mL. Se ajusta el pH a 7,0.

Valoración Biocida por el método de disco papel: Para la evaluación de cada uno de los metabolitos secundarios, producidos a partir del crecimiento del hongo, se realizaron pruebas de inhibición frente a microorganismos bacteriales no específicos o llamados medios bacteriales tarados, obtenidos del banco microbiológico de la Universidad Mariana y la Universidad de Nariño.

Por cada filtración de la producción de metabolito secundario, se tomaron tres cajas Petri con el medio de cultivo, para las bacterias, es Agar Mueller Hinton, utilizado como medio de referencia para pruebas de susceptibilidad.

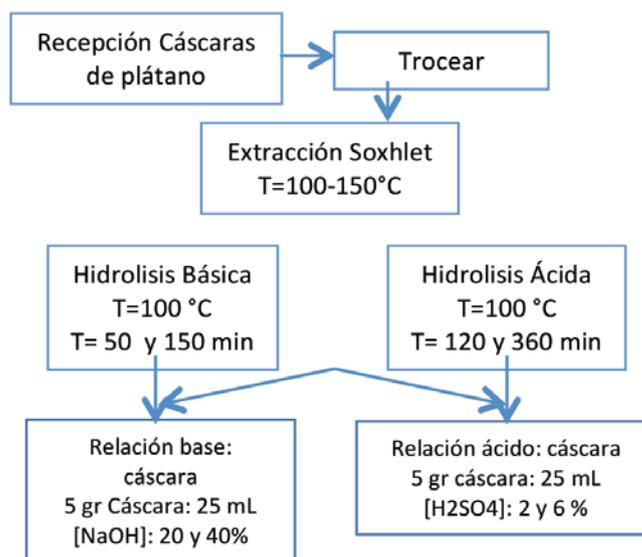
Se sembraron en las cajas Petri con medio Agar Mueller Hinton, usado como medio de referencia para pruebas de susceptibilidad; fueron preincubadas en caldo nutritivo a baño María (40°C), por espacios de tres horas. Con base en el estándar de MacFarland, se colocaron 5 discos de halo de inhibición; con una concentración de 1 a 5 unidades de penicilina comercial cada uno, se realizó un tratamiento testigo (agua) a las mismas concentraciones.

Las cajas fueron incubadas a 35°C por 18 horas, tiempo en el que se procedió a medir halos de inhibición, formados alrededor de los discos, es decir, se estableció la distancia de inhibición entre el disco y la colonia bacterial, para ello se utilizó reglas calibradas o pie de rey.

4. Proceso de obtención del material celulósico

A continuación se ilustra algunas actividades con el proceso de obtención:

Gráfico 1. Diagrama de obtención del material celulósico



Fuente. Esta Investigación, 2015

Diseño experimental: Con el fin de convertir los residuos vegetales en pulpa, el material pre tratado fue sometido a un proceso de hidrólisis en un sistema de reflujo con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio a diferentes concentraciones, según Angélica María Oviedo (2013) (en una relación de 1:30. Equivalente a 2 gr de residuos: 60 ml de ácido/base) y diferentes tiempos de reacción, a una temperatura de 100 °C y con agitación constante, de acuerdo con un diseño aleatorio (Martínez y López, 2003) de 9 experimentos elementales con tres repeticiones cada uno. Las variables y niveles del diseño planteado son: (ver tabla 1).

Tabla 1. Variables de estudio y niveles para la extracción química.

Variable	Niveles	Tiempo de cocción
Concentración de H ₂ SO ₄	2 y 6 %	120 y 360 minutos
Concentración de NaOH	20 y 40 %	50 y 150 minutos
Variable de respuesta	Contenido de celulosa %	

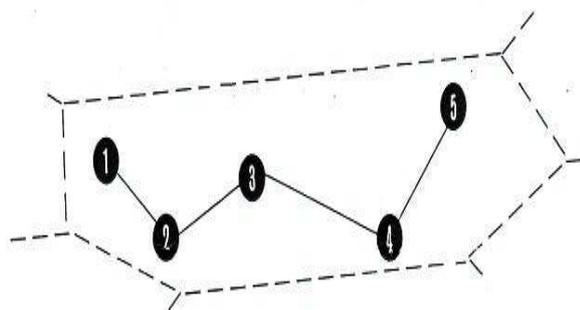
Fuente. Esta investigación, 2015

5. Resultados y discusión

Toma de la muestra

Se toman muestras iguales de 5 puntos distribuidos en extremo y centro de la finca como se indica en el Gráfico 2, para formar una mezcla homogénea.

Gráfico 2. Recorrido de hectárea



Fuente: La presente investigación, 2015

Recolección y tratamiento del látex

Se realizó la extracción del látex aplicando los cinco incisiones con cortes en sentido vertical y horizontal; y extracción por fuerza mecánica (presión), a los cuales se determinó el rendimiento. Las gotas de látex líquido y el látex coagulado se recogieron en bolsas de polietileno de alta densidad.

Se presenta a continuación una comparación de los resultados obtenidos en los rendimientos de cada método de extracción manual por rayado y prensado. De acuerdo a la tabla 2, la variedad *Musa paradisiaca* en el corte vertical obtuvo un rendimiento de 0,13208 g látex / g cáscara, se procedió a realizar el corte horizontal sobre las cáscaras en el cual se obtuvo un rendimiento de 0,08556 g látex / g cáscara, finalmente se realizó la extracción por fuerza mecánica cuyo rendimiento fue de 0,235 g látex / g cáscara.

Tabla 2. Rendimiento de extracción de látex según el método

Método	Rendimiento
Corte vertical	13,208 %
Corte Horizontal	8,556 %
Fuerza mecánica	23,5 %

Fuente: Esta investigación, 2015

En la anterior tabla se aprecia la diferencia existente entre el rendimiento de látex por cada método manual de extracción, donde se observa que el método, con mayor porcentaje de rendimiento para la obtención de látex, es por fuerza mecánica con un 23.5 % de rendimiento frente a los demás cortes. En el rayado se realizaron no más de tres incisiones, debido que al contacto con el oxígeno este se oxida y por lo tanto, la cantidad de látex y la concentración disminuye significativamente, afirma Marín-López, S., J. A.-P., Ec, M.-R., & Olivero-Tascón, C. H. Op. Cit. (2013) que se debe al proceso de maduración supera al proceso de recuperación del flujo de látex en los vegetales.

Análisis fisicoquímicos del látex: La tabla 3 muestra las propiedades de la savia o látex de cáscaras de plátano.

Tabla 3. Características de la savia o látex de las cáscaras.

Muestra	° Brix	Densidad	pH
23 de Febrero	2,5	1,02	6,40
26 de Febrero	2,6	1,03	6,40
2 de Marzo	2,6	1,01	6,60
5 de Marzo	2,7	1,008	6,38
9 de Marzo	2,78	1,097	6,53
Promedio	2,67	1,033	6,46
Desviación	0.0871	0.0368	0.097

Fuente: Esta investigación, 2015

Con base en estos resultados no se evidencian diferencias significativas entre las variables evaluadas. La muestra contiene un porcentaje de sólidos solubles relativamente bajos. Una densidad promedio de 1.033 y un pH promedio de 6,46; sin embargo, lo usual en muestras de origen biológico, mientras que la acidez titulable es inferior de 1,8 mg ácido málico/100 g de muestra para todas las muestras, lo que indica que los ácidos orgánicos o se encuentran en baja concentración o en su forma ácida. Esto concuerda con lo expresado por Marriot et al (2012), Azcon-Bieto y Talon (2014) en plátano.

El látex de las cáscaras de plátano está compuesto en su gran parte por agua, como lo indica la humedad del 84,84%. El porcentaje de cenizas se relaciona con la presencia de cationes minerales 0,46% (ver Tabla 4).

Tabla 4. Contenido promedio de humedad, cenizas del látex de cáscaras de plátano.

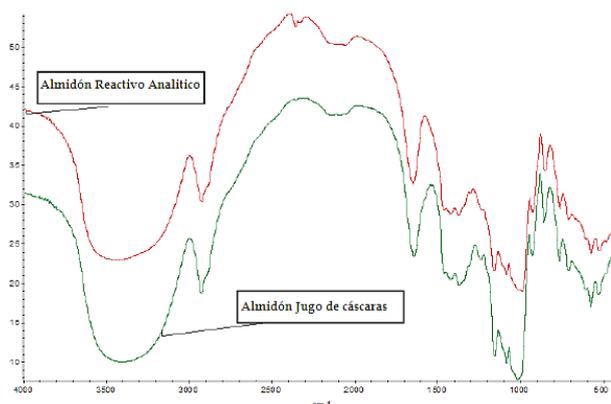
ANÁLISIS	PORCENTAJE
%Humedad	84,84%
%Cenizas	0,46%

Fuente: Esta investigación, 2015

Durante el periodo de almacenamiento del látex de las cáscaras, además de percibirse cambios en la coloración, se observó la formación de un precipitado blanco lo que ameritó su análisis. El análisis de sólidos sedimentables permitió la cuantificación de la cantidad que precipita la muestra, correspondiendo a un promedio 5,0 mL / L +/- 1,8 mL / L.

Las pruebas con lugol, Molish y Benedict fueron positivas para polisacáridos por lo que se pensó inicialmente que se trataba de almidón. Para corroborarlo, se tomó y analizó el espectro FT-IR del sólido al igual que su difractograma de rayos X. Se compararon los espectros FT-IR de estos de una muestra de almidón de las cáscaras y una de almidón marca Merck grado analítico, este análisis se muestran en el (Grafico 3).

Gráfico 3. Espectros FT-IR del almidón de cáscara (arriba) y de almidón marca Merck (abajo)



Fuente: Esta investigación, 2015

Ambas muestras presentan bandas y picos de transmitancia en el número de onda mencionados los cuales están presentes en la estructura de la amilosa y amilopectina. Las bandas a 1045, 1022 cm⁻¹ y de 3000-3700 cm⁻¹ también son variables según las cantidades de regiones ordenadas (cristalinas) y amorfas, por lo cual se observan algunas diferencias entre ambas muestras lo que podría indicar, como ha de esperarse, que las muestras tienen diferente origen biológico, esto quiere decir, que el almidón patrón grado analítico marca Merck podría ser almidón de papa y el otro es el almidón extraído de jugo de cáscaras de plátano para esta investigación. Dependiendo de dónde provenga, el almidón adquiere características singulares las cuales se ven reflejadas en los análisis instrumentales. Por esto, las muestras son similares en el espectro de infrarrojo en cuanto a las señales que se pueden identificar, pero varían en cuanto a la intensidad de las mismas.

Con respecto a la difracción de rayos X, los gránulos nativos exhiben dos tipos principales de diagrama, uno denominado tipo A para almidones de cereales y el tipo B para tubérculos y almidones ricos en amilosa. Otro tipo de diagrama de difracción es el C, el cual se muestra como una mezcla de diagramas A y B; es característico de la mayoría de almidones de legumbres y también de cereales que crecen en condiciones específicas de temperatura e hidratación.

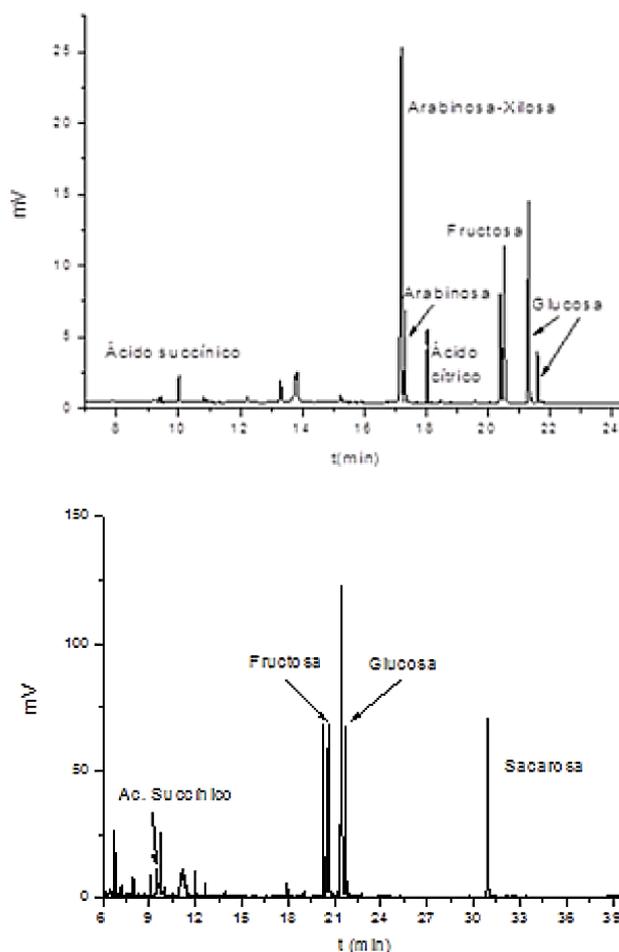
Análisis cromatográficos

Cuando los azúcares se derivatizan a sus respectivas oximas, forman dos isómeros cis-trans por lo que es común observar dos picos en los cromatogramas, cuando la molécula posee grupos funcionales de aldehído o cetona. Este fue el caso para los azúcares glucosa, fructosa, arabinosa y xilosa. Los cromatogramas (Gráfico 4) muestran los perfiles cromatográficos de la solución modelo y comparativamente los componentes del jugo/ látex de las cáscaras.

El látex de cáscaras contiene los azúcares fructosa, glucosa y sacarosa que, aunque no fue adicionada en la solución modelo, la biblioteca del equipo sugirió que se trataba de sacarosa de acuerdo al espectro de masas (ver Anexo 1); mientras que ni la xilosa, ni la arabinosa fueron detectadas como azúcares libres en el jugo. De otro lado, se determinó la presencia de ácido succínico y ausencia del ácido cítrico.

Aunque en un tiempo de retención de 18,05 min se produjo una señal en la muestra de jugo, el espectro de masas no corresponde al del ácido cítrico por lo que se descarta la presencia de este ácido bajo esta metodología.

Gráfico 4. Perfiles cromatográficos de los derivados TMS-Oxima de la solución modelo y del látex de las cáscaras



Fuente: Esta investigación, 2015

Análisis proximales

Los resultados evaluados de la cáscara de plátano en muestras por triplicado como se aprecia en la Tabla 5, evidenciando contenidos importantes de humedad, almidón y proteína.

Continuación tabla 5

PRUEBA	RESULTADOS	
	Muestra	METODOLOGÍAS
%Humedad	97,77 ± 1,775	A.O.A.C 7.003/84, 930.15/90, 2012
Extracto etéreo (% lípidos)	0,053 ± 0,025	A.O.A.C 7.060/84, 920.39/90, 2012

Tabla 6. Resultados de las pruebas

Nitrógeno	7,133 ± 0,306	A.O.A.C 7.066/84, 962.09/90 , 2012
Proteína	44,583 ± 1,909	A.O.A.C 960.52 , 2012
Cenizas	1,750 ± 0,416	A.O.A.C 31.012/84, 940.26/90, 2012
Sólidos solubles (°Brix)	2,933 ± 0,115	NTC 4624
pH	7,567 ± 0,404	NTC 4592
Coordenadas de color	40,685 ± 4,963	HUNTER La*b*
	-13,943 ± 0,267	
	28,954 ± 1,314	
Prueba de yodo Índice	7,733 ± 0,5	GARCIA, E & LAJOLO. Food, Sci. 53:1181-1186. 2012

Fuente: La presente investigación, 2015

Caracterización de las cáscaras de plátano: Se realizó la extracción por Soxhlet para cada tratamiento con 20 gramos de muestra vegetal.

Análisis fisicoquímicos del extracto: La tabla 6 muestra las propiedades de las cáscaras de plátano.

Muestra	° Brix	Densidad	pH
Pulpa cáscara 1	2,8	2,05	7,5
Pulpa cáscara 2	3	2,9	8
Pulpa cáscara 3	3,2	2,02	6,5
Promedio	3	2,3	7,3
Desviación	0,2	0,49	0,76

Fuente: Esta investigación, 2015

Tabla 6. Características del extracto de las cáscaras

De acuerdo a los resultados, la muestra contiene un porcentaje de sólidos solubles relativamente bajos la densidad presenta un promedio de 2,3 g/ml y El pH encontrado en promedio fue de 7,43 (ver Tabla 6) es un valor alto, debido a que los cambios se dan en respuesta a la maduración por causa del contenido de humedad de la cáscara, sin embargo, lo usual en muestras de origen biológico, mientras que la acidez titulable es inferior de 1,8 mg ácido málico/20 g de muestra para todas las muestras, lo que indica que los ácidos orgánicos o se encuentran en baja concentración o en su forma ácida. Esto concuerda con lo expresado por Marriot et al (2010), Azcon-Bieto y Talon (2011) en cáscaras de plátano.

Las cáscaras de plátano presenta una humedad de 18,18%. El porcentaje de cenizas se relaciona con la presencia de cationes minerales 1,50% (ver Tabla 7). En cuanto a la caracterización de celulosa y lignina, se encontraron contenidos de 56,6525%, y 12,6833% respectivamente, lo cual coincide con los valores de LOMBARDO, C. y A. PADILLA. 2010, los cuales altamente utilizados en la fabricación de papel y cartón, por lo que se puede inferir que las cáscaras posee, de acuerdo a su composición química, buenas cualidades para la elaboración de pulpa (Tabla 7).

Tabla 7. Contenido promedio de humedad, cenizas, celulosa y lignina de cáscaras de plátano.

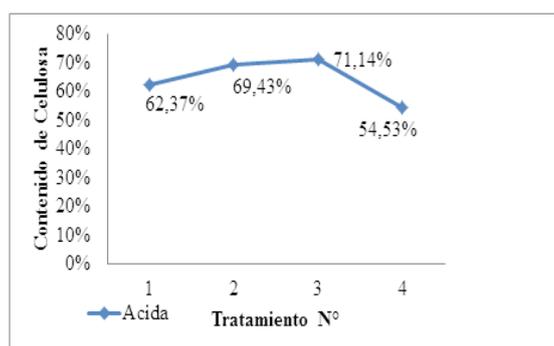
Análisis	Contenido
Humedad	18,18%
Cenizas	1,50 %
Celulosa	56,6525 %
Lignina	12,6833 %

Fuente: Esta investigación, 2015

Obtención del material celulósico

Hidrólisis ácida: Las cáscaras de plátano se sometieron a hidrólisis ácida, se obtuvieron los siguientes resultados:

Gráfico 5. Contenido de celulosa de cáscaras de plátano.

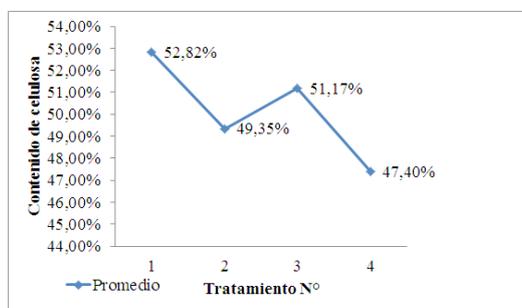


Fuente: Esta investigación, 2015

En el Gráfico 5, se observa el contenido de celulosa presente en las cáscaras de plátano, en función de los tratamientos. Valores menores de celulosa se muestran en el tratamiento 1 y 4 es decir, utilizando 2% de H_2SO_4 y 120 minutos para el primer caso y 6% de H_2SO_4 y 360 minutos para el caso segundo, respectivamente. Se observa además que el contenido de celulosa tiende a aumentar conforme se incrementa los niveles de los tratamientos testados.

El resultado del aislamiento de celulosa (CW) por hidrólisis con H_2SO_4 produce superficies negativamente cargadas, debido a la esterificación de grupos hidróxilos por iones sulfato, que forman un sistema coloidal estable de celulosa (Marchessault y col.,1961; Faviery col,1995; Arakiycol,1998).

Hidrólisis básica: Las cáscaras de plátano se sometieron a hidrólisis básica, se obtuvieron los siguientes resultados:

Gráfico 6. Contenido de celulosa de cáscaras de plátano.

Fuente: Esta investigación, 2015

En la grafico 6, se observa el contenido de celulosa presente en las cáscaras de plátano, en función de los tratamientos, obteniendo valores mayores de celulosa en los tratamientos 1 utilizando 20% y tratamiento 3 al 40% de NaOH durante 50 minutos para ambos casos. Se observa además que el contenido de celulosa tiende a disminuir conforme se aumentan los niveles de concentración del reactivo. Sin embargo, en otro tipo de material vegetal como la cabuya, J. L. Guimarães, E. Frollini, C. G. da Silva, F. Wypych, and K. G. Satyanarayana, establecen que, los mejores resultados en la extracción química de la fibras, se dieron en las condiciones de 10% de NaOH y 100 minutos de cocción, para la fibra de cabuya y 15% de NaOH y 100 minutos de cocción, pues en esas condiciones se mejora la eficiencia en la eliminación de ligninas.

Análisis espectroscópico de celulosa

El análisis, mediante FTIR, permite caracterizar la estructura química por la identificación de los grupos funcionales presentes en cada muestra analizada. Yang H, Yan R, Chen H et al (2015), afirman que la celulosa y la lignina están compuestas principalmente por alcanos, ésteres, cetonas, alcoholes y anillos aromáticos con diferentes grupos funcionales.

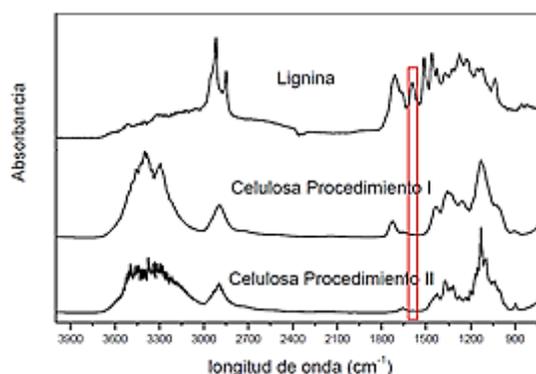
Todas las muestras presentaron dos regiones principales de absorción (gráfico 7). La primera de ellas, presente a bajas longitudes de onda, en el rango de 700 cm⁻¹ a 1800 cm⁻¹. La segunda de ellas en el rango de 2700 cm⁻¹ – 3500 cm⁻¹. Pudieron identificarse picos de absorción específicos de cada componente. La lignina presentó picos característicos en el rango 1500 cm⁻¹ – 1600 cm⁻¹ correspondientes a la vibración de la estructura de anillos aromáticos. Al mismo tiempo, debido a la presencia de grupos funcionales tales como –O–CH₃, C–O–C y C=C, se observó absorbancia en la región comprendida entre 1830 cm⁻¹ y 1730 cm.

La celulosa obtenida mediante el Procedimiento II o por Hidrólisis Básica, presentó una banda de absorción a 1652 cm⁻¹, mientras que la celulosa obtenida empleando el Procedimiento I Hidrolisis Ácida, presentó un pico a 1728 cm⁻¹. Esto según Lojewska J, Miskowicz P, Lojewski T, Pronienwicz LM (2014) podría deberse a la presencia de grupos ésteres producto de la basicidad. Considerando que el Procedimiento I (Hidrólisis Ácida) utiliza ácido sulfúrico en una de sus etapas más importantes, es posible que la celulosa obtenida empleando este procedimiento esté levemente sulfurada. Del mismo modo, dicho pico (1728 cm⁻¹) podría deberse a la presencia de pequeñas cantidades de hemicelulosa, la cual contiene mayor cantidad de grupos C=O. Finalmente, la presencia del pico a 1728 cm⁻¹ podría deberse a la oxidación de la celulosa (presentó un color más oscuro). Asimismo, la banda de absorción a 1620 cm⁻¹ corresponde a los grupos carbonilo.

Lojewska et al., observaron bandas de absorción a 1640 cm⁻¹ correspondientes a la flexión de los grupos OH pertenecientes al agua adsorbida, a pesar de haber llevado a cabo un cuidadoso proceso de secado.

Baird et al demostraron, mediante un modelo computacional, la existencia de agua adsorbida en las moléculas de celulosa debido a una fuerte interacción celulosa-agua. Del análisis de los espectros resulta evidente que no había restos de lignina en las celulosas obtenidas. Esto se deduce de la ausencia de las bandas de absorción relacionadas con la vibración de anillos aromáticos (1500– 1600 cm⁻¹).

Gráfico 7. FTIR de la celulosa y la lignina



Fuente: Esta investigación, 2015

6. Conclusiones

Los componentes estructurales de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) variedad Dominico, permiten reincorporar este subproducto a la cadena de valor debido a contenidos importantes presenten en el material como almidón (40%), lignina (12,6%) y celulosa (56,6%); los cuales actualmente se están desaprovechando.

Con base en los contenidos de celulosa y lignina obtenidos del material vegetal en forma de pulpa, son una fuente de materia prima potencial para la obtención de celulosa con buenas características para la industria papelera.

En cuanto a los métodos de extracción químicos evaluados, se encontró que el de mayor contenido de celulosa fue el tratamiento con Ácido sulfúrico al 6 % durante 360 minutos obteniendo un 71,14%, en contraste al tratamiento con Hidróxido de Sodio al 20% NaOH durante 50 minutos obteniendo 52,82%.

Las fibras obtenidas de las cáscaras de plátano de esta variedad de musa, presentaron mejores características físicas y químicas, específicamente a la resistencia, por su alto contenido de lignina y hemicelulosa en su estructura.

Con base en los espectros FTIR analizados sobre el latex de la cáscara, se identifican los azúcares fructosa, glucosa y sacarosa; mientras que ni la xilosa, ni la arabinosa fueron detectadas como azúcares libres en el jugo. De otro lado, se determinó la presencia de ácido succínico y ausencia del ácido cítrico.

Las pruebas físico químicas realizadas a la cáscara de plátano nos indica que la cantidad de almidón, azúcares reductores y componente activos como la cenizas, proteínas y demás; están presentes en una proporción que permite el crecimiento del hongo *Penicillium notatum* por cuanto cumple con los requerimientos nutricionales del mismo.

El halo de inhibición generado por la producción de metabolitos secundarios del *penicillium notatum* en fermentación sólida y líquida, demuestran una respuesta positiva al efecto biocida del hongo, tomando como sustratos de crecimiento al almidón contenido en la cáscara de plátano.

Recomendaciones.

Para la obtención de fibras provenientes de *Musa paradisiaca* es posible reemplazar el uso Hi-

dróxido de Sodio y Ácido sulfúrico como reactivos extraentes y realizar ensayos con sustancias alternativas para obtener otras fibras como: peróxido de hidrógeno o exposición al agua durante periodos de tiempo más largos.

Se recomienda obtener de otras Musas, fibras; y evaluar otras partes de la planta generados como residuos en la cosecha; ya que se observa que contienen altos niveles de celulosa y sus fibras son aptas para el desarrollo de empaques, aunque presentes características físicas y químicas diferentes.

Se recomienda evaluar los impactos de la generación de los licores negros, los cuales contienen lignina y sal, para su tratamiento se pueden quemar a altas temperaturas aprovechando el poder calorífico de la lignina en un proceso de caustificación agregando CaO para formar Ca(OH)_2 que reacciona con Na_2CO_3 y forman 2NaOH y CaCO_3 se precipita haciendo de esta forma rentable la recuperación de NaOH.

Se recomienda evaluar el aprovechamiento posterior del sustrato destinado para el crecimiento de hongos como el *Penicillium notatum*.

7. Referencias bibliográficas:

Andrade, C. U. B., Perazzo, F. F., & Maistro, E. L. (2008). Mutagenicity of the *Musa paradisiaca* (Musaceae) fruit peel extract in mouse peripheral blood cells in vivo. *Genetics and Molecular Research*, 7(3), 725–732. doi:10.4238/vol7-3gmr462

Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis, AOAC. (2012). Método AOAC 945.06 Densidad método picnómetro Revisión.

Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of analysis. AOAC. (2012). Método A.O.A.C. 930.15/90. Determinación de humedad.

Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis AOAC. (2012). Método A.O.A.C. 930.15/90 Determinación de cenizas.

APHA, A.W. (2012). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz Santos, 2-86.

Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis AOAC. (2012). 960.52. Titulación de acidez.

Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of analysis. AOAC. (2014). Método, 930.15/90 Determinación de humedad relativa.

Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis. AOAC. (2014). Método. 930.15/90. Determinación de cenizas totales.

Azcón, J. McGraw-Hill. (2011). Fisiología y bioquímica vegetal. Madrid, 463-478.

Baird, M., Hamlin, J., y O'Sullivan-(2008). Whiting A. An insight into the mechanism of the cellulose dyeing

process: molecular modelling and simulations of cellulose and its interactions with water, urea, aromatic azo-dyes and aryl ammonium compounds. *Dyes and Pigments*, 76(2), 406-416.

Cockerell, F., y Halliday. (2011). Changes in nutritive value of concentrate feeding stuffs during storage. Tropical Products Institute. London. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab489s/AB489S04.htm>

Garcia, E., y Lajolo. (2012). Starch transformation during banana ripening. The amylase and glucosidase behavior. *Food, Sci.* 53:1181-1186. Recuperado de: http://www.biodiversityinternational.org/uploads/tx_news/Routine_post-harvest_screening_of_banana_plantain_hybrids__Criteria_and_methods_235_ES.pdf

Izquierdo, H. (2012). Empleo del follaje de plantas de *Musa* spp como alternativa para la alimentación animal. *Temas de Ciencia Y Tecnología*, 49–60.

Casas, J., y Garcia, J. (2013). *Anàlisi instrumental 2: Cromatografia i electroforesis*. Edición UPC, Barcelona. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/2733/1/5CROMGASES.pdf>

Guimarães, J. L., Frollini, E., da Silva, C. G., Wypych, F., & Satyanarayana, K. G. (2010). Characterization of banana, sugarcane bagasse and sponge gourd fibers of Brazil. *Industrial Crops and Products*, 30(3), 407–415. doi:10.1016/j.indcrop.2009.07.013

Jose, A., & Candamo, A. (2012). Uso de residuos agrícolas, para la producción de biocombustibles en el Meta. *Tecnología Y*

Cultura Afirmando El Conocimientos, (34), 142–156.

Lojewska J., Miskowicz, P., Lojewski T., y Pronienwicz, L. (2015). Cellulose oxidative and hydrolytic degradation: In situ FTIR approach. *Polymer Degradation and Stability*. (12), 88-8.

Lombardo, C., y Padilla, Editorial Venezolana C.A. Venezuela, (2010). Manual Teórico Práctico de Conversión Química de la Madera y Química Ambiental. Universidad de Los Andes. 52.

Madrigal, A. (2012). Caracterización Físico-química de Harinas de Bananos FHIA-17, FHIA-23 y Plátano FHIA-20, para su incorporación en panificación. Universidad de Colima. Facultad de Ciencias Biológicas UANL. Recuperado de: <http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.respyn.uanl.mx%2Fespeciales%2F2008%2Ffee-08>.

NTC, Técnica. (1999). Norma Técnica Colombiana 3549, 6.

NTC, Técnica. (2012). Norma Técnica Colombiana 4623. Productos de frutas y verduras. Determinación de la acidez titulable. ICONTEC

NTC, Técnica. (2012). Norma Técnica Colombiana 4624. Productos de frutas y verduras. Determinación del contenido de sólidos solubles.

NTC, Técnica. (2012). Norma técnica Colombiana 4592. Productos de frutas y verduras. Deter-

minación del pH.

Manuel, J., Bazo, S., Orlando, J., Arbildo, C., Villar, J. R., Marcos, C. E., ... Delgado, Z. (2013). Uso de la savia del plátano de seda (*musa acuminata*) como mordiente en el teñido de algodón. *UNIVERSIDAD NACIONAL José F. Sánchez C. Huacho Perú.*, 9.

Oh, S. Y., Yoo, D. Il, Shin, Y., & Seo, G. (2015). FTIR analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide. *Carbohydrate Research*, 340(3), 417–428. doi:10.1016/j.carres.2004.11.027

Plan estratégico departamental de ciencia, tecnología e innovación de Nariño. 2012. Capítulo 5 “Demanda de Ciencia y tecnología” p.p 68 - 70.

Parra, D. M., Abarca, C. S., Lozano, C., & Mori, P. O. (2010). Fabricación de cerveza usando harina de plátano como adjunto, 81. Retrieved from http://www.escym.com/articulos/202_03

Parra, R., Miller, V., & Lundy, M. (2010). Cadenas Productivas Colombianas : Cómo la Política Pública Transforma la Agricultura. *CIAT Politicas En Sintesis*, 8, 6.

Santanilla1, E. B. F., & Angelica María Oviedo, I. J. V. (2013). Hidrólisis acida de sustratos residuales agroindustriales colombianos, 100.

Vargas S, L. F. (2010). Evaluación de la producción de etanol usando el método de hidrólisis enzimática del almidón del pseudotallo residual del cultivo de plátano Dominico hartón, 1, 49

Zhbankov, R. G., Firsov, S. P., Buslov, D. K., Nikonenko, N. a., Marchewka, M. K., & Ratajczak, H. (2012). Structural physico-chemistry of cellulose macromolecules. Vibrational spectra and structure of cellulose. *Journal of Molecular Structure*, 614(1-3), 117–125. doi:10.1016/S0022-2860(02)00252-1

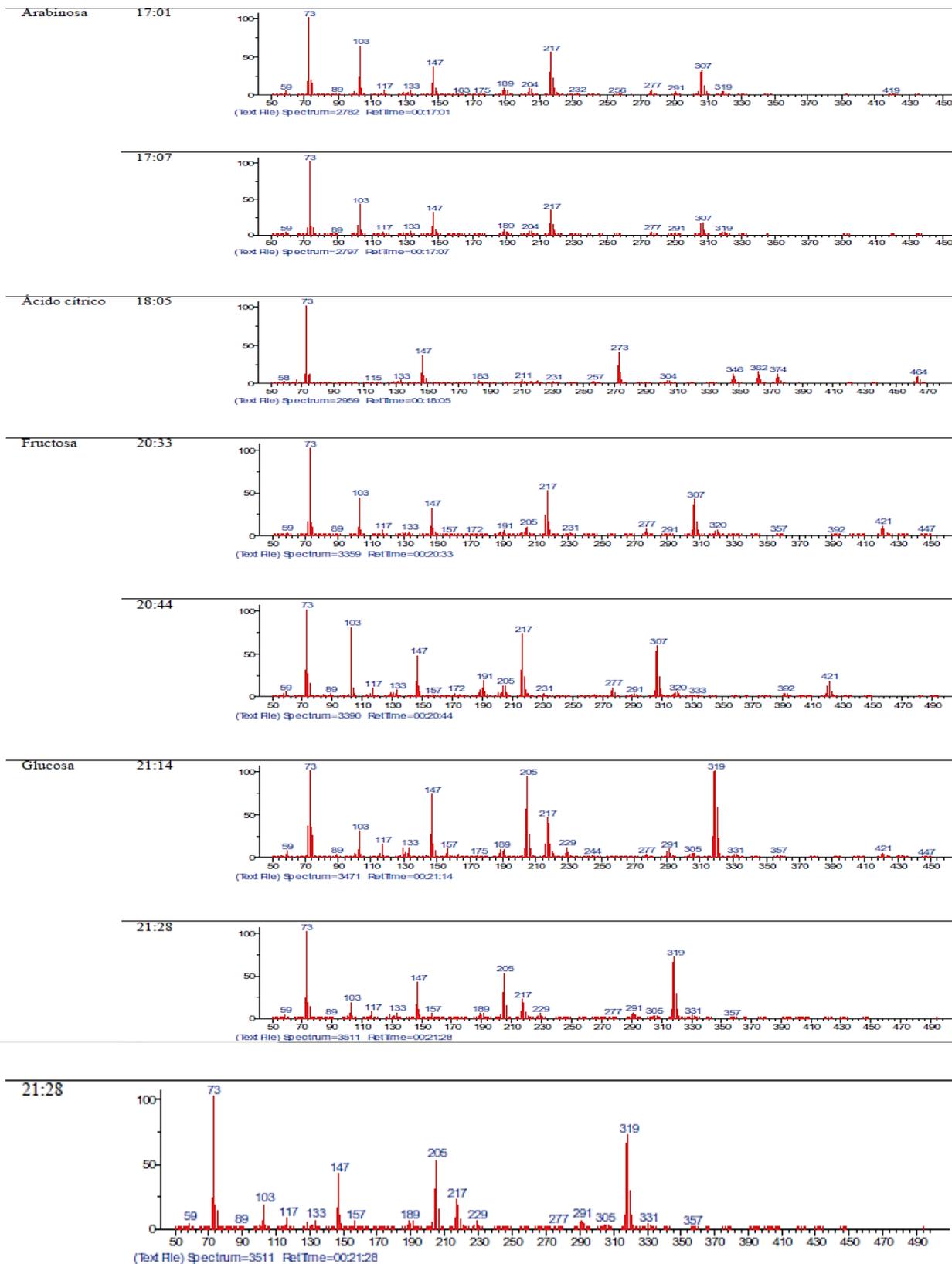
Yang H, Yan R, Chen H et al. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*. 2012; in press

Anexos

Tabla 8. Tiempos de retención (t_R) y espectro de masas de los constituyentes de la solución modelo

Sustancia	t_R (min)	Espectro de masas
Ácido succínico	9:29	<p>(Text File) Spectrum=1548 RetTime=00:09:29</p>
Xilosa	17:14	<p>(Text File) Spectrum=2815 Backgd=2857 RetTime=00:17:14</p>
	17:07	<p>(Text File) Spectrum=2797 RetTime=00:17:07</p>
Arabinosa	17:01	<p>(Text File) Spectrum=2782 RetTime=00:17:01</p>
	17:07	<p>(Text File) Spectrum=2797 RetTime=00:17:07</p>
Ácido cítrico	18:05	<p>(Text File) Spectrum=2959 RetTime=00:18:05</p>

EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS GENERADOS A PARTIR DEL PROCESAMIENTO INDUSTRIAL DEL PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) VARIEDAD HARTÓN, EN EL MUNICIPIO DE SOTOMAYOR DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO



Fuente. Investigación, 2015