

APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE RESIDUOS DE COSECHA Y POSCOSECHA DEL PLÁTANO EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS

Miguel Mazzeo Meneses, Libardo León Agatón, Luis Fernando Mejía Gutiérrez,
Luz Enith Guerrero Mendieta y Juan Diego Botero López
Universidad de Caldas, Manizales (Colombia)

Resumen

El plátano Dominicano-Hartón (*Mussa AAB Simonds*), es una de las variedades más cultivadas en el Departamento de Caldas (Colombia), por lo tanto, en las etapas de cosecha y postcosecha, se generan grandes cantidades de residuos foliares, pseudotallos, bellotas, raquis, calidades segundas y terceras y cáscaras de frutos, que al carecer de un tratamiento o disposición adecuada, se convierten en contaminantes para el medio ambiente. Esta problemática, es abordada en este estudio que, en primera instancia, efectuó un diagnóstico, cuyos resultados fueron consignados en un sistema de información desarrollado para la cadena productiva del plátano en el Departamento de Caldas. Posteriormente, se realizó una caracterización físico-química a los residuos antes mencionados, lo que permitió proponer alternativas de aprovechamiento, a saber: obtención de papel a partir del pseudotallo, obtención de harina del Raquis con fines alimenticios en productos como galletas, coladas y apanados, y obtención de almidón a partir de las segundas y terceras calidades de plátanos en estado verde.

Palabras clave: Plátano, residuos, cosecha, poscosecha, almidón

Abstract

The plantain Dominicano Hartón (*Mussa AAB Simonds*), is one the most spread varieties in the Department of Caldas (Colombia), therefore, in the stages of harvest and postharvest, big quantities of foliar residues, pseudostems, acorns, stem of the bunch (rachis), second and third quality fruit and fruit peels are generated, that lacking of treatment or proper disposition, turn into pollutants for the environment. This problematic, has been approached in this study, which in the first instance, effected a diagnosis, which results were recorded in an information system developed for the productive chain of the banana in the Department of Caldas. Later, an physicist - chemistry analysis carried out a characterization to the residues mentioned before, which allowed to propose alternatives of utilization, like: obtaining paper from the pseudostem, obtaining flour of the Rachis with food ends in products like cookies, washes, and a covered in breadcrumbs products, and obtaining starch from the second and third qualities of plantains in the green state.

Keywords: Plantain, residues, harvest and post-harvests, starch

Introducción

El plátano pertenece a la familia de las *Musáceas*, son nativas del sudeste asiático, y comprende dos especies: *Musa Cavendish* (Bananos) y *Musa paradisiaca* (plátanos). (Gov.Est.Colima, 2005). Por su parte, las variedades de plátano Dominic-Hartón, Hartón, Dominic y Africa 1 son las más cultivadas en el departamento de Caldas, ya que han demostrado buena adaptación a sus condiciones agroecológicas. (Gobernación de Caldas - Corpoica, 2005).

Cuando se cosecha el racimo, solo se está utilizando del 20 al 30% de su biomasa (Belalcazar C. et al., 1991), quedando de un 70 a 80% por utilizar, lo que ha generado una de las principales problemáticas ambientales, puesto que en la mayoría de los casos son incinerados o vertidos a los causes receptores sin tratamiento previo, contribuyendo a la degradación del ecosistema; aunque, algunos productores aprovechan los residuos en la plantación en forma de abono verde y alimentación animal (Vidal F.I., et al., 2001).

En este sentido, los residuos en los que se focalizó el presente proyecto fueron: pseudo tallo, raquis y segundas y terceras de plátano.

El pseudo tallo: es una fuente de fibra y, en especial, las especies de *Musa textilis* de Musa (el abacá, manila, el cáñamo) sirven para hacer ropas, cordones, hilos, forros interiores de vehículos. La fibra común que se extrae de los pecíolos secos y el pseudo tallo de la planta son utilizados en la fabricación de ciertos papeles (INFOMUSA, 1994). También se han demostrado las propiedades antioxidantes del polvo del pseudo tallo, las cuales le confieren al producto cualidades promotoras de salud (Pérez Capote M.R. et al., 2008).

Por su parte, el vástago o raquis, comúnmente se utiliza como alimento para ganado, pero también se ha venido utilizando en forma de harinas con el mismo fin; últimamente se han desarrollado productos para alimentación humana (INIBAP, 1997) y también pueden ser fuente de materiales fibrosos como papel, materiales de construcción y artesanías (Duque A. et al., 2000).

En lo que respecta a las segundas y terceras de plátano, en estado verde o maduro representan un 50% del

plátano producido y comercializado en Caldas, lo que determina un alto volumen de producto comercializado a bajo costo (Gobernación de Caldas - Corpoica, 2005). A lo anterior, debemos sumar los plátanos que se deterioran por daños mecánicos (18,3%), y patológicos (23.9%) en los sitios de comercialización, al ser manipulados inadecuadamente. (Duque A. et al., 2000).

Los frutos verdes y maduros residuales de la poscosecha pueden ser aprovechados para alimentación humana, en la elaboración de chips, cremas, panes, tortas, helados, batidos, mermeladas, purés, productos lácteos como los yogures, en bebidas sazonadas y alcohólicas, en alimentos infantiles y salsas, y en la extracción de almidones nativos de plátano, entre otros (Flores-Gorosquera E. et al., 2004); así mismo, en la obtención de almidones modificados (Aguirre-Cruz A. et al., 2007), así como en la utilización de dichas harinas y almidones para la elaboración de pastas alimenticias y productos de panificación (Ovando-Martínez M., et al., 2007).

Respondiendo a la problemática ambiental detectada, se planteó el objetivo central de aprovechar los residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de Caldas definiendo, los siguientes objetivos específicos: realizar un diagnóstico del destino de sus residuos en el departamento de Caldas; desarrollar una aplicación informática y un modelo de base de datos para la cadena productiva del plátano en Caldas, e industrializar los residuos de cosecha y poscosecha de plátano mediante procesos prototipos en la Unidad Tecnológica de Alimentos de la Universidad de Caldas.

Los resultados del presente proyecto fueron socializados en cuatro municipios del departamento a saber: Salamina, Anserma, Palestina y Viterbo (Colombia) y en el Foro interinstitucional de la cadena productiva del plátano en Caldas realizado en la ciudad de Manizales (Colombia), en el año 2008.

Metodología

Diagnóstico de la oferta y la calidad de plátano en el departamento de Caldas: Con la participación de asociaciones de productores, gobierno departamental,

y el análisis de estudios similares, se diseñó una encuesta que permitiera caracterizar la cadena productiva del plátano en Caldas, y especialmente determinar el destino de los desechos generados por su cosecha y poscosecha. Ésta fue aplicada en municipios de Palestina, Chinchiná, Neira, Salamina, Anserma, Viterbo y Victoria, de Caldas (sector rural), en virtud de sus volúmenes de producción.

El estudio estadístico, definió una población (N) de 1520 fincas productoras de plátano, para lo cual se calculó una muestra (n) de 94 elementos muestrales, con un nivel de confianza del 95% y un error estándar del 5%. Las variables consideradas en las encuestas se analizaron estadísticamente en forma descriptiva presentándose los resultados en forma de gráficas, registrándolos luego en el sistema de información previsto.

Desarrollo de una aplicación de informática y un modelo de base de datos: Se diseñó una aplicación informática, que permitió el manejo de la información de la cadena productiva del plátano de Caldas con respecto a: productores, producción, residuos, mercados, centros de acopio o almacenamiento, comercialización y costos de producción. Igualmente, se realizó el diseño de un modelo de base de datos que gestiona la información anteriormente descrita mediante *un sistema gestor de base de datos libre* utilizando para el desarrollo de las interfaces un lenguaje de programación orientado a la Web, de carácter libre.

Aprovechamiento o industrialización de los residuos de cosecha y poscosecha de plátano: De acuerdo con el diagnóstico, se evaluó la variedad de plátano más cultivada en el departamento de Caldas: Dominico-Hartón (*Mussa AAB Simonds*), en lo que respecta a la calidad y volúmenes de los residuos; así mismo, se seleccionaron tecnologías disponibles para efectuar ensayos exploratorios, que permitieron determinar procesos prototipos, y productos a partir de sus residuos, tales como:

Elaboración de papel a partir del vástago del plátano: El papel es una estructura obtenida con base a fibras vegetales de celulosa, las cuales se entrecruzan formando una hoja resistente y flexible. La composición química de los residuos del cultivo

del plátano contienen lignina en un 15.7%, que es un biopolímero aromático amorfo difícil de biodegradar (Rivera K. *et al.*, 2008), que junto con un 61.1% de celulosa (Carrillo A., *et al.*, 1999), constituyen los productos principales de estos residuos. En cuanto al proceso desarrollado: se ensayaron dos métodos de elaboración de papel en forma exploratoria (Tabla 1), uno artesanal (Carrillo A., *et al.*, 1999) y otro químico (Blanco M. L., 2000), este último con dos variantes de reactivos para comparar la calidad de la fibra extraída.

Obtención industrial de harina de vástago o raquis del plátano:

a) Se efectuó inicialmente una caracterización fisicoquímica de la materia prima (raquis) obtenidos en el Municipio de Chinchiná (Caldas) para determinar su composición. Comprendiendo ensayos del contenido de humedad, contenido de cenizas, grasa, fibra cruda y proteína (AOAC, 1994), realizados en el laboratorio de bromatología de la Universidad de Caldas. El material de análisis, fue transportado en bolsas de polietileno de baja densidad hasta el lugar de transformación en la Unidad Tecnología de Alimentos (UTA) de la misma Universidad, allí, se diseñó el proceso de obtención de la harina de raquis por validación del proceso de obtención de harina de plátano (Robles K., 2007) y residuos (Carvajal L., 2002), estableciéndose las siguientes operaciones: **a) Selección:** se realizó teniendo en cuenta características sensoriales y alteración microbiológica, presencia de manchas oscuras o con signos de putrefacción; **b) Lavado:** el raquis y la cáscara de plátano se lavaron minuciosamente con agua y se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio al 5% por 10 minutos; **c) Pelado:** El pelado se realizó de forma manual con cuchillo, de la corteza superficial se hizo un troceado en rebanadas de aproximadamente 1 cm de grosor; **d) Inmersión:** Los residuos se sumergieron en una solución de ácido cítrico y metabisulfito de sodio (0,1%) por 4 horas con el fin de evitar el pardeamiento. **e) Secado:** La deshidratación se llevó a cabo en un secador de bandejas marca “Mefym”, a 60°C durante 10-11 horas, hasta lograr un producto con un contenido de humedad del 7.5%; **f) Molienda:** Se utilizó un molino de cuchillas marca “Wiley”, por el cual se pasaron los trozos de producto seco para ser finamente divididos hasta partículas pequeñas. **g) Tamizado:** la totalidad del producto se pasó a través de un tamiz de malla N° 8 serie Tyler para obtener

un producto más fino; **h) Empaque:** Una vez lista la harina se empacó en bolsas de polietileno de baja densidad calibre 3 en presentación de 500g, con

sellado térmico, las que luego fueron almacenadas en lugar seco.

Tabla 1. Métodos para la obtención de papel a partir del pseudotallo del plátano

Operación	Artesanal	Químico-1	Químico-2
Pesado	600g	600g	600g
Troceado	Corte en trozos de licuado	Licuado con agua	Licuado con agua
Extracción de la fibra	Calentamiento en agua por 40 minutos	Calentamiento en solución al 30% de soda cáustica por 30 minutos en dos ocasiones.	Calentamiento en solución al 30% de soda cáustica por 30 minutos en dos ocasiones.
Filtrado	En colador de acero inoxidable	Filtrado en colador de acero inoxidable, se repite y deja en reposo 3 horas	Filtrado en colador de acero inoxidable, se repite y deja en reposo 3 horas
Blanqueado	Con hipoclorito concentrado por 15 minutos	Con agua oxigenada concentrada	Con hipoclorito concentrado
Filtrado	En colador de acero inoxidable.	En colador de acero inoxidable.	En colador de acero inoxidable.
Compactación de la fibra	-----	Sumergida en 250 ml de colbón	Sumergida en 250 ml de colbón
Moldeado	Con rodillo y bastidor con malla plástica	Con rodillo y bastidor con malla plástica	Con rodillo y bastidor con malla plástica
Secado	Prensa de madera al ambiente	Prensa de madera al ambiente	Prensa de madera al ambiente
Papel obtenido	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Rendimiento en fibra	210g	480g	486g

Fuentes: Análisis del proyecto

Aprovechamiento de la harina de raquis: Después de hacer una investigación bibliográfica (Robles K.2007) acerca de los posibles productos donde se podría evaluar la utilización de harina de raquis, se procedió a elaborar tres tipos de producto a saber: uno de panificación como *las galletas*, otro a base de leche como *la colada*, y por ultimo un *apanado*. En estos productos se establecieron dos formulaciones para cada tipo, reemplazando un porcentaje de harina de trigo por harina de raquis. (tabla 2). Los demás componentes de las formulaciones como azúcar, grasa, huevos, esencias y agua para el caso de las galletas; leche y azúcar para la colada; pollo, especias y sal para los apanados, se mantuvieron constantes. Las muestras se elaboraron con los porcentajes respectivos a evaluar y posteriormente se les realizó el análisis sensorial.

Selección del empaque. El empaque se seleccionó teniendo en cuenta los requerimientos de barrera para esta clase de productos, además se realizó un análisis paralelo mediante el estudio de vida de anaquel

haciendo un seguimiento de las características de conservación y protección que éste le proporciona al producto.

Análisis sensorial. Se llevó a cabo un análisis sensorial a los productos obtenidos con las diferentes formulaciones, se contó con la colaboración de 30 jueces (estudiantes) semientrenados de la Unidad Tecnológica de Alimentos (UTA). En dicho análisis se realizaron pruebas de preferencia (Pedrero D.L., 1997) por clasificación utilizando una escala hedónica, la cual consta de una serie de grados de intensidad del parámetro afectivo, en las que el juez expresa su reacción subjetiva ante el producto indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza, o si le es indiferente para cada una de las muestras de los productos previamente codificadas. Los resultados se trataron estadísticamente mediante el test de Kruskal-Wallis con el fin de determinar si había o no, diferencia significativa entre preferencias de las formulaciones de cada producto.

Tabla 2. Formulaciones de los productos elaborados a partir de Harina de Raquis

Materia Prima	Formulación(711)	Formulación (594)
Formulación harina para galletas		
Harina de Trigo	80%	70%
Harina de Raquis	20%	30%
Formulación Premezcla Colada		
Materia Prima	Formulación(521)	Formulación(142)
Harina de Raquis	30%	20%
Harina de Trigo	15%	25%
Harina de Plátano	20%	20%
Harina de Soya	20%	20%
Leche en Polvo	15%	15%
Formulación Harina para Apanados		
Materia Prima	Formulación 1	Formulación 2
Harina de Raquis	100%	80%
Harina de Trigo	0%	20%

Productos obtenidos a partir de Harina de Raquis

Estudio vida de anaquel. El método empleado para determinar la vida de anaquel fue el dependiente del empaque y de las condiciones de almacenamiento, utilizando como variable de estudio influyente la humedad para determinar el periodo de vida útil del producto. De ésta manera, se evaluaron muestras de harina raquis a condiciones normales y extremas de humedad utilizando la temperatura para comprobar la permeabilidad del empaque. Para la obtención de los datos se utilizó la técnica de muestreo parcialmente escalonado. El análisis de humedad (AOAC, 1994), se hizo cada cuatro días durante 52 días para la harina de raquis, bajo dos condiciones: la primera con una humedad relativa del 15% y temperatura de 22°C; y la segunda con una humedad relativa del 95%, temperatura de 30°C y sin luz. Los datos de ganancia de humedad se sometieron a evaluación matemática por medio de las ecuaciones de transferencia de masa relacionadas con permeabilidad (Ley de Fick Figura 7). Al comparar estos datos se halló el valor del tiempo de duración en el cual la humedad del producto alcanza un valor inaceptable para ser consumido.

Obtención de almidón a partir de segundas y terceras de plátano verde: Los frutos verdes de plátano tienen un alto contenido de almidón (Tabla 4), siendo fuentes potenciales para su extracción. Las muestras de segundas y terceras del *plátano Dominicano-Hartón (Musa AAB Simmonds)* se obtuvieron de los rechazos poscosecha de la finca el Trébol del Municipio de Manizales, se trasladaron al laboratorio de análisis de

calidad de la Unidad Tecnológica de Alimentos (UTA) de la Universidad de Caldas para su caracterización y se realizaron los análisis respectivos de contenido de humedad, almidón, grasa, proteína, fibra, cenizas según las técnicas recomendadas por la *Association Official Analytical Chemists (A.O.A.C., 1994)* y carbohidratos por diferencia.

Proceso de extracción de almidón: Para el caso, se aplicaron dos métodos: seco y húmedo. Con el fin de determinar el rendimiento de extracción y el balance de materia, se realizaron cinco replicas cada una con 20 kg. de plátano en cada método para un total de 100 kg de plátano verde utilizado.

Método seco (Callejo G., 2002): El método consta de las siguientes etapas: Se pesaron lotes de 20 kg del fruto verde de segundas y terceras, luego se lavaron con agua potable y desinfectaron con una solución preparada con 50 litros de agua e hipoclorito de sodio al 1% por 10 minutos; posteriormente se eliminó la cáscara con cuchillo y se cortó la pulpa en rodajas de de 2-3 cm de largo y 4 mm de espesor, colocándolas en un vaso de precipitado de 4 litros con una solución antioxidante de ácido cítrico (0,3%) en una relación fruto/solución 1:1,5 (p/v), con lo que se evita el oscurecimiento de la pulpa;. Luego del escurrido, las rodajas se llevaron al secador de bandejas marca “Mefym”, a 40 °C por 10 horas. La harina obtenida en el proceso de molienda, se sumergió en agua durante cuatro horas, al cabo de lo cual se decantó el almidón, volviéndose a llevar al secador, para posteriormente ser empacado en bolsas de polietileno calibre 2.

Método húmedo (Flores-Gorosquera E. *et al.*, 2004): Con lotes de 20 kg y luego del lavado, desinfección y pelado se trocó en una licuadora (Hamilton Beach, modelo 58100-MX.) con agua en una relación 1:1 a velocidad máxima, por dos minutos, posteriormente el fruto molido se cribó sucesivamente en mallas de 50 y 100 U.S. En cada malla el residuo se lavó hasta que el líquido de salida no tuviera residuo aparente de almidón. La suspensión obtenida se separó en una centrífuga de laboratorio a 10800 x g durante 30 minutos donde se eliminó el sobrenadante, obteniéndose un residuo blanco (almidón), el cual se suspendió en agua destilada y se centrifugó nuevamente. Esta operación se repitió tres veces y la pasta final se secó en un secador de bandejas marca “Mefym a 40-45 °C por 48 horas y luego se desintegró en un molino de

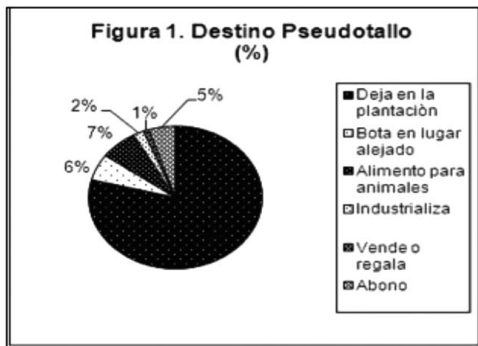
cuchillas marca “Wiley” y se tamizó por una malla US No. 100, luego se empacó en bolsas de polietileno calibre 2 y almacenó al ambiente. Obtenidos los almidones se realizó un análisis bromatológico.

Análisis y discusión de resultados

Diagnóstico: Los resultados de las encuestas se analizaron especialmente para determinar las condiciones de residuos de cosecha y poscosecha que se producen en el Departamento de Caldas, aunque se obtuvieron otros datos sobre el cultivo del plátano que se registraron en el sistema de información diseñado para la cadena productiva del plátano en el Departamento de Caldas.

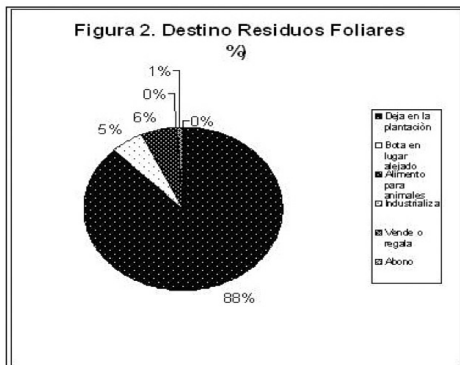
Los pseudotallos (79%), residuos foliares (87%) y raquis (65%) en un gran porcentaje se dejan en la plantación, y al resto se le da otro destino como retirarlo del lugar de cultivo, alimentación animal, abonos, elaboración de artesanías y venta. Este gran volumen de residuos en la plantación sin tratamiento alguno genera problemas para la plantas por ser hospedero de plagas e insectos (Figuras1-3).

Figura 1. Destino Pseudotallo



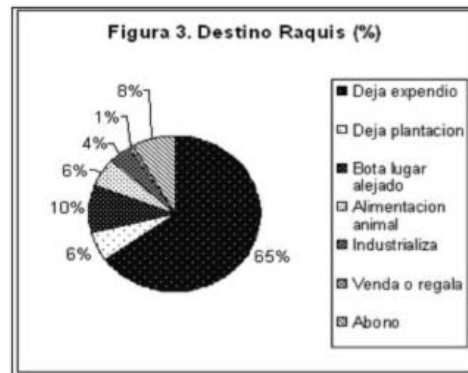
Encuestas fincas de cultivo plátano

Figura 2. Destino Residuos Foliares



Encuestas Fincas de cultivo plátano

Figura 3. Destino Raquis



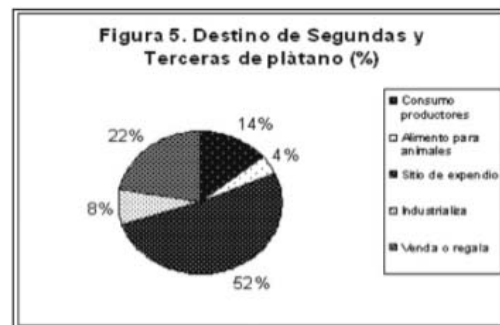
Encuestas fincas de cultivo plátano

Figura 4. Destino Residuos Foliares



Encuestas fincas de cultivo plátano

Figura 5. Destino Segundas y Terceras



Encuestas fincas cultivo plátano y plazas de mercado

Con respecto a las cáscaras un 78% se generan en el sitio de consumo, es decir, casas de familia, restaurantes y otros sitios de expendio de comidas (figura 4).

En relación al destino de las segundas y terceras de plátano la mayor parte (52%) son desechados en el

sitio de expendio (figura 5). Aquí también hay una gran oportunidad de negocio ya que las segundas y terceras tienen un bajo costo y su procesamiento es similar al de los plátanos de primera calidad.

Sistema de información: Se diseñó una aplicación de informática que permitió el manejo de la información de la cadena productiva del plátano en Caldas, recolectada a través de encuestas hechas durante el desarrollo de este proyecto de investigación, teniendo en cuenta que la información pueda ser almacenada y procesada con el fin de producir estadísticas e indicadores que apoyen la toma de decisiones con respecto a: productores, mercados, centros de acopio o almacenamiento, comercialización, costos de producción y políticas del sector. Para la implementación de este sistema se tuvieron en cuenta herramientas de libre distribución: La plataforma servidor empleada fue el Apache 2.0.59, mediante su implementación en la herramienta Wamp Server 5 1.6.5; la programación del sistema se desarrolló utilizando el lenguaje de programación php en su versión 5.1.6; Las validaciones de los campos de los formularios se realizaron mediante el lenguaje Java script; Las gráficas estadísticas son construidas a partir de la librería jgraph-2.2; la base de datos fue construida con el gestor de bases de datos PostgreSQL 8.2.

La elaboración del sistema se hizo con base en el concepto de MVC (Modelo – Vista - Controlador) y se utilizó tanto programación embebida como programación orientada a objetos, se instancian algunas clases de la librería jgraph para realizar las gráficas estadísticas a partir de la información contenida en la base de datos.

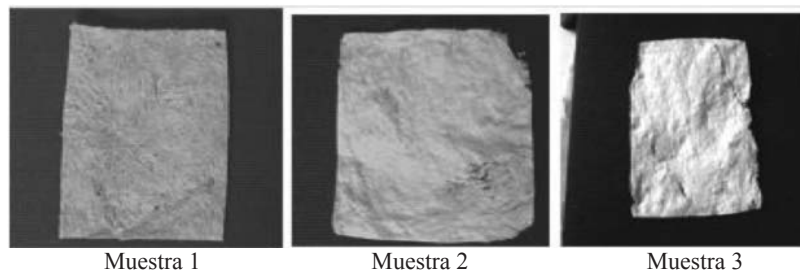
Para las conexiones a la base de datos se utilizó una clase que cumple las veces de controlador, mediante

ésta se realizó no sólo la conexión sino que también permitió realizar diferentes consultas sobre la base de datos.

El sistema se compone de un módulo para su administración y otro para el visitante, estos están integrados a una página Web referente al proyecto de investigación tratado. Este aplicativo se ubicó en Internet en la dirección: [http:// 200.21.104.25/platano](http://200.21.104.25/platano) y para acceder al módulo de administración es necesario tener un usuario y una contraseña válida para poder ingresar y realizar las modificaciones deseadas.

Obtencion de papel a partir del pseudotallo: El proceso de extracción de la fibra (celulosa) para elaborar papel a partir del pseudotallo permitió obtener tres muestras de papel: La *muestra 1* presentó una textura muy rígida, esto es debido a que no se realizó una separación completa de la lignina, y poco efecto del blanqueador aparece más oscura que las demás muestras obtenidas de papel. Las *muestras 2 y 3* obtenidas por el método químico fueron las de mejor calidad en especial la *muestra 3* blanqueada con hipoclorito de sodio que presenta una mayor despigmentación de las fibras y, a la vez, mayor suavidad. Igualmente se logró una mejor compactación entre las fibras que son tratadas con el hipoclorito de sodio que con las que fueron blanqueadas con el agua oxigenada (figura 6). El rendimiento obtenido de fibra fue más alto para las extracciones por los métodos químicos: 80% y 81% para las muestras 2 y 3 respectivamente que para la muestra 1: 35%. En general, las fibras obtenidas por el método químico presentan una mejor calidad pero aún siguen teniendo una estructura brusca, por lo que requieren una afinación del método que facilite la extracción de mayor cantidad de lignina y el ablandamiento de las mismas.

Figura 6. Muestras de Papel a partir del pseudotallo del plátano



Fuente: Resultado del proyecto

Caracterización y aprovechamiento de harina de raquis: Los análisis de caracterización de la harina de raquis obtenida son similares a los presentados por otras harinas (tabla 3). La comparación de los resultados de análisis fisicoquímico de la harina de raquis con otros análisis realizados a productos similares como harina de plátano y otras, muestran valores semejantes en los contenidos de proteína, grasa, y cenizas y un valor mucho más alto en el contenido de fibra (23,02%) pudiendo reemplazar otras harinas obtenidas de subproductos. Así, la harina de raquis puede, por su alto contenido de fibra, reemplazar a las harinas de arroz, salvado de maíz, forraje de maíz, harina de trigo de tercera, salvado de

trigo, etc., en alimentos para animales, en productos ricos en fibra para alimentación humana y en especial para tratamiento de problemas gastrointestinales.

Análisis sensorial: Luego de efectuadas las evaluaciones sensoriales, los resultados fueron sometidos a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, se obtuvieron los siguientes resultados:

Galletas: Se determinó la existencia de diferencia significativa entre las muestras evaluadas ($P < 0,05$), siendo la muestra con un 20% de harina raquis la que generó mayor grado de satisfacción a los jueces consumidores.

Tabla 3. Composición química de harina de plátano, harina Raquis y otras harinas (%)

Característica	Humedad	Cenizas	Grasa	Proteína	Almidón	Fibra
Harina de plátano (1)	10,0	2,5	1,0	7-12%	60-72	1,0
Harina de Raquis (2)	7,5	2,1	0,1	12,8	-----	23,0
Harina de Arroz de Primera(3)	14,0	8,0	12,0	13,0	-----	-----
Forraje de Maíz (3)	14,0	11,0	1,0	21,0	-----	-----
Harina de Maíz (3)	12,2	2,0	1,5	8,0	73,0	4,0
Harina de Trigo de Tercera (3)	12,1	3,5	---	18,0	78,5	4,5
Salvado de Trigo(3)	14,0	6,0	3,0	11,5	-----	11,0

Fuente: NTC 2799; (2) Laboratorio de Bromatología de la Universidad de Caldas, 2008; (3) Tabla de Composición de Alimentos -Instituto Colombiano de Bienestar Familiar(ICBF),1992

Colada: No existió diferencia significativa entre las muestras evaluadas ($P > 0,05$). La muestra mejor evaluada fue la que tenía un 30% de harina de raquis con una calificación promedio de 3.23. Sin embargo, ambas muestras no generaron gran satisfacción a los jueces consumidores.

Apanados: Existió diferencia significativa entre las muestras evaluadas ($P < 0,05$), siendo la muestra de Harina raquis con un 100%, la que generó mayor grado de satisfacción a los jueces consumidores, con un promedio de calificación de 4,5.

Selección empaque: El material de empaque seleccionado es polietileno de baja densidad (PEBD) calibre 3, transparente que se emplea para la comercialización de productos similares como la harina de trigo y harina de plátano. El empaque se seleccionó por presentar buenas características de impresión (tres colores), barrera media a oxígeno, dióxido de carbono, grasas, aromas y sabores y alta barrera a la humedad y al vapor de agua (24); esto impide el

paso de microorganismos y de la humedad ambiental (PAINE F., 1994).

Estudio vida de anaquel de la harina de raquis y harina de cáscara de plátano: La variable fisicoquímica seleccionada para la determinación de la vida útil del producto fue la humedad, la cual con el paso del tiempo se va elevando y al llegar al valor máximo de 12% provoca deterioro en sus propiedades físicas (textura, color) además de propiciar el ataque microbiano y la alteración de la fibra y carbohidratos del producto.

La tabla 4 muestra la ganancia de humedad en el tiempo a dos condiciones diferentes de humedad relativa y temperatura para las dos harinas y en la figura 7 se presenta un ejemplo del cálculo por el método de permeabilidad de la ley de Fick.

En los ensayos se evaluó el producto a condiciones ambientales normales de la ciudad de Manizales y a elevada humedad y temperatura y poca luz

para acelerar la permeabilidad. Se recurrió al modelo de transferencia de masa relacionado con la permeabilidad del empaque (PEBAD Calibre 3) el cual es el factor determinante de la duración del

Tabla 4. Evolución de la Humedad

Tiempo (Días)	Humedad (HR=15%, T° _{amb} =22°C)	Humedad (HR=95%, T° _{amb} =30°C, Luz=0)
0	7,50	7,50
4	7,56	7,87
8	7,63	7,99
12	7,71	8,23
16	7,76	8,37
20	7,85	8,63
24	7,91	8,91
28	8,13	9,15
32	8,24	9,26
36	8,39	9,48
40	8,57	9,61
44	8,62	9,84
48	8,75	9,97
52	9,32	10,03

Estudio vida de anaquel harinas

Después de dichos períodos de tiempo las harinas presentarán deterioro en sus propiedades físicas (textura, color) además de propiciar el ataque microbiano y la alteración de la fibra y carbohidratos a las condiciones normales de almacenamiento de la ciudad de Manizales (13 °C, 70%HR).

Obtención de almidón a partir de segundas y terceras de plátano verde: Los residuos de segundas y terceras verdes son ricos en almidones (tabla 5), por lo que los procesos de extracción de este polisacárido deben garantizar un máximo rendimiento.

Los datos del proceso de obtención de almidón por el método de molienda en seco y húmedo permiten establecer que el método húmedo arroja los mayores rendimientos de extracción de almidón (Tabla 5 y 6), respecto al total del peso de la pulpa de plátano como al total de almidón contenido en la misma. La validez de dichos resultados se pudo verificar en

producto. Al efectuarse los cálculos por el modelo de permeabilidad se encontró que la harina de raquis con un 12% de humedad tendrá una vida útil de 12.4 meses (1.03 años).

Figura 7. Cálculos Método de Permeabilidad

Modelo de permeabilidad

$$t = \frac{Q \Delta X}{A B \Delta P}$$

Para las unidades experimentales de 50g:

$Q = 575 \text{ g} \approx 12499.3103 \text{ cm}^3$ de vapor de agua a presión de Manizales
 $\Delta X = 30 \mu\text{m}$
 $A = 0,0132 \text{ m}^2$

$$\Delta P = \frac{Pr_{20} HR}{100} = \frac{2.338 \text{ KPa}(85)}{100} = 1.9873 \text{ KPa}$$

$$B_{\text{pr}} = 38466 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 \mu\text{m} / \text{m} \text{ día KPa}$$

$$t = \frac{12499.3103 \text{ cm}^3 (30 \mu\text{m})}{0.0132 \text{ m}^2 (38466 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 \mu\text{m} / \text{m} \text{ día KPa}) (1.9873 \text{ KPa})}$$

$t = 371.61 \text{ días} \approx 172 \text{ días} = 12.4 \text{ meses} \approx 1.03 \text{ años}$

A partir de los datos experimentales y la comparación de la humedad se halló el valor de la permeabilidad, así para el día 8.

$Q = 0,28 \text{ g}$

$$B = \frac{(218.43 \text{ cm}^3 (30 \mu\text{m}))}{(0.0132 \text{ m}^2) (8.8 \text{ días}) (1.9873 \text{ KPa})}$$

$$B = 3.1225 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 \mu\text{m} / \text{m} \text{ día KPa}$$

Es un valor muy cercano al teórico. Por lo tanto el comportamiento del empaque es el correcto y se puede tomar como determinante de la vida útil del producto.

Con este valor, el producto para llegar al 12% de humedad se gastará 12.4 meses (1.03 años) a las condiciones normales de almacenamiento en Manizales.

Estudio vida de anaquel harina raquis

el análisis estadístico con ANOVA, test de rangos múltiples y test de Kruskal- Wallis, confirmando que la mayor cantidad promedio de almidón extraído en los ensayos se obtuvo en la molienda húmeda (12,54%) con respecto a la molienda seca (10,93%) y que dichos ensayos presentan una diferencia estadística significativa en un nivel de confianza del 99%.

Conclusiones

En este proyecto se pudo comprobar que se pueden aprovechar residuos de la cosecha y poscosecha del plátano como el pseudotallo, raquis, segundas y terceras, mediante procesos que se pueden industrializar para obtener productos alimenticios (harinas) y no alimenticios (papel) para darle un mayor valor agregado al cultivo de plátano *Dominico-Hartón* en el departamento de Caldas.

Tabla 5. Rendimientos y mermas. Extracción almidón método seco

Muestra	Peso Inicial Pulpa (g)	Peso Almidón en Pulpa (g)	Almidón Extraído (g)	% Extracción Almidón	% Rendimiento de almidón extraído con respecto al total
1	12200	2800	1500	12,30	53,57
2	11400	2400	1150	10,09	47,92
3	11800	2700	1300	11,02	48,15
4	11900	2600	1250	10,50	48,08
5	12100	2600	1300	10,74	50,00
Promedio	11880	2620	1300	10,93	49,62
Base calculo: 20 kg de residuos de plátano verde:					

Fuente: Resultados del proyecto

Tabla 6. Rendimientos y mermas. Extracción almidón método húmedo

Muestra	Peso Inicial Pulpa (g)	Peso Almidón en Pulpa (g)	Almidón Extraído (g)	% Extracción Almidón	% Rendimiento de Almidón Extraído con respecto al total
1	13600	2992	1720	13,87	57,49
2	12400	2728	1600	12,31	58,65
3	13000	2860	1640	12,33	57,34
4	13300	2926	1660	12,39	56,73
5	13400	2948	1580	11,79	53,6
Total	65700	14454	8200	12,538	56,762

Base calculo: 20 kg de residuos de plátano verde:

Fuente: Resultados del proyecto

Los residuos de cosecha como el pseudotallo son aptos para la obtención de papel por métodos químicos con mayor rendimiento y calidad de la fibra. Sin embargo estos métodos requieren perfeccionarse desde el punto de vista comercial.

Así mismo, se obtuvo harina de raquis del plátano *Dominico-Hartón (Musa AAB Simmonds)* cultivado en el departamento de Caldas, evaluando su calidad con fines de industrialización, obteniendo como principal resultado una harina con un contenido de fibra superior al de productos de características similares, por lo que se considera como un nuevo alimento que puede ser utilizado en la elaboración de productos de panificación como galletas, alimentos infantiles (coladas) y productos apanados, con excelentes propiedades organolépticas, igualmente, puede sustituir otras harinas tradicionales en especial harinas de subproductos de cereales como el trigo, arroz y el maíz en la alimentación animal.

También, se logró extraer almidón mediante dos métodos (seco y húmedo) a partir de segundas y terceras del plátano *Dominico-Hartón (Musa AAB Simmonds)*, concluyendo, que el mejor método fue el húmedo por su mayor extracción promedio de 56,76% a diferencia del método seco donde el porcentaje promedio fue 49,54%. Se considera que el proceso de molienda húmeda es un procedimiento sencillo y con recuperaciones aceptables, sin embargo este proceso debe perfeccionarse, ya que otros investigadores (Aguirre-Cruz A. et al., 2007) lograron alcanzar extracciones entre 63,90% y 65,30% para este fruto. De esta manera se pudo también confirmar que la extracción de almidones es otra utilidad potencial de los residuos de poscosecha como las segundas y terceras de plátano que se desechan en basureros o se venden a precios bajos, generando problemas sanitarios y elevando los costos de comercialización del plátano de primera calidad.

Referencias

- Aguirre Cruz A., Bello Pérez A., González Soto L.A., Álvarez Castillo R.A., (2007). Modificación química del almidón presente en la harina de plátano macho (*Musa Paradisiaca* L.) y su efecto en el contenido de fibra dietética. Memorias IX congreso de ciencia de los alimentos y v foro de ciencia y tecnología de alimentos, Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad de Guanajuato, México. pp. 63 -70.
- AOAC. Official Methods of Analysis, (1994). 15th edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Belalcázar C., Valencia J., Lozada J. La planta y el fruto. En: Belalcázar, S (ed) Manual de Asistencia Técnica No. 50 ICA, El cultivo del plátano en el trópico. Armenia, Quindío, INIBAP. Feriva, Cali, 1991, pp.45-89,376.
- Blanco M.L. (2000). Pulpeo y caracterización de raquis de banano (*Musa* AAA, Giant Cavendish). Ingeniería, January 1, pp.1-5.
- Callejo G.M.J., (2002). Industrias de cereales y derivados. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp. 24-35; 67-62; 90-101; 191-208; 222- 232.
- Carrillo A., Castro. F., Mejía A., Muñoz F., Pachón A., Torres. L., Harvey Zabala J., (1999). Propuesta para la producción de papel artesanal aprovechando los residuos vegetales generados durante la comercialización del plátano. Revista Química e Industria, Vol. 20 No. 1 Universidad Nacional de Colombia, pp.1.
- Carvajal, L., Sánchez, M.L., Giraldo, G.G., Arcila, M.I., (2002). Diseño de un producto alimenticio para humanos (hojuelas) a partir del raquis de plátano (*Musa* AAB Simmonds). Memorias XV reunión realizada en Cartagena de Indias, Colombia, Asociación de Bananeros de Colombia, AUGURA, pp.531-534.
- Duque A., Bohórquez Y., (2000). Modelo para la determinación de pérdidas postcosecha del plátano Dominico-Hartón (*Musa* ABB SIMMONDS) Producido en el Departamento del Quindío. Poscosecha y Agroindustria del plátano en el eje cafetero de Colombia. Corpoica, Universidad del Quindío, ASIPLAT, Comité Departamental de cafeteros del Quindío, COLCIENCIAS, Fudesco, Armenia, pp. 153-158.
- Flores Gorosquera, E., García Suárez, F.J., Flores Huicochea, E., Núñez Santiago, M.C., González Soto, R.A., Bello Pérez, L.A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. Acta Científica Venezolana, 55, pp. 86-90.
- Faulkes, D., Espejo S., Marie D., M. Delpeche M., Preston T.R. (1987). El plátano en la alimentación de bovinos. Composición y producción de biomasa.”, Rev. Tropical Science, 31. pp. 41-46.
- Gobernación de Caldas, Corpoica (2005). El Cultivo de Plátano. Manual técnico de la Secretaria de Agricultura de Caldas, pp. 9-10,99.
- Gobierno del Estado de Colima (2005). Paquete tecnológico para el cultivo del plátano, INIFAP. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro/Campo Experimental Tecoman., pp. 8-10.
- Hernández R., Fernández C., Baptista P., (1991). Metodología de La investigación. McGraw –Hill Interamericana de México S.A., México, pp. 210-224.
- INFOMUSA (1994). Producción industrial de papel en base a la fibra del banano. Extracto de Earth Newsletter. Vol. 5. INFOMUSA 4 (1), pp. 22.
- International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP), (1997). Annual Report. pp. 52-55.
- Martínez G. A., Becerra J.J., Villamil A. J., (2006). Evaluación del sistema de producción del plátano en el Departamento del Meta”, Documento Convenio COPOICA, PRONATTA, Villavicencio, pp.8-36.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), (2002). Acuerdo de competitividad de la cadena del plátano en la región centro0 occidente de Colombia, Documento Fondo Nacional del fomento Hortofrutícola, Armenia, pp. 9-6.
- Ovando Martínez M., Agama Acevedo E., Bello Perez L.A., (2007). Digestibilidad in vitro del almidón en espagueti adicionado con almidón de plátano. Memorias IX congreso de ciencia de los alimentos y v foro de ciencia y tecnología de alimentos, Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad de Guanajuato, México. pp.71-77.
- Paine F., (1994). Manual de envasado de alimentos. Editorial Madrid Ediciones. España.
- Pedrero D.L., Pangborn R.M., (1997). Evaluación sensorial de los Alimentos. Ed. Alhambra Mexicana, México, D.F.
- Pérez Capote M.R.; Martínez Sánchez G., (2008). Evaluación del efecto antioxidante de un extracto de *Musa paradisiaca* I. estudio in Vitro. Documento del Centro de Investigaciones y Evaluaciones Biológicas, CIEB, Instituto de Farmacia y Alimentos, Universidad de la Habana, Cuba, pp. 1.
- Rivera K., Martínez.V., Quintana G., Velásquez J., (2008). Obtención de lignosulfonatos a partir

de los residuos del cultivo del plátano. Revista Investigaciones Aplicadas No.1, Publicada en línea por la Universidad Pontificia Bolivariana, pp.1-6.
Robles L. K., Ramírez N. S.J., (2007). Harina y Productos de plátano. Documento Universidad del Valle, Cali, pp.11-33.

Vidal F.I., Pereira E., Sotolongo R., Quintana Y., Ortiz, A., García A., Ly, J. (2001). Efecto de la suplementación con seudotallo de plátano sobre la salud y el peso al sacrificio de cerdos comerciales. Revista Producción Animal, Vol 13 No. 1, Universidad de Camagüey, pp.67-69.

Sobre los autores

Miguel H. Mazzeo Meneses

Ingeniero de Alimentos, Especialización en Pedagogía del aprendizaje autónomo, Colombiano, Docente asistente de planta de la Universidad de Caldas, Cra. 22 No.51E-54, 3147305361, Manizales, Colombia
miguel.mazzeo@ucaldas.edu.co

Libardo León Agatón

Ingeniero de Alimentos, Magister en Sistemas de producción Agropecuaria, Colombiano, Docente Asociado de planta de la Universidad de Caldas, Cra. 10B No.57E-66, 3007852757, Manizales, Colombia
lileon@ucaldas.edu.co

Luis Fernando Mejía Gutiérrez

Ingeniero de Alimentos, Especialista en Ciencias y tecnología de Alimentos, Colombiano, Docente Asistente de planta de la Universidad de Caldas, Cra 33 B No.99^a-48, 3128459043, Manizales, Colombia
lufermegu@yahoo.com

Luz Enith Guerrero Mendieta

Ingeniería de Sistemas, Especialista en Desarrollo Gerencial, Colombiana, Profesora Asociada de la Universidad Nacional de Colombia y docente Asistente de planta de la Universidad de Caldas, Calle 94 No.28-67 Casa 23, 3006582725, Manizales, Colombia.
luzenitjh_g@ucaldas.edu.co

Juan Diego Botero

Ingeniero de Alimentos, Colombiano, Egresado de la Universidad de Caldas, Calle 65 A- No.33-03, 3006582725, Manizales, Colombia
jotade8@hotmail.com

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.