



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Aprovechamiento de los residuos del pinzote de *Musa sp.*, para la  
obtención de fibras naturales y su utilización en la industria textil.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A:**

**KARINA PEÑALOZA HERNÁNDEZ**



**DIRECTORA DE TESIS:  
DRA. MA. NEFTALÍ ROJAS VALENCIA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.  
2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## HOJA DE DATOS DEL JURADO

### 1. Datos del alumno

Peñaloza  
Hernández  
Karina  
53 03 21 09  
Universidad Nacional Autónoma de  
México  
Faculta de Ciencias  
Biología  
306295522

### 2. Datos del tutor

Dra.  
María Neftalí  
Rojas  
Valencia

### 3. Datos del sinodal 1

Dr.  
Víctor Daniel  
Ávila  
Akerberg

### 4. Datos del sinodal 2

M. en C.  
Daniel Alejandro  
Olvera  
Sule

### 5. Datos del sinodal 3

M. en C.  
Gloria Irene  
Lozano  
Mascarúa

### 6. Datos del sinodal 4

Dra.  
Andrea  
Martínez  
Ballesté

### 7. Datos del trabajo escrito

Aprovechamiento de los residuos del pinzote de *Musa sp.*, para la obtención de fibras naturales y su utilización en la industria textil.

73 p  
2018

El trabajo experimental fue realizado en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería de la UNAM que cuenta con certificado de conformidad otorgado por el organismo acreditado Certificación Mexicana, S.S., por haber implementado y mantener un Sistema de Gestión de la Calidad de conformidad con los requisitos de la norma internacional ISO 9001:2015

No. De Certificado CMX C SGC 155 2017, válido en el período del 09 de noviembre de 2017 al 09 de noviembre de 2020.

También se realizaron pruebas en el Centro de Innovación en Diseño y Tecnología (CIDyT) del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, ubicado en el Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT) de Monterrey, Nuevo León.

# AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por abrirme las puertas desde el bachillerato y encontrar a grandes personas.

A la Facultad de Ciencias por contribuir en mi formación como bióloga y por pasar los mejores días de mi vida estudiando lo que me apasiona.

A mi tutora María Neftalí Rojas Valencia por confiar y apoyarme. Por brindarme el tiempo, los materiales y el espacio necesario para concluir satisfactoriamente con la investigación. Por guiarme en el fascinante campo de la investigación en cuanto a los residuos y darme un enfoque más biológico a las cosas.

A mi mamá porque todo lo que soy es gracias a ella. Por motivarme a seguir estudiando, por apoyarme y estar presente en cada momento de mi vida, aún en la distancia, por su paciencia, enojos, consejos, preocupaciones y regaños; pero sobre todo por ser mi amiga, mi ejemplo más grande, mi guía y mi fortaleza.

A mi papá por ser mi ejemplo, mi consejero y mi maestro. Por aceptar y apoyar mi carrera. Por motivarme cada día a luchar por lo que me apasiona, por tener siempre las palabras adecuadas en los momentos de tempestad, por ser mi guía cuando no encuentro el rumbo y por ser el mejor padre.

A mi hermana por ser mi mejor amiga, mi compañera de vida, por las pláticas, los consejos y el apoyo incondicional.

A mi mamá de rancho que sin ella no sería la mujer que soy, gracias a ti tengo la fortaleza que me llena día a día, sin ti mi infancia y vida no serían la misma.



# ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. JUSTIFICACIÓN.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	5
3. MARCO CONCEPTUAL.....	8
3.1 DESCRIPCIÓN DEL GÉNERO MUSA Y SU PRODUCCIÓN EN MÉXICO.....	8
3.2 GENERACIÓN DE RESIDUOS DE PLATANO.....	12
3.3 APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE PLATANO.....	13
3.4 APROVECHAMIENTO DE HOJAS, PSEUDOTALLOS Y PINZOTE.....	21
3.5 FIBRAS NATURALES.....	25
3.5.1 COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE FIBRAS NATURALES.....	25
3.5.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE FIBRAS NATURALES.....	26
3.5.3 TRATAMIENTO Y MODIFICACIÓN DE LAS FIBRAS.....	29
3.5.4 ELECTROSPINNING O ELECTROHILADO.....	30
3.6 BENEFICIOS AMBIENTALES, SOCIALES Y ECONÓMICOS DEL USO DE LOS RESIDUOS DE FIBRAS NATURALES EN LA INDUSTRIA TEXTIL... ..	31
3.7 MARCO LEGAL Y TEÓRICO.....	33
4. OBJETIVOS.....	35
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	35
4.2 OBJETIVO PARTICULAR.....	35
5. METODOLOGÍA.....	36
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
7. CONCLUSIONES.....	59
8. RECOMENDACIONES.....	61
9. REFERENCIAS.....	62
10. ANEXO.....	71

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la distribución de la planta de plátano.....	9
Figura 2. Variedades de plátano cultivadas en México.....	11
Figura 3. Harina de plátano comercial.....	16
Figura 4. Bolsa de plátanos fritos.....	17
Figura 5. Mermelada de plátano.....	18
Figura 6. Cerveza de plátano.....	19
Figura 7. Vinagre de plátano.....	20
Figura 8. Artesanías elaboradas a partir de la fibra de plátano.....	22
Figura 9. Papel ecológico a partir de residuos de plátano.....	23
Figura 10. Composición química de varias fibras naturales.....	26
Figura 11. Fibra de plátano antes (A) y después de ser licuada y secada (B).....	38
Figura 12. Filtración en Kitasato con licor negro.....	39
Figura 13. Celulosa de plátano.....	40
Figura 14. Celulosa de pinzote centrifugada y seca.....	41

Figura 15. Fibra obtenida mediante electrospinning de solución plátano-PCL/Acetona.....	44
Figura 16. Puesto de plátano en la Central de Abastos de Iztapalapa.....	45
Figura 17. Residuos de plátano generados en la Central de Abastos.....	46
Figura 18. NFC plátano I. Microscopia electrónica de barrido.....	49
Figura 19. NFC Plátano II. Microscopia electrónica de barrido.....	50
Figura 20. NFC Plátano III. Microscopia electrónica de barrido.....	51
Figura 21. Fibras electrohiladas de PCL/Acetona. Microscopia electrónica de barrido.....	55
Figura 22. Fibras electrohiladas de plátano al 12% y PCL/Acetona al 99%. Microscopia electrónica de barrido.....	56
Figura 23. Fibras electrohiladas de plátano al 14% y PCL/Acetona al 99%. Microscopia electrónica de barrido.....	57
Figura 24. Fibras electrohiladas de plátano al 16% y PCL/Acetona al 99%. Microscopia electrónica de barrido.....	58

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las fibras naturales.....	27
Tabla 2. Propiedades físicas y mecánicas de fibras naturales y de vidrio... 28	
Tabla 3. Tipos de beneficios ambientales, sociales y económicos generados por el uso de fibras naturales.....	31
Tabla 4. Normativa en materia de textiles.....	33
Tabla 5. Normativa en materia de residuos.....	34
Tabla 6. Resultados de fracciones de la fibra de plátano.....	46
Tabla 7. Resultados de química proximal de residuos de plátano.....	47
Tabla 8. Soluciones de plátano en electrospinning.....	52
Tabla 9. Soluciones de plátano en <i>forcespinning</i> .....	53
Tabla 10. Soluciones de plátano y PCL/Acetona en <i>electrospinning</i> .....	54

# RESUMEN

Como consecuencia de la actividad agrícola, se genera gran cantidad de residuos sólidos; un ejemplo es la industria del cultivo de plátano, ya que de la planta solo se aprovecha el fruto. Durante 2016 se generaron 1,907,822.60 toneladas de residuos en la República Mexicana.

Tan solo en la Central de Abasto de la Ciudad de México se generan hasta 6 toneladas diarias de residuos de pinzote de plátano, con tal cantidad de residuos habrá que aprovecharlos y buscar opciones para ello, lo cual demuestra la necesidad de introducir materiales con menor impacto ambiental y biodegradables.

La metodología utilizada en el presente trabajo se dividió en tres fases: durante la primera fase se hizo una revisión exhaustiva del uso de los residuos del plátano; en la segunda fase, se realizó el muestreo de la generación de residuos de pinzote de plátano en la Central de Abasto de la CDMX, basándose en la normativa NMX-AA-15-1985. La tercera fase consistió en la experimentación a nivel laboratorio, en la que se trabajó para obtener las nanofibrillas de celulosa a partir de los residuos de pinzote de plátano mediante agentes químicos que modifican la superficie y composición de las fibras, para reducir la absorción de humedad, y ofrecer una mejor adhesión de las fibras, todo esto mediante el proceso de

alcalinización con Hidróxido de Sodio. Las nanofibrillas de celulosa obtenidas se disolvieron en líquido iónico de acetato de 1-etil-3-metilimidazolio y N, N-Dimetilformamida; para posteriormente mezclarse en una solución de PCL con Acetona e introducir en un equipo de electrospinning y por este medio obtener hilo.

De acuerdo a los análisis de química proximal y de paredes celulares, los residuos de pinzote de plátano contienen un 39.94% de celulosa. El procedimiento de obtención de nanofibrillas de celulosa tuvo un rendimiento de 17.75%, lo cual demuestra que aunque fue un rendimiento poco viable es una técnica que posiblemente con mayor experimentación tenga mejor potencialidad. En cuanto a la elaboración del hilo mediante electrospinning se encontraron mejores resultados de disolución en el 16% de peso de material.

Finalmente se obtuvo la fibra textil a partir de un flujo de 3.5 a 8 ml/s, un voltaje entre 15 y 18 kv y distancia del colector de 15 a 20 cm; aportando un uso adicional a los residuos de pinzote de plátano y dando como resultado las concentraciones exactas de los diferentes parámetros para poder obtener el hilo, sin embargo, quedan algunas preguntas abiertas como ¿Qué duración tendrá este material?, ¿Es necesario analizar formas más alternativas y más naturales para disminuir el uso de ácidos?.

# 1. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad existe una problemática ambiental, social y económica ocasionada por un excesivo desaprovechamiento y sobre explotación de los recursos naturales. Un ejemplo claro, es la generación de materias primas para la industria textil, ya que existe un impacto en la mala planeación y un mal manejo de los residuos que se generan a partir de ellos.

Por otro lado, los residuos agrícolas, en este caso los residuos de pinzote de plátano, también juegan un papel muy importante, ya que estos muy pocas veces son aprovechados y no se les da el tratamiento adecuado para su degradación.

En México, el plátano es uno de los principales cultivos agrícolas. Nuestro país ocupa el octavo lugar como exportador y nuestro consumo per cápita es superior al del frijol y arroz. La producción anual de plátano en México es de alrededor de dos millones de toneladas, pero el racimo de frutos representa menos de la quinta parte del peso de la planta, lo que da una idea de la enorme cantidad de pseudotallos, hojas y pinzotes que se derivan de la producción bananera (SAGARPA, 2016). Algunos de estos se aprovecha en diferentes formas, pero la gran mayoría todavía se desperdicia.

Con la finalidad de ayudar a disminuir dicha problemática, se debe aprovechar e integrar de una manera segura dichos residuos a procesos productivos, en este trabajo se van a emplear los residuos mencionados para fabricar fibras naturales; buscando fomentar el manejo adecuado de estos residuos así como promover su reuso y reciclaje, y potencialmente generar empleos a través de esta industria alternativa para los productores de plátano.

## 2. INTRODUCCIÓN

Los desechos sólidos son los residuos que se generan debido a las actividades humanas, los que generalmente se desechan como inútiles. Se obtienen como un subproducto de las actividades comerciales, industriales o agrícolas, y por lo general son una gran fuente de contaminación, por lo que actualmente se buscan alternativas de usos de estos residuos (Kadirvelu *et al.*, 2003; Reed y Williams, 2004).

La industria agrícola es una de las principales fuentes de generación de residuos sólidos orgánicos, constituidos principalmente por los tallos, raíces, hojas u otras partes de las plantas que no son utilizadas en estos procesos (Shah *et al.*, 2005; Gañan *et al.*, 2004).

Por otro lado, la industria platanera produce una gran cantidad de residuos vegetales, ya que de la planta solamente se aprovecha el fruto, teniendo que desechar de las demás partes de la planta como pseudotallo, hojas y pinzote o raquis que es la parte de la planta que sostiene los manojos de frutos (Canché *et al.*, 2005).

La producción anual de plátano en México es de alrededor de dos millones de toneladas (SAGARPA, 2009), el racimo de frutos representa la quinta parte del peso de la planta, lo que da una idea de la enorme cantidad de residuos que se derivan de su producción. A pesar de que

algunos de estos se aprovecha en diferentes formas, la gran mayoría todavía se desperdicia (Canto *et al.*, 2011).

Los residuos de plátano están constituidos por celulosa, está constituyete el principal componente esencial de las fibras naturales, el cual se podría utilizar como materia prima para la obtención de nano fibras (Andrade, 1998). Esto le proporcionaría un valor agregado a dichos residuos, ya que debido al acelerado consumo de materiales textiles derivados del petróleo, el interés por la investigación y desarrollo de materiales con fibras naturales es global y está en constante crecimiento (Centelles, 2011).

Aprovechar estos recursos e introducir materiales con menor impacto ambiental y biodegradables a diferencia de los productos originados del petróleo, los cuales también tienen cierto grado de toxicidad, justifica el esfuerzo para producir materiales compuestos de los desechos agrícolas ya que actualmente se producen 8,323 kg de poliéster cada segundo en el mundo; esto es 42 millones de toneladas de poliéster al año, principalmente para la industria textil; en comparación con 27 millones de toneladas de algodón, de acuerdo a los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, 2017).

El uso de materias primas renovables, reciclables y de bajo consumo energético en su producción, como sustituto de otros materiales utilizados en la industria textil, que no cuentan con estas características se considera

un paso muy importante para lograr reducir el impacto ambiental que provoca esta industria.

Por ello como ya se mencionó anteriormente, ante el acelerado consumo de materiales de alto impacto ambiental, el realizar investigación y desarrollar materiales con fibras naturales es un interés global en constante crecimiento y colaboramos con ellos con la presente investigación (tesis).

## **3. MARCO CONCEPTUAL**

### *3.1 Descripción del género Musa y su producción en México*

El plátano es una planta herbácea de la familia Musáceas y del género Musa.

Tiene su origen en Asia meridional, siendo conocida en el Mediterráneo desde el año 650. La especie llegó a Canarias en el siglo XV y desde allí fue llevado a América en el año 1,516. El cultivo comercial se inicia en Canarias a finales del siglo XIX y principios del siglo XX (CONABIO, 2017).

Esta planta herbácea perenne gigante, con rizoma corto y tallo aparente, resulta de la unión de las vainas foliares, cónico y de 3.5-7.5 m de altura, terminado en una corona de hojas con raíz superficial, hojas muy grandes y dispuestas en forma de espiral, de 2-4 m de largo y hasta de medio metro de ancho, con un peciolo de 1 m o más de longitud como se muestra en la figura 1.

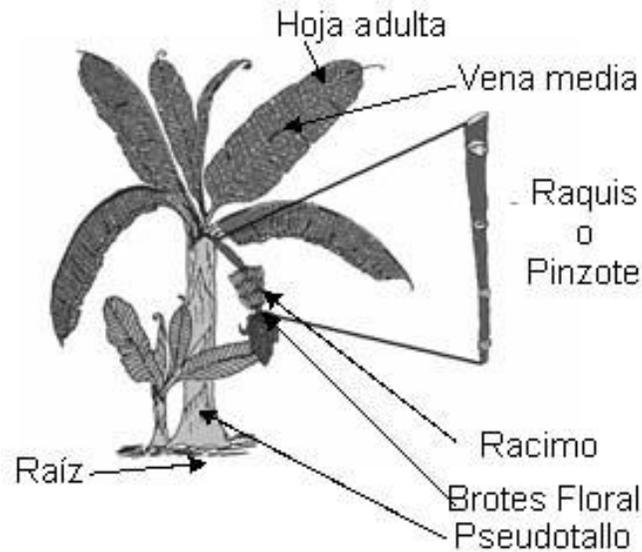


Figura 1. Esquema de la distribución de la planta de plátano (CONABIO, 2017).

De la corona de hojas sale, durante la floración, un escapo pubescente de 5-6 cm de diámetro terminado por un racimo colgante de 1-2 m de largo. Éste lleva una veintena de brácteas ovals alargadas, agudas, de color rojo púrpura, cubiertas de un polvillo blanco harinoso; de las axilas de estas brácteas nacen a su vez las flores (CONABIO, 2017).

Las flores son amarillentas, irregulares y con seis estambres, de los cuales uno es estéril, reducido a estaminodio petaloide. El gineceo tiene tres pistilos, con ovario ínfero. El conjunto de la inflorescencia constituye el régimen de la platanera. Cada grupo de flores reunidas en cada bráctea forma una reunión de frutos llamada mano, que contiene de 3 a 20 frutos; estos son sostenidos por el raquis o pinzote. Un régimen no puede llevar

más de 4 manos, excepto en las variedades muy fructíferas, que pueden contar con 12-14.

El fruto es oblongo; durante el desarrollo del fruto éstos se doblan geotrópicamente, según el peso de este, hace que el pedúnculo se doble. Esta reacción determina la forma del racimo. Los plátanos son polimórficos; siendo de color amarillo verdoso, amarillo, amarillo-rojizo o rojo. La mayoría de los frutos de la familia de las Musáceas comestibles son estériles, debido a un complejo de causas, entre otras, a genes específicos de esterilidad femenina, triploidía y cambios estructurales cromosómicos, en distintos grados (CONABIO, 2017).

En México existen alrededor de cuarenta especies diferentes; las variedades de exportación en México son: dominico, valery, pera, tabasco, morado, manzano, cavendish y macho, como se observa en la figura 2 (Andreeva, 2011).



Figura 2. Variedades de plátano cultivadas en México (Andreeva, 2011).

Los nutrientes más representativos del plátano son el potasio, magnesio y ácido fólico; sin despreciar su aporte en fibra (oligosacáridos). Se utiliza como alimento tanto en estado verde como maduro (González-Chi *et al.*, 2002). A partir del fruto se puede obtener: alcohol, almidón, alimentos para bebés, vino, vinagre, puré, jalea, cereales, harinas, frituras, como suplemento para alimentación animal, entre otros subproductos de la planta. A diferencia de otros frutos, el plátano se consigue sin problemas durante todo el año (Biagiotti *et al.*, 2008).

En México, el plátano es uno de los principales cultivos agrícolas. Nuestro país ocupa el octavo lugar como exportador y nuestro consumo *per cápita* es superior al del frijol y el arroz. La producción anual de plátano en México es de alrededor de dos millones de toneladas, cosechadas en 77 mil hectáreas sembradas en 16 entidades del país, entre las que destaca Tabasco como líder nacional de producción.

### *3.2 Generación de residuos de plátano*

Pero el racimo de frutos representa menos de la quinta parte del peso de la planta, lo que da una idea de la enorme cantidad de pseudotallos, hojas y pinzotes que se derivan de la producción bananera. Algunos de estos se aprovechan en diferentes formas, pero la gran mayoría todavía se desperdicia (SAGARPA, 2009).

La práctica agronómica del corte de la planta de plátano para que crezca otra, genera día a día grandes cantidades de residuos que son descartados cerca de las orillas de los ríos o barrancas y en los caminos, causando un problema ambiental (García, 2017). Una vez que el fruto está maduro, los agricultores tienen que cortar toda la mata, de esto quedan casi 60 kilos de pseudotallo; en una hectárea hay aproximadamente dos mil 600 matas de desperdicio (Mazzeo y Mejía, 2010).

Los residuos de las cosechas de plátano son en su mayoría hojas, pseudotallos y restos de fruto. Las hojas y los pseudotallos contienen niveles importantes de lignocelulosa, mientras que los restos de fruto presentan en su composición gran cantidad de micronutrientes. Estas propiedades hacen de los residuos una materia importante para su utilización en la industria alimentaria, farmacéutica, de colorantes y textil (Mazzeo *et al.*, 2010).

Cuando se cosecha el racimo, solo se está utilizando del 20 al 30% de su biomasa (Saval *et al.*, 2012), 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 cauces receptores sin tratamiento previo, aunque algunos productores aprovechan los residuos en la plantación en forma de abono verde y alimentación animal (Turrado *et al.*, 2009).

### *3.3 Aprovechamiento de residuos de plátano*

Desafortunadamente, cerca del 95% de los residuos que se generan del plátano no son aprovechados eficientemente por el cultivador, ya que su producción la enfoca en la comercialización o como opción alimenticia para el hogar, por lo que después de usar el fruto destina lo restante a abono para la cosecha, por medio de su descomposición (García, 2017).

Con cada uno de los elementos presentes en la siembra, desde la primera hasta la última etapa, con el tallo, el pseudotallo o calceta, el vástago o pinzote (de donde se cuelga la fruta), la cáscara de la fruta, la fruta, la batata (flor morada que se desarrolla en la etapa inicial del cultivo) y la mancha (líquido que emana de la planta al ser cortada), se pueden obtener hasta 15 subproductos que impactan positivamente diferentes áreas (Flores, *et al.*, 2004).

En las empacadoras de plátano se descartan toneladas de fruto que no cumplen con los requisitos para su comercialización, ya sea por estar dañados físicamente, por ser muy pequeños, etc., pero que son aptos para ser aprovechados, en algunos casos, incluso en la preparación de alimentos (Gañan *et al.*, 2004).

A continuación presento una compilación sobre los diversos usos del fruto del plátano y sus subproductos en la industria alimentaria; para destacar posteriormente la importancia del aprovechamiento de los subproductos en la industria textil, logrando con ello un manejo integral de la producción de plátano y reduciendo significativamente el impacto ambiental tanto en las zonas de producción, como en los sitios de comercialización, en la Central de Abasto de la CDMX.

*Harina.* De los frutos verdes puede obtenerse harina o fécula. Para evitar el oscurecimiento de la pulpa que se produce después del pelado y durante

la maceración, es recomendable someter el fruto al vapor antes de pelar la pulpa, cortarla y deshidratarla, lo que se conoce como escaldado. Éste es un método barato que facilita también la eliminación de la cáscara, sobre todo si no se cuenta con maquinaria especial de pelado. El escaldado también aumenta la solubilidad de la harina y disminuye su viscosidad, lo que es importante en algunos suplementos alimenticios, como las pastas para bebés (Canto *et al.*, 2009).

Para su industrialización, la harina de plátano debe ser muy fina al tacto (Figura 3); para su almacenamiento y manejo se le adiciona más o menos uno por ciento de sustancias desecadoras, como carbonato de calcio. Esta harina puede ser utilizada entonces en la preparación de pudines, panes, helados, malteadas y otros productos (Flores *et al.*, 2004).



Figura 3. Harina de plátano comercial (Flores et al., 2004).

*Jaleas, mermeladas y golosinas.* La pulpa de plátano se puede aprovechar también en la preparación de jaleas, mermeladas, jarabes y golosinas como los llamados *chips*, que son hojuelas preparadas a base de rodajas secas y fritas de la pulpa del fruto verde y que se pueden acompañar de salsas agrídulces o picantes o comerse sin aderezos (Figura 4). El tamaño de los *chips* es variado, y van desde rodajas pequeñas (cortes transversales del fruto) hasta un filete longitudinal (Carchi, 2014).



Figura 4. Bolsa de plátanos fritos (Carchi, 2014).

La jalea, la mermelada y el jarabe se preparan a partir de la pulpa de frutos maduros. La pulpa se macera y se combina con almíbar o azúcar, según sea el caso (Figura 5). Para evitar su oscurecimiento, se deja reposar mezclada con un poco de jugo de limón. La mermelada se prepara adicionando azúcar o almíbar concentrados, y se cuece a fuego bajo mientras se mezcla. En algunos casos se adicionan pectinasas para mejorar su calidad (Canto *et al.*, 2009).



Figura 5. Mermelada de plátano (Canto *et al.*, 2009).

*Bebidas.* Para la elaboración de bebidas alcohólicas se utilizan frutos maduros y sanos. Los frutos muy maduros pueden emplearse para preparar un jugo energético tipo “néctar”. Se puede utilizar agua caliente para evitar que la pulpa se oscurezca (Mena *et al.*, 2008).

Las bebidas alcohólicas no destiladas (cerveza, vinillo) se preparan a partir de frutos maduros y sanos, los cuales se lavan abundantemente para eliminar microorganismos que pudieran arruinar la fermentación alcohólica (Canto *et al.*, 2009). La pulpa machacada se mezcla en proporciones adecuadas con agua y levadura preparada previamente. La fermentación se realiza en un recipiente cerrado, adaptando una trampa

para eliminar el dióxido de carbono que se produce durante la fermentación. El proceso casero o doméstico puede llevar aproximadamente veinte días, pero en la industria el tiempo se reduce significativamente mediante la adición de enzimas que hidrolizan el almidón de la pulpa. Al final se calienta o pasteuriza para detener la fermentación y evitar la degradación del etanol, tras lo cual se filtra y envasa, como en la Figura 6 (Carchi, 2014).



Figura 6. Cerveza de plátano (Carchi, 2014).

*Vinagre.* Al igual que en la fermentación alcohólica, se emplean aquí frutos maduros. Se realiza primero una fermentación alcohólica, la cual se deja más tiempo para que el alcohol sea transformado en ácido acético;

después de veinte días, se abre el envase, se recupera el líquido, se diluye para disminuir la concentración del alcohol y se traspasa a un recipiente de mayor capacidad porque se requiere oxígeno para la generación de ácido acético, donde se fermenta. El proceso lleva aproximadamente dos meses. El producto es un vinagre gourmet (figura 7) apreciado por su buen aroma y cuerpo (Shah *et al.*, 2005).



Figura 7. Vinagre de plátano (Shah *et al.*, 2005).

Almidón y derivados. El almidón es uno de los compuestos biológicos más importantes y un componente vital en la dieta de humanos y animales. Prácticamente, la energía para vivir se obtiene del almidón. Además de su relevancia en la industria alimenticia, es también muy importante en la

industria textil y del papel, en la fabricación de adhesivos biodegradables (biopegamentos) y en la elaboración de biopelículas y bioplásticos para la fabricación de la recubierta de tabletas farmacéuticas y muchos productos más (Lomascolo *et al.*, 1999)

Este polímero se obtiene de cereales, leguminosas y tubérculos, pero siendo el contenido de almidón del plátano equiparable a estas fuentes, los frutos que no son aptos para el consumo son una alternativa para este fin. La aplicación particular del almidón depende de sus propiedades físico-químicas: viscosidad, gelificación, esponjamiento y firmeza. Las variedades de plátanos y bananos contienen almidón con diferentes propiedades, por lo que sus usos pueden ser muy variados (Cordeiro *et al.*, 2004).

### 3.4 Aprovechamiento de hojas, pseudotallos y pinzotes

*Fibras.* Estos materiales tienen también múltiples aplicaciones, particularmente se utilizan para extraer la fibra y elaborar artesanías como lo son: sombreros, abanicos, zapatos, bolsos, carteras, sacos, etc., (figura 8) o para la obtención de la celulosa en la fabricación de papel. Las fibras también se usan para reforzar materiales compuestos (Thomas *et al.*, 1997). Debido a su baja dureza, disminuyen el nivel de desgaste en los equipos y tienen propiedades de aislante térmico y acústico, y actualmente han atraído el interés por ser biodegradables, renovables y de bajo costo. Para

la producción de fibras se han utilizado *Musa textil*, *M. balbisiana* y sus híbridos, así como algunas variedades de *M. acuminata*. Los materiales se cortan, se extienden para un secado al sol durante dos o tres días y luego las fibras se extraen y se limpian. La resistencia de la fibra depende de la variedad usada. Las fibras más fuertes se emplean en la elaboración de cuerdas para barcos, las cuales son muy fuertes y flotan en el agua; las livianas se ocupan en la fabricación de artesanías y pasta para papel, y también se ha propuesto que se utilicen para la filtración de agua residual y como sustrato para el crecimiento bacteriano en la biorremediación de ambientes contaminados (Márquez *et al.*, 1996). En Filipinas, las fibras se usan en la confección de elegantes vestidos de novia y túnicas para las bodas. Las aplicaciones de las fibras son muy versátiles (Flores *et al.*, 2004).



Figura 8. Artesanías elaboradas a partir de la fibra de plátano (Flores *et al.*, 2004).

*Celulosa y papel.* La celulosa del plátano se obtiene de los pseudotallos y pinzotes. Estos se cortan en piezas pequeñas y la celulosa se extrae calentándolos en álcalis como el hidróxido de sodio. Esta mezcla “cocida” se lava con agua para neutralizar el pH y se muele hasta obtener una pulpa. La masa gelatinosa (la celulosa) se separa por filtración y se aplica como película delgada sobre una superficie plana, que al secarse constituye el papel. El papel de plátano es de tipo artesanal (figura 9), muy apreciado por artistas y decoradores de hogares, y es asimismo utilizado para hacer exquisitas invitaciones o hermosas artesanías. La textura depende del tamaño de las fibras, las más largas de las cuales producen un papel más resistente. La calidad de la celulosa de plátano es apta para elaborar también cartón (Bilgin, 2014).



*Figura 9. Papel ecológico a partir de residuos de plátano (Bilgin, 2014).*

*Harina para alimentación animal.* Los pinzotes, pseudotallos y hojas se deshidratan y muelen para preparar una harina que se utiliza en la alimentación de cerdos y rumiantes, pero las propiedades nutricionales de estas harinas son bajas. Los residuos de las hojas tienen un alto contenido de cenizas y uno bajo de materia orgánica, por lo que su contenido energético es asimismo bajo, así como la proteína. También ha crecido la tendencia de dar a los cerdos los frutos de plátano, sobre todo cuando se combina la producción comercial de aquel y la cría de cerdos, pero esta práctica resulta costosa al final porque los animales demoran mucho en alcanzar el peso de venta. Los plátanos son una rica fuente energética, pero casi nula de proteína, por lo que algunos porcicultores incluyen harinas o pastas de soya y sorgo para complementar la nutrición. Otros opinan que se obtienen mejores resultados si las harinas se restituyen en leche (García y Martínez, 1999).

*Bioenergía.* Las hojas, pinzotes y pseudotallos pueden emplearse para generar biocombustibles, como el biogás metano o el bioetanol. El primero se obtiene por acción bacteriana en recipientes cerrados, mientras que el segundo se genera mediante la fermentación alcohólica de los azúcares obtenidos de la hidrólisis de la celulosa y hemicelulosa. Para la generación de biocombustibles también pueden aprovecharse los frutos dañados, y para el metano hasta los podridos, siendo así una alternativa para eliminar de las fincas plataneras las hojas infectadas (Duque y Bohórquez, 2000).

### 3.5 Fibras naturales

Se le conoce como fibra natural a un hilo o conjunto de filamentos con una sustancia muy alargada que es producida por las plantas y animales, está compuesta principalmente por celulosa y lignina, su función es darle fuerza y elasticidad a la planta; mientras que en los animales, el pelo sirve para dar protección y aislar del calor (Cazaurang *et al.*, 1990).

Las fibras vegetales se obtienen de las hojas, raíces, frutos, tallos y semillas de las plantas. Las fibras de hojas monocotiledóneas son las llamadas "fibras duras" como lo son el henequén, el cáñamo y el yute (González, 2016).

#### 3.5.1 Composición y estructura de las fibras naturales

Las fibras naturales derivadas de plantas, consisten principalmente de fibrillas de celulosa incrustadas en una matriz de lignina. Cada fibra posee una estructura arreglada en capas, una capa primaria y tres secundarias.

Cada capa está hecha de hasta tres componentes, que son celulosa, hemicelulosa y lignina. Otros componentes presentes en las fibras incluyen, pectinas, aceites y ceras. En las fibras naturales también se puede encontrar lumen (espacio interior de una estructura tubular), lo que las hace una estructura hueca a diferencia de las fibras sintéticas (Gunther *et*

al., 2003). En la figura 10 se muestra la composición química de varias fibras naturales:

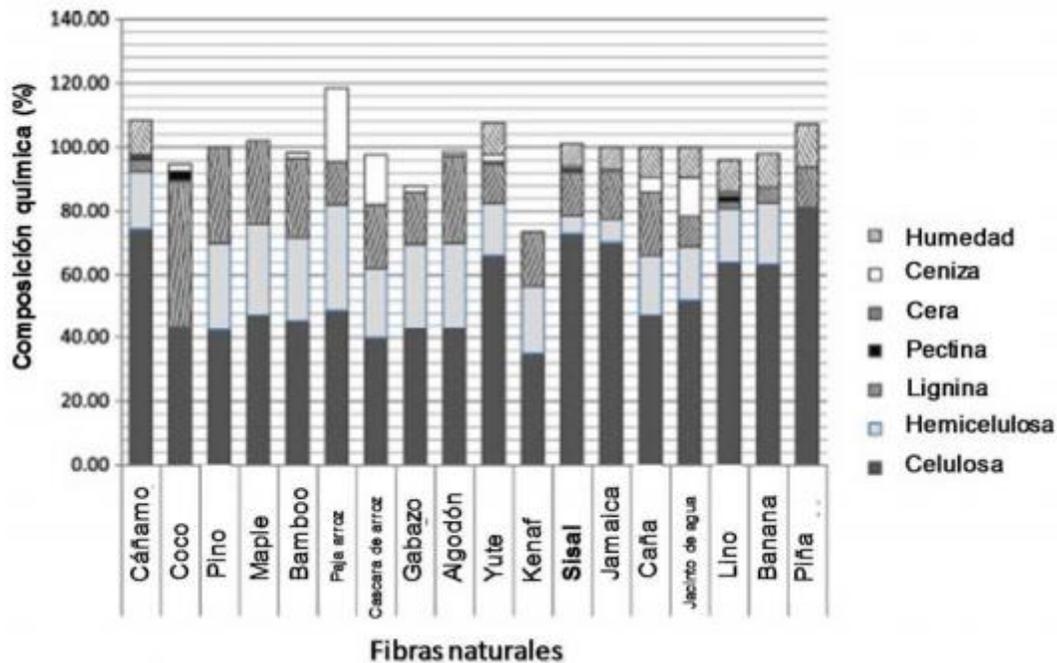


Figura 10. Composición química de varias fibras naturales (Azwa et al., 2013)

### 3.5.2 Ventajas y desventajas de la utilización de fibras naturales

Las ventajas que las fibras naturales tienen sobre las artificiales, al igual que las desventajas se muestran a continuación en la tabla 1 (Zhou, et al., 2013):

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las fibras naturales (Maulin *et al.*, 2005).

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abundancia y por lo tanto bajo costo</li> <li>• Biodegradabilidad</li> <li>• Requiere en promedio 60% menos energía que la fabricación de fibras sintéticas</li> <li>• Riesgos contra la salud mínimos</li> <li>• Baja densidad</li> <li>• Relación de aspecto de la fibra deseable</li> <li>• Módulo de tensión y flexión relativamente altos</li> <li>• Tiene buenas propiedades acústicas y térmicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variabilidad enorme</li> <li>• Baja resistencia a la humedad</li> <li>• Baja resistencia contra el fuego</li> <li>• Durabilidad reducida</li> <li>• Variación en calidad y precio</li> <li>• Dificultad al utilizar prácticas manufactureras establecidas cuando se les compara con compuestos sintéticos</li> <li>• Temperatura de degradación entre 180-230 °C, por lo que no se pueden emplear como refuerzo en matrices que deban ser procesadas a temperaturas mayores a las mencionadas</li> </ul>

En cuanto a las propiedades mecánicas entre las fibras sintéticas de vidrio y las fibras naturales, se muestran las variaciones en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades físicas y mecánicas de fibras naturales y de vidrio (Yan et al., 2014)

Tipo de fibra	Diámetro (um)	Densidad relativa (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la tensión (kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo elástico (Gpa)	Módulo específico (Gpa x cm <sup>3</sup> /g)	Elongación en falla (%)
<b>Vidrio - E</b>	<b>&lt;17</b>	<b>2.5-2.6</b>	<b>20000-35000</b>	<b>70-76</b>	<b>29</b>	<b>1.8-4.8</b>
Abacá	-	1.5	4000-980	6.2-20	9	1.0-10
Alfa	-	0.89	350	22	25	5.8
Bagazo	10-34	1.25	2220-1900	17-27.1	18	1.1
Bamboo	25-40	0.6-1.1	1400-8000	11-32	25	2.5-3.7
<b>Banana</b>	<b>12-30</b>	<b>1.35</b>	<b>5000</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>1.5-9</b>
Coco	10-460	1.15-1.46	950-2300	2.8-6	4	15-51.4
Algodón	10-45	1.5-1.6	2870-8000	5.5-12.6	6	3-10
Curagua	7-10	1.4	870-11500	11.8-96	39	1.3-4.9
Lino	12-600	1.4-1.5	3430-20000	27.6-103	45	1.2-3.3
Cáñamo	25-600	1.4-1.5	2700-9000	23.5-90	40	1-3.5
Henequén	-	1.2	4300-5700	10.1-16.3	11	3.7-5.9
Isora	-	1.2-1.3	5000-6000	-	-	5-6
Yute	20-200	1.3-1.49	3200-8000	30	30	1-1.8
Kenaf	-	1.4	2230-9300	14.5-53	24	1.5-2.7
Ortiga	-	-	6500	38	-	1.7
Palma aceite	-	0.7-1.55	1500-5000	80-248	0.5-3.2	17-25
Piasava	-	1.4	1340-1430	1.07-4.59	2	7.8-21.9
PALF	20-80	0.8-1.6	1800-16270	1.44-82.5	35	1.6-14.5
Ramina	20-80	1.0-1.55	4000-10000	24.5-128	60	1.2-4.0
Sisal	8-200	1.33-1.5	3630-7000	9.0-38	17	2.0-7.0

Como se observa la fibra de plátano tiene algunas desventajas en cuanto a las fibras de vidrio; sin embargo, se encuentra dentro de los estándares

de las fibras naturales y por lo cual es una muy buena opción para la industria textil.

### *3.5.3 Tratamiento y modificación de las fibras*

Los tratamientos de las fibras, que se hacen mediante agentes químicos que modifican la superficie y composición de las mismas, pueden ser para reducir la absorción de humedad, o también pueden ofrecer una mejor adhesión de las éstas (Dittember y GangaRao, 2012).

La mejor manera para reducir la absorción de humedad de las fibras naturales, parece ser el proceso de alcalinización; el tratamiento con álcalis se hace usualmente con KOH o NaOH. La alcalinización puede disolver la hemicelulosa, que es la parte más hidrofílica de la estructura de las fibras naturales, por lo tanto reduce la capacidad de las fibras para absorber humedad, además este proceso también ayuda a mejorar la adhesión entre fibras y la matriz (Dittember y GangaRao, 2012).

Uno de los procesos de alcalinización que ha arrojado los mejores resultados, es la exposición a una solución de NaOH con una concentración del 2-10% por 10-30 min, seguido por una neutralización con un ácido de baja concentración y lavado con agua destilada. Si las fibras no son cuidadosamente lavadas después de la alcalinización, los álcalis siguen afectando las fibras aun después de la exposición, lo que

eventualmente lleva a un hinchamiento de las fibras y su degradación (Dittember y GangaRao, 2012).

El tratamiento con álcalis, es benéfico para limpiar la superficie de la fibra, modificar la química en la superficie, reducir la absorción de humedad e incrementar la aspereza de la superficie. El tratamiento remueve las impurezas y sustancias grasosas de la fibra y crea una topografía más áspera que facilita el enclavamiento mecánico. También la superficie de la fibra purificada mejora la adhesión entre la fibra y la matriz; incrementando las propiedades mecánicas de los compuestos (Amar *et al.*, 2005).

Otros procesos que ha reportado buenos resultados (Azwa *et al.*, 2013; Dittember y GangaRao, 2012) para reducir la absorción de humedad por las fibras naturales, es el tratamiento con silano, y el tratamiento de clorado de fibras.

#### 3.5.4 *Electrospinning o electrohilado*

El electrohilado es una técnica para obtener fibras, la cual esta basada en una patente del siglo XIX propuesta para separar una sustancia fija de un líquido volátil, consiste en controlar el flujo de una disolución y someterlo a los efectos de un campo eléctrico, el cual provoca la evaporación del líquido volátil y permite que la sustancia fija adquiera forma de hilo súper

delgado, el cual se va sobreponiendo en una superficie denominada colector de fibras. (Dan y Younan, 2004).

### 3.6 Beneficios ambientales, sociales y económicos del uso de los residuos de fibras naturales en la industria textil

Tabla 3. Tipos de beneficios ambientales, sociales y económicos generados por el uso de fibras naturales (Dittember y GangaRao, 2012).

ÁREAS	CARACTERÍSTICAS	TIPO DE BENEFICIO AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONOMICO GENERADO POR EL USO DE FIBRAS NATURALES.
ENERGÍA:	Diferentes tipos de energías, tanto para producir las fibras naturales, como el impacto ambiental generado en la transportación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plantas con capacidad de capturar energía solar y utilizar esa energía en su crecimiento y producción.</li> <li>• Se requiere menos del 10-15% de la energía utilizada en la producción de otras fibras minerales o sintéticas. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Principal impacto: Energía de transporte.</li> </ul> </li> </ul>
EMISIONES:	Beneficio ambiental al producir fibras naturales ya que no hay emisiones al medio ambiente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las plantas son captadoras de CO<sub>2</sub>.</li> </ul>
CICLO DE VIDA:	Beneficios ambientales que ofrece la producción de dichas fibras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recurso renovable por excelencia.</li> <li>• Fibras vegetales completamente biodegradables, al contrario que los materiales sintéticos.</li> <li>• Residuos que serán reutilizados en materiales utilizables y como fuente de energía la fruta.</li> </ul>

RESIDUOS:	Degradabilidad de los residuos de plátano.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Totalmente biodegradables.</li> </ul>
RENDIMIENTO:	Utilidad de las fibras en relación con lo que cuesta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Similar que otras fibras sintéticas o minerales, pero más ligeros y reciclables.</li> </ul>
DURABILIDAD:	Desgaste para mantener sus características físicas y funcionales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto grado de absorción de humedad = Importantes variaciones de peso y volumen = Baja durabilidad.</li> </ul>
TOXICIDAD:	Producción de efectos perjudiciales sobre un ser vivo, al entrar en contacto con él.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nula o baja toxicidad en comparación con las fibras sintéticas o minerales.</li> </ul>
SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA:	Equilibrio económico con los recursos de su entorno.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo de obtención</li> <li>• Baja inversión</li> <li>• Revalorización de residuos agrícolas</li> </ul>
SOSTENIBILIDAD SOCIAL:	Beneficio económico con la sociedad, ya que aporta fuente de ingresos para la región.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localización de fábricas de manufacturación de productos de base agrícola en el entorno local cercano a la cosecha de plátano, por tanto generación de empleos y salarios más altos respecto a la ganancia agrícola.</li> </ul>

### 3.7 MARCO LEGAL Y TEÓRICO

#### Normativa

La normatividad aplicable en materia de textiles se menciona en la tabla 4; así como la normatividad en materia de residuos se presenta en la tabla 5.

Tabla 4. Normativa en materia de textiles (DOF, 2008)

<b>NMX-A-059/1- INNTEX-2008</b>	Industria textil-Propiedades de los tejidos frente a la tracción – Parte 1 – Determinación de la fuerza máxima y del alargamiento a la fuerza máxima por el método de la tira (CANCELA A LA NMX-A-059/1-INNTEX-2000).
<b>Campo de aplicación</b>  Esta Norma Mexicana establece el método de prueba para la determinación de la fuerza máxima y del alargamiento a la fuerza máxima, de los tejidos, por el método de la tira. Este método de ensayo se aplica principalmente a los tejidos de calada (formado por una serie de hilos longitudinales entrecruzados con otra serie de hilos transversales). Puede aplicarse a los tejidos producidos por otras técnicas. Normalmente no se aplica a los tejidos elásticos, a los geotextiles, a los no tejidos, a los tejidos recubiertos, a los tejidos de vidrio textil y a los tejidos de fibras de carbono o hilos procedentes de fibras poliolefinas.	

Tabla 5. Normativa en materia de residuos (DOF, 2008)

<p>Norma Mexicana NMX-AA-15- 1985 (<b>Ver Anexo</b>)</p>	<p>Esta Norma Oficial Mexicana, establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales. Para el cuarteo, la muestra debe ser representativa de la zona o estrato socioeconómico del área en estudio, que en este caso fue para la Central de Abasto de la Ciudad de México.</p>
--	---

La norma NMX-AA-15-1985 nos da las especificaciones técnicas necesarias para el muestreo integral de residuos sólidos en la Ciudad de México; bajo los cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos, lo cual nos ayuda a la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio.

La norma NMX-A-059/1-INNTEX-2008 nos habla de las pruebas mecánicas que se deben llevar a cabo a las fibras, sin embargo, actualmente no existen normas establecidas hacia las fibras de carbono, lo cual deja un gran abismo para el estudio de éstas.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 General

Aprovechar los residuos del pinzote de *Musa sp.*, para la obtención de fibras naturales y su utilización en la industria textil.

### 4.2 Particulares

1. Investigar la generación de residuos sólidos orgánicos de plátano en la Ciudad de México, para sustentar la base del estudio.
2. Investigar los reúso, reciclaje o tratamientos alternativos que se le dan actualmente a este material (pinzote).
3. Realizar análisis morfológico y estructural de los residuos sólidos orgánicos de plátano en laboratorio.
4. Obtener y caracterizar las nano fibrillas de celulosa obtenidas de la fibra del plátano.
5. Obtener hilo a partir de dichas nano fibrillas para su empleo en la industria textil.

## 5. METODOLOGÍA

### 1. Recopilación y análisis de información

Se recopiló la información necesaria para establecer la base teórica que sustento la investigación. Se buscó información sobre:

- Generación de residuos sólidos orgánicos de plátano en la Ciudad de México (CDMX).
- Manejo Integral de residuos sólidos orgánicos de plátano en la Ciudad de México.
- Reúsos, reciclaje o tratamientos alternativos que se le proporcionan a los residuos de plátano en la actualidad.

### 2. Trabajo en campo.

Se realizaron 3 muestreos para obtener los residuos orgánicos generados del plátano (pinzote) en la Central de Abasto de la Ciudad de México, delegación Iztapalapa, los días 4, 12 y 19 de Octubre del 2016, con el fin de obtener una estimación preliminar de la cantidad de residuos que se pueden obtener. Se observó la cantidad de puestos que realizan la venta de plátano y se calculó la cantidad de producción aproximado diariamente. Se tomó como muestra de estudio la especie del plátano macho (*Musa balbisiana*) dado que es la especie de mayor producción y

mayor disponibilidad en la Ciudad de México, y principalmente porque es la única especie que llega a la Central de Abasto (CEDA) con pinzote.

Después de la recolección de residuos del pinzote en la Central de Abastos, Iztapalapa, se llevó a cabo el método de cuarteo (anexo 1) con residuos de pinzote de plátano (Norma Mexicana NMX-AA-15-1985. Protección al ambiente – Contaminación del suelo – Residuos sólidos municipales – Muestreo – Método de cuarteo).

### 3. Obtención de nano fibrillas de plátano

El procedimiento de obtención de nano fibra constó de tres pasos: pre-tratamiento del pinzote de plátano, preparación de la celulosa para reducir la cantidad de lignina, ceras y otras impurezas de la misma fibra, seguido de la obtención de las nanofibras mediante una hidrólisis ácida.

#### Pre-tratamiento

Se tomaron ocho pinzotes de plátano macho de diferentes tamaños (aproximadamente 300 gramos), se lavaron con agua corriente y se desfibraron manualmente. Posteriormente se colocó la fibra obtenida en proceso de secado, en la cámara de calor del Laboratorio de Ingeniería Ambiental durante dos días para posteriormente licuarse en una licuadora convencional (Figura 11).

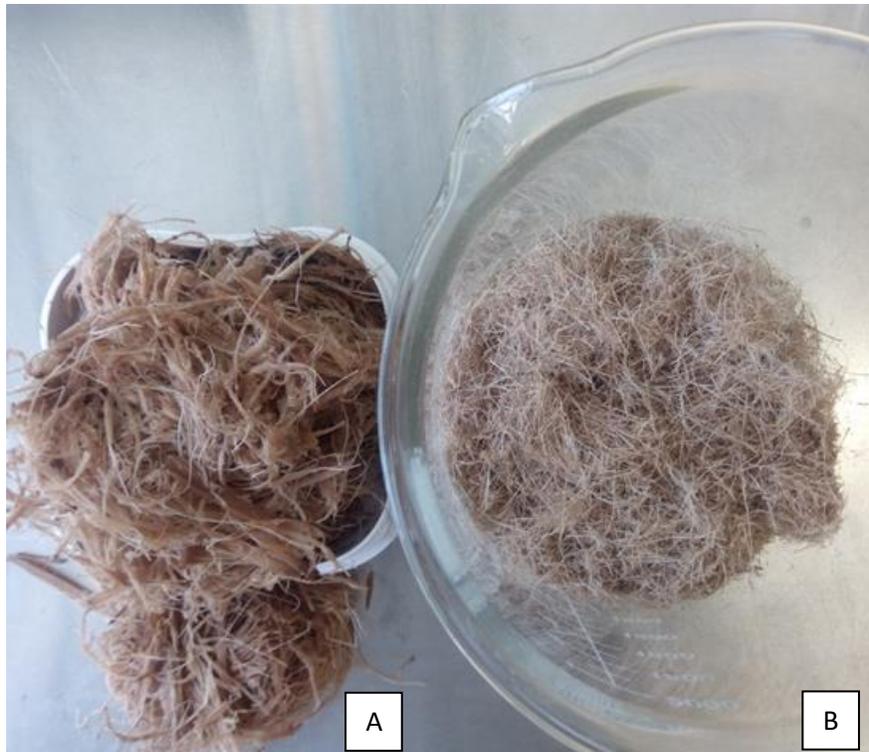


Figura 11. Fibra de plátano antes (A) y después de ser licuada y secada (B)  
Fuente: elaboración propia.

### Preparación de la celulosa

Se realizó un tratamiento alcalino con Hidróxido de Sodio (NaOH) al 15% p/v, por 100 minutos de cocción bajo agitación continua. De esta manera se removió la lignina por reacciones de hidrólisis que permitió su solubilización, liberando las fibras de celulosa.

Posteriormente se lavó con agua destilada y filtró hasta alcanzar pH neutro. Se obtuvo en esta etapa celulosa con residuos de lignina y licor negro

producto de la digestión de diferentes compuestos orgánicos (Figura 12), dentro de ellos la lignina, mezclados con reactivos consumidos.



Figura 12. Filtración en Kitasato con licor negro. Fuente: elaboración propia.

Se removió la lignina residual, haciendo un blanqueamiento con Hipoclorito de Sodio ( $\text{NaClO}$ ) al 0.5%, por 1 h a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se filtró y lavo con agua destilada caliente hasta pH neutro. Al final se secó a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas. Obteniendo 3.96 g de celulosa a partir de 100 g de fibra de plátano (Figura 13).

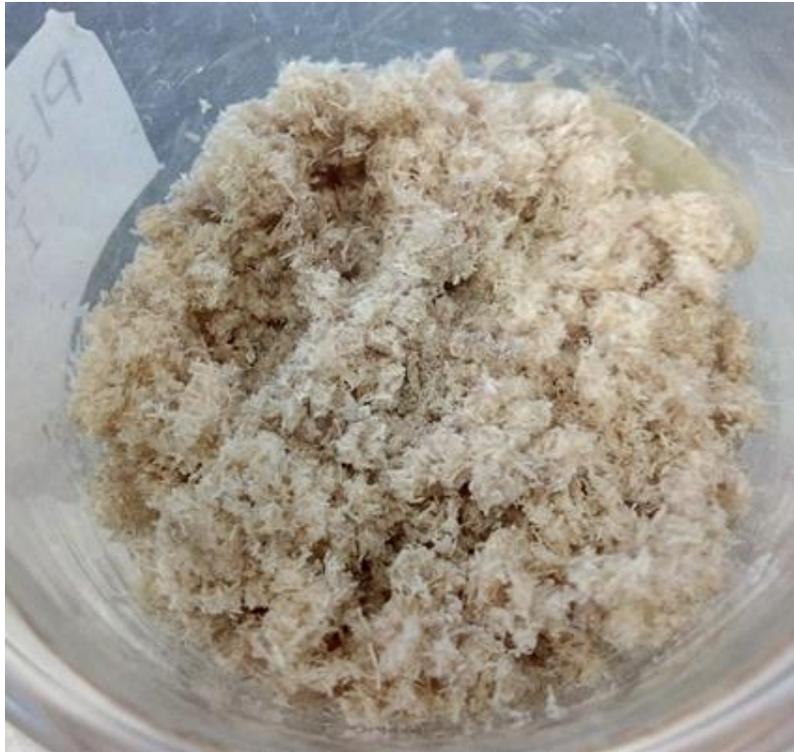


Figura 13. Celulosa de plátano. Fuente: elaboración propia.

#### Obtención de nanofibrillas

Se hidrolizó la celulosa obtenida del proceso anterior; con 83 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 61% p/v por 90 min., y a  $45^\circ\text{C}$ . La suspensión coloidal lechosa obtenida se lavó con agua destilada usando ciclos repetidos de centrifugación de 10 a 3500 rpm en una centrífuga refrigerada Avanti J-26S XPI, hasta alcanzar un pH de entre 3 y 5.

En este punto se obtuvo 0.72 gramos de celulosa libre de lignina residual (Figura 14), es importante señalar que se deben cuidar las temperaturas de la hidrólisis dado que si la temperatura aumenta de los  $45^\circ\text{C}$ , las nanofibras se hacen negras.



Figura 14. Celulosa de pinzote centrifugada y seca. Fuente: realización propia.

#### Caracterización morfológica de los residuos.

Se caracterizaron 40 gramos de residuos obtenidos de plátano macho mediante el análisis químico proximal y de paredes celulares en el Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Veterinaria de la UNAM, para determinar:

- Materia seca
- Humedad
- Proteína cruda

- Extracto etéreo
- Cenizas
- Fibra cruda
- Extracto libre de nitrógeno
- Nutrientes digestibles totales
- Energía digestible
- Energía metabolizable

Análisis de fracciones de fibra (Van Soest):

- Fibra neutro detergente
- Contenido celular
- Fibra ácido detergente
- Hemicelulosa
- Celulosa
- Lignina

4. Caracterización de las nanofibrillas obtenidas.

Se realizaron los análisis de microscopía electrónica de barrido de las nanofibrillas obtenidas en el Laboratorio Universitario de Microscopía

Electrónica (LUME) del Instituto de Investigaciones de los Materiales de la UNAM.

#### 5. Elaboración del hilo a partir de las nano fibrillas obtenidas

Para obtener el hilo a partir de las nanofibrillas tratadas se usó la técnica de electrospinning, basados en el método desarrollado por Yongjun *et al.*, (2012), con la colaboración del Dr. Mendoza (2016) en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Monterrey.

Las nano fibrillas se disolvieron en una solución a base del líquido iónico acetato de 1-etil-3-metilimidazolio y N, N-dimetilformamida a diferentes concentraciones que se explicarán en la sección de resultados.

La solución de electrospinning y forcespinning se usó en un aparato de tipo jeringa sobre un colector de tipo cilíndrico con cable giratorio (figura 15). El voltaje aplicado fue de 35 kv y la distancia de la punta a la del colector fue de 15 cm, manteniéndose constante a través de todo el experimento.

Finalmente, se retiró el residual usando etanol a 4 °C durante 2 h y posteriormente se lavó con agua desionizada. El hilo se obtuvo después de secar a 50 °C por 24 horas.

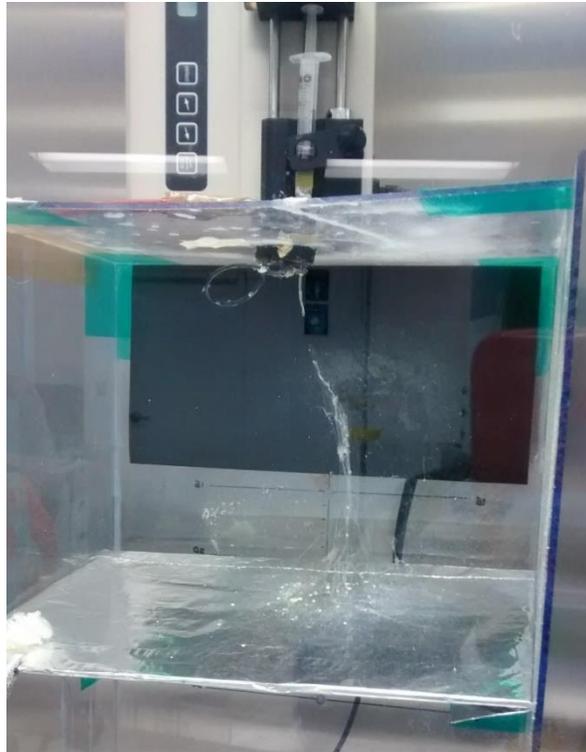


Figura 15. Fibra obtenida mediante electrospinning de solución plátano-PCL/Acetona. Fuente: realización propia.

Las fibras obtenidas se analizaron posteriormente mediante microscopía electrónica de barrido para determinar su morfología.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El plátano macho es el único que llega a la Central de Abastos con pinzote, las demás variedades llegan sin él, cortados por racimos y en cajas (figura 17). Existen alrededor de 18 puestos que manejan plátano macho (figura 16) y generan de 200 a 500 kg diarios, es decir, más de 6 toneladas diarias que se llevan a disposición final y que no son separados entre residuos orgánicos e inorgánicos.



Figura 16. Puesto de plátano en la Central de Abastos de Iztapalapa.  
Fuente: realización propia.



Figura 17. Residuos de plátano generados en la Central de Abastos.  
Fuente: realización propia.

Con la hidrólisis-hidrólisis de la fibra de plátano a partir de 100 gramos de fibra cruda, se obtuvo 0.72 gramos de nanofibras. Lo cual indica que es un método donde se desperdicia mucho material y se obtiene muy poco.

En cuanto a los análisis de los residuos del plátano se observaron los siguientes porcentajes (tabla 6):

Tabla 6. Resultados de fracciones de la fibra de plátano

<b>Resultados</b>	
Fibra neutro detergente	64.28%
Contenido celular	35.72%
Fibra ácido detergente	48.09%
Hemicelulosa	16.19%
Celulosa	39.94%
Lignina	11.01%

El total de la fibra está contenido en el NDF (Fibra neutro detergente) o paredes celulares, esta fracción contiene celulosa y lignina. El NDF suministra la mejor estimación del contenido total en fibra del alimento y está estrechamente relacionado con el consumo de alimento de rumiantes. Al aumentar los valores del NDF, el consumo total de alimento disminuye. De acuerdo a los resultados que se muestran en la tabla anterior, muestran que el porcentaje de NDF es alto, por lo que los residuos de pinzote de plátano no serían adecuados para utilizarse como alimento para rumiantes, por lo cual es necesario tomar otras alternativas para su uso, como por ejemplo, el que se menciona en este trabajo.

Tabla 7. Resultados de química proximal de residuos de plátano

Parámetro	B.H.	Base 90	Base 100
Materia seca	6.38%	90.00%	100.00%
Humedad	93.62%	10.00%	0.00%
Proteína cruda (Nitrógeno *6.25)	0.38%	5.35%	5.94%
Extracto etéreo	0.11%	1.56%	1.74%
Cenizas	1.53%	21.61%	24.01%
Fibra cruda	1.53%	21.56%	23.95%
Extracto libre de nitrógeno	2.83%	39.92%	44.35%
T.N.D.	3.40%	47.90%	53.22%
E.D. kcal/kg (aproximadamente)	149.69	2111.76	2346.40
E.M. kcal/kg (aproximadamente)	122.73	1731.46	1923.85

Como se observa, la cantidad de humedad en el plátano es muy alta, por lo cual con el proceso de hidrólisis-hidrólisis se observa gran cantidad de producto y termina siendo muy poco debido a la cantidad de calor que se usa, ya que solo el 6.38% es materia seca y 93.62% humedad.

Es importante señalar que este estudio fue uno de los originarios en obtener nanofibras de celulosa a partir del pinzote de plátano por medio de la técnica de electrohilado, modificando algunas variables de procesamiento como: voltaje, distancia aguja-colector y velocidad de flujo del inyector para poder obtenerlo; sin embargo, este estudio se basó en la obtención de hilo del bagazo de la caña de azúcar (Ochica, 2015).

En cuanto al análisis morfológico por microscopía de barrido a continuación se muestran las imágenes obtenidas. En la figura 18 se observa la primera muestra de nanofibras de plátano procesada después de todo el proceso de hidrólisis-hidrólisis, donde se puede observar que son fibras de aproximadamente 104 micras, conformadas por microfibras de un espesor de 4 micras, y éstas mismas se encuentran conformadas por más fibras de un espesor aproximado de 500 nanómetros. Lo cual nos muestra que el proceso no funciona completamente para separar las fibras hasta nanofibras.

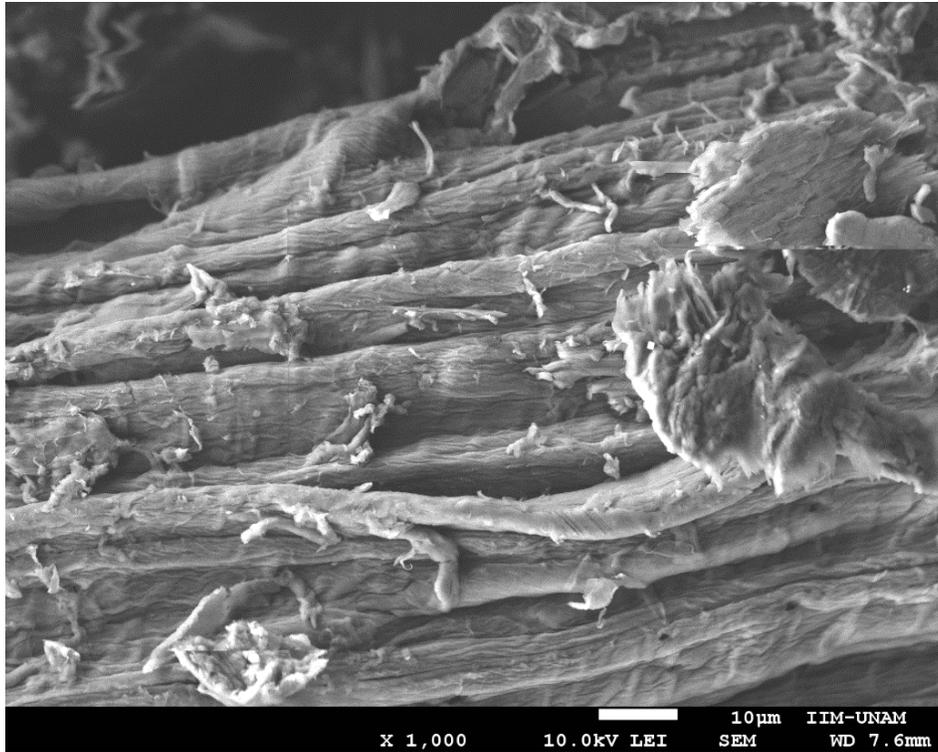


Figura 18. NFC plátano I. Microscopia electrónica de barrido x1,000 (Novelo, 2017).

En la figura 19, se aprecia otra muestra de plátano. En estas imágenes no se pueden apreciar tan fácilmente las nanofibras, se considera que esto es debido al cambio de temperatura que se realizó en la obtención de las nanofibrillas a partir de los residuos; por lo que se puede deducir que es importante un adecuado control de la temperatura en la obtención.

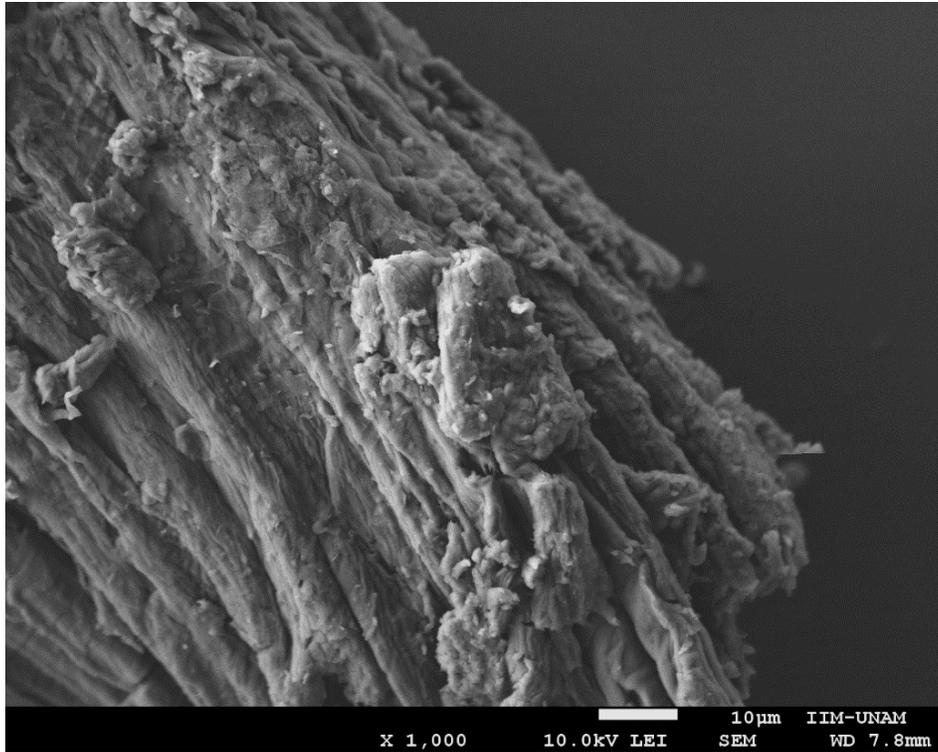


Figura 19. NFC Plátano II. Microscopia electrónica de barrido x1,000 (Novelo, 2017).

En la figura 20, se aprecia otra muestra de plátano y se puede observar que tiene un comportamiento similar a la primera muestra de plátano que se expone en la figura 18.

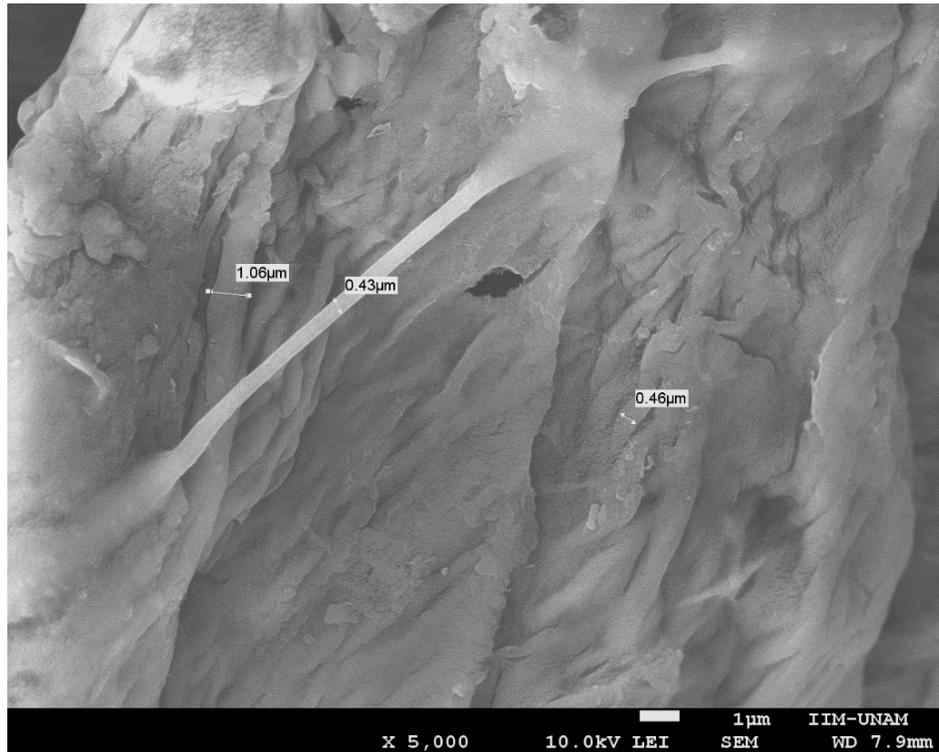


Figura 20. NFC Plátano III. Microscopia electrónica de barrido x5,000 (Novelo, 2017).

Producción de fibras mediante electrospinning.

De acuerdo a la metodología consultada y explicada en la sección anterior, el material a electrohilar se debe disolver completamente en la solución que se inyectó (solución de acetato de 1-etil-3-metilimidazolio y N, N-Dimetilformamida), tanto en electrospinning como en forcespinning. En

las tablas 8 y 9, se muestran las diferentes concentraciones que se utilizaron para obtener las fibras en ambos equipos y los resultados obtenidos.

Tabla 8. Soluciones de plátano en electrospinning.

Muestra de plátano	Concentración		Cantidad (gr)	Tiempo de homogeneización	Flujo	Voltaje	Distancia del colector	Resultados/ Observaciones
	EMIM-Ac	DMF						
NFC PL1 III	4.60 ml	6 ml	33.31	2 días	X	x	X	Espeso. Partículas muy grandes.
NFC PL1 I	8 ml	14 ml	0.5112	4 horas	2	20	20	Muy líquida. Debe ser más viscosa.
NFC PL1 II	8 ml	14 ml	0.5226	4 horas	2	20	20	Muy líquida. Debe ser más viscosa.
NFC PL3 II	2 gr	3.5 gr	0.3510	24 horas	3.5	20	20	Solución muy conductora. Se forman arcos eléctricos.
NFC PL4 II	1.0295 gr	1.8016 gr	0.1765	24 horas	4	20	20	Solución muy conductora. Se forman arcos eléctricos.

Tabla 9. Soluciones de plátano en *forcespinning*.

Muestra de plátano.	Concentración		Cantidad (gr)	Tiempo de homogenización	Resultados/ Observaciones
	Metilimidazolio	DMF			
NFC PL1FRC III	4.60 ml	6 ml	33.31	2 días	Espeso. Partículas muy grandes.
NFC PL1FRC I	8 ml	14 ml	0.5112	4 horas	Muy líquida. Debe ser más viscosa.
NFC PL1FRC II	8 ml	14 ml	0.5226	4 horas	
NFC PL2FRC I	8 ml	14 ml	1.36	24 horas	No se produjeron fibras.
NFC PL2 II	8 ml	14 ml	1.36	24 horas	
NFC PL2FRC I	0.30 gr	0.46 gr	1.6127	24 horas	Solución saturada, menos concentración de material.
NFC PL3FRC I	2 gr	3.5 gr	0.3256	24 horas	Podría ser una solución aproximada. Agregar diferentes porcentajes de material.
NFC PL3FRC II	2 gr	3.5 gr	0.3510	24 horas	Se formaron grumos de material, por lo que la solución no fue expulsada por el spinneret.
NFC PL4FRC II	1.0295 gr	1.8016 gr	0.1765	24 horas	Se generaron grumos de material, pero la solución era líquida. No se generaron fibras.
NFC PL5FRC II	1 gr	1.75	0.1400	12 horas	Solución líquida no se solidificó, no generó fibras.
NFC PL6FRC II	1.11 gr	1.86	0.1600	12 horas	

Debido a que no se obtuvieron resultados positivos en la obtención de fibras a partir de las soluciones realizadas, se optó por combinar las soluciones con una solución en la que se especializa el Instituto de PCL/Acetona que es usada para recubrir diferentes andamios 3D. En la tabla 10 se muestran las soluciones utilizadas para la obtención de las fibras requeridas.

Tabla 10. Soluciones de plátano y PCL/Acetona en *electrospinning*.

Plátano y PCL	Concentración		Cantidad (gr)	PCL/Acetona (gr)	Flujo	Voltaje	Distancia del colector	Resultados/Observaciones	% Material en EMIM-Ac y DMF	% Material en PCL/Acetona
	EMIM-Ac (gr)	DMF (gr)								
NFC PIIIPCL1	0.1742	0.305	0.0244	2.46	3.5	15	20	Se formó fibra, pero acetona se evaporó muy rápido lo que impidió se formaran más fibras.	14	1
NFC PIIIPCL2	0.4500	0.790	0.0720	2.41	X	X	X	No se disolvieron las fibras.	14	3
NFC PIIIPCL3	0.2857	0.4999	0.0400	4	3.5-8.5	15	15	Se obtuvo fibra, con algunas gotas de solución.	14	1
NFC PIIIPCL4	0.2500	0.4375	0.0400	4	3.5-5.5	10 - 18	15	Se obtuvo fibra, con menor cantidad de gotas.	16	1
NFC PIIIPCL5	0.3333	0.5775	0.0400	4	3.5-5.5	10 - 18	15 - 20		12	1
NFC PIIIPCL6	0.2664	0.4820	0.0400	4	4 - 6	10 - 15	20	Se obtuvieron fibras, no se observaron gotas.	16	1

Como se puede observar, mediante esta combinación se pudo obtener la fibra deseada, como se puede apreciar en la figura 21.

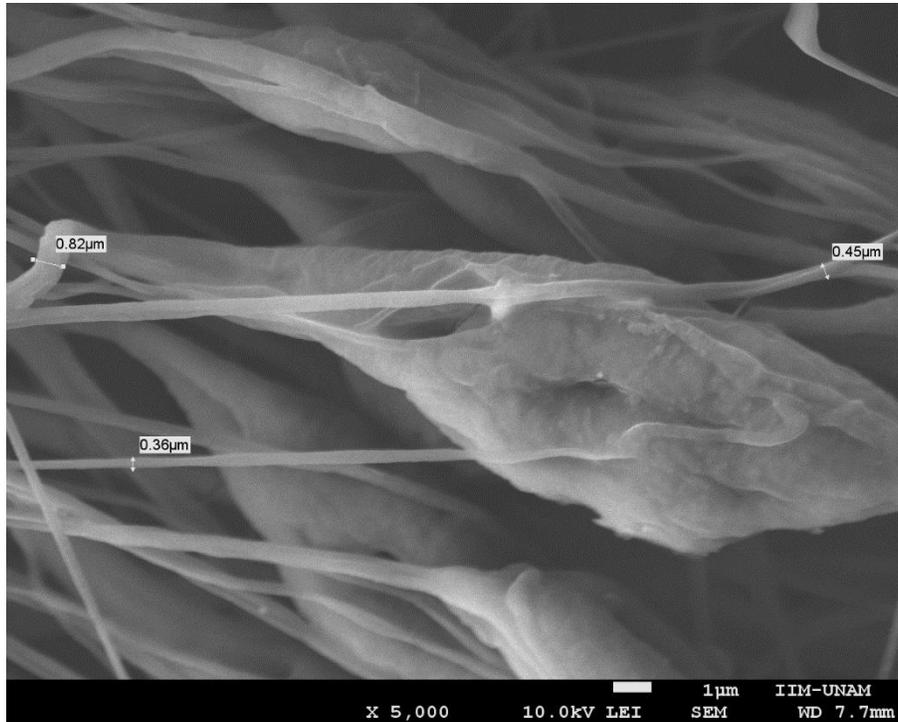


Figura 21. Fibras electrohiladas de PCL/Acetona. Microscopia electrónica de barrido x5,000 (Novelo, 2017).

En la figura 22 se puede observar que las fibras tienen un espesor de entre 0.35 y 0.85 nanómetros, con algunas secciones más gruesas que se considerarían como los llamados “beads” (forma de rosario).

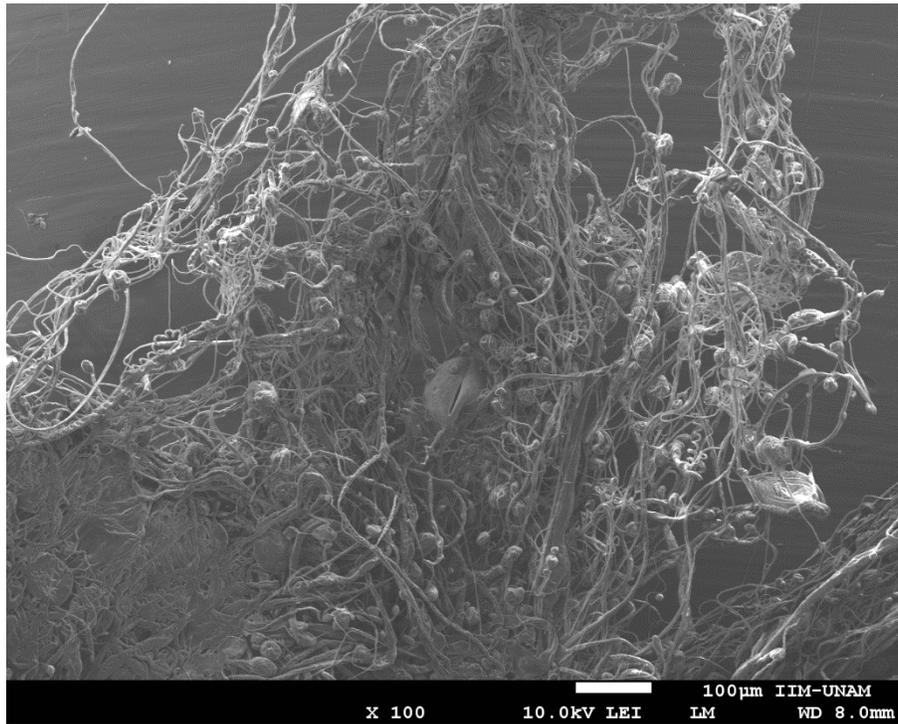


Figura 22. Fibras electrohiladas de plátano al 12% y PCL/Acetona al 99%. Microscopia electrónica de barrido x100 (Novelo, 2017).

En la figura 23, se aprecian las fibras obtenidas por electrospinning de la solución al 14% de plátano y 99% de PCL/Acetona. El espesor de estas fibras es de 0.50 a 2  $\mu\text{m}$ .

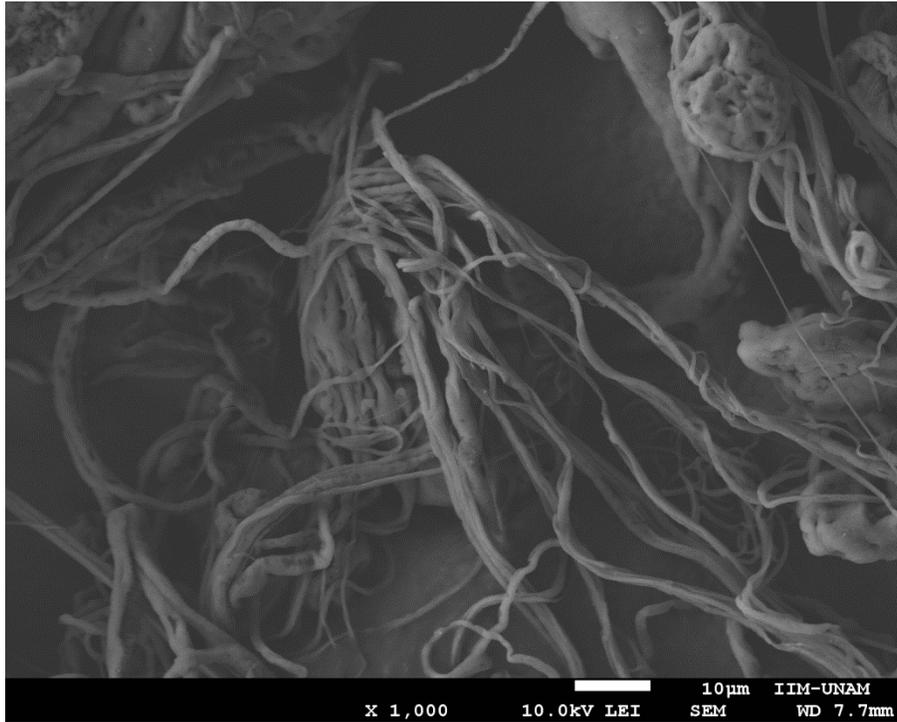


Figura 23. Fibras electrohiladas de plátano al 14% y PCL/Acetona al 99%. Microscopía electrónica de barrido x1,000 (Novelo, 2017).

Por último, en la figura 24, se pueden observar las fibras obtenidas a partir de la solución de plátano al 16% y PCL/Acetona al 99%. Estas fibras tienen un espesor aproximado de 12.14 a 2  $\mu\text{m}$ .

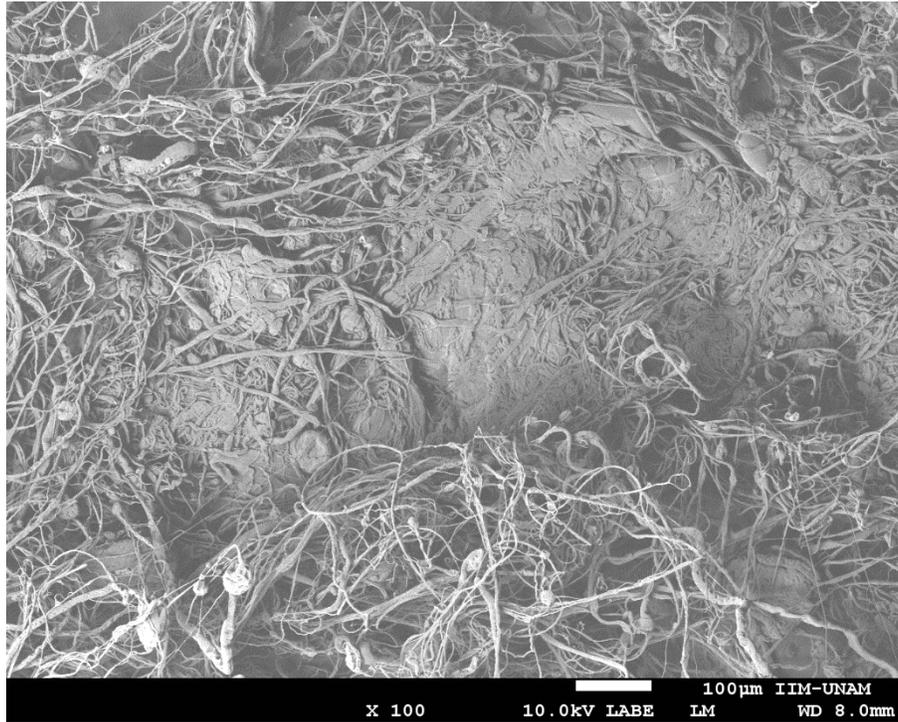


Figura 24. Fibras electrohiladas de plátano al 16% y PCL/Acetona al 99%. Microscopia electrónica de barrido x100 (Novelo, 2017).

## 7. CONCLUSIONES

- Con los resultados del estudio de generación se puede concluir que en la Central de Abasto se generan hasta 6 toneladas diarias de residuos de pinzote de plátano, lo cual demuestra la necesidad de aprovechar estos residuos.
- Los residuos de pinzote se pueden utilizar para elaborar artesanías, obtención de la celulosa para la fabricación de papel y harinas aprovechado como un material biodegradable y renovable.
- El pinzote de plátano se usa como alimento para rumiantes, pero el análisis de fibra demuestra que no es viable para el consumo animal; por lo cual es indispensable tener otros usos alternativos de esta fibra.
- El hilo se obtuvo a partir de la técnica de electrospinning, utilizando una mezcla de dos soluciones. Se concluyó que la solución con mejor calidad fue la de 16% en peso.
- En esta investigación se logró aprovechar los residuos de pinzote de plátano, para la fabricación de una fibra natural, con un rendimiento aproximado al 17.75%, lo cual es un porcentaje muy bajo, no viable, por lo cual sería mejor pensar en otro aprovechamiento más alto.
- En la actualidad se generan grandes cantidades de estos residuos; esta problemática no solo se evidencia en la Ciudad de México, sino

también en numerosas zonas de la República Mexicana. A pesar de eso, a menudo resulta invisible para muchos, por lo que no es de extrañar que haya sido poco estudiada, tanto desde las vertientes sociales, ambientales como jurídicas.

- En cuanto a las repercusiones ambientales tenemos la mala gestión de estos residuos como un problema ambiental, que origina un deterioro progresivo y acumulativo del entorno, lo que puede constituir, en ciertos casos, un problema de higiene pública.
- Esta investigación contribuyó en un uso más del residuo de pinzote de plátano, brindando una opción de empleo a las personas que se dedican a la producción del plátano.

## 8. RECOMENDACIONES

Es necesario hacer estudios de vida útil del material para poder utilizarlo en todo su potencial, como por ejemplo: duración y pruebas mecánicas (resistencia, elasticidad, etc.,) además de analizar formas alternativas y más naturales para disminuir el uso de ácidos.

Otros usos: Creación de polímeros con fibras naturales como material de refuerzo para el concreto, desarrollo industrial de empaques biodegradables, que encuentran en el mercado una demanda total y permanente.

Es necesario el estudio de otros procesos de manufactura más industrializados, eficientes y más amigables con el medio ambiente.

## 9. REFERENCIAS

- Amar, M., Manjusri, M y Lawrence, D (2005). Natural Fibers, biopolymers and biocomposites. E.U.A. Taylor & Francis Group.
- Andrade S. B. (1998). Efecto de las condiciones de proceso de obtención de celulosa sobre sus propiedades fisicoquímicas. Tesis de Licenciatura, UADY, México.
- Andreeva A. (2011). Whiskers de celulosa a partir de residuos agroindustriales de banano: obtención y caracterización. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 10(2), 18-19.
- Ashmawy A.E., J. Danhelka y J. Kössler, (1974). Determination of molecular weight distribution of cellulosic pulps by conversion into tricarbaniolate, elution fraction and GPC. Svensk papper-tidning, p. 603-608.
- Azwa, Z., Yosif, B., Manalo, A., & Karunasena, W. (2013). A review on the degradability of polymeric composites bases on natural fibres. Materials and Design. 47(4). 35-38.
- Biagiotti, J., Puglia, D y Kenny, J. (2008). A review on natural fibre - based composites - Part 1. Structure, Procesing and Properties of Vegetable fibres. *Journal of natural fibers*, 1(2), 37-68.
- Bilgin, E. (2014). Going Bananas, using banana peels in the production of bio-plastic as a replacement of the traditional petroleum based

plastic. Recuperado el 5 de Febrero de 2017, de <https://www.googlesciencefair.com/en/projects/ahJzfnNjaWVuY2VmYWlyLTlwMTJyRAsSC1Byb2pIY3RTaXRlljNhaEp6Zm5OamFXVnVZMIZtWVdseUxUSXdNVep5RUFzU0lxQnliMnBsWTNRWW9ZR0tBUXcM>

Canché, G., De los Santos, J.M., Andrade, S., Gómez, R. (2005). Obtención de celulosa a partir de los desechos agrícolas del banano. Información tecnológica. 16 (1), 83-88.

Canto, B., y Castillo, G. (2011) Un mil usos: el plátano. [www.uv.mx](http://www.uv.mx), núm 1. Recuperado el 13 de Junio de 2017, de <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol24num1/articulos/platano/>

Carchi, D. (2014). Aprovechamiento de los residuos agrícolas provenientes del cultivo de banano para obtener nanocelulosa. Tesis de grado en Ingeniería química. Facultad de ciencias químicas. Universidad de Cuenca. Ecuador.

Cazaurang, N., Peraza, S. S. y Cruz R. C. (1990). Dissolving-grade pulps from henequén fiber. Cellulose Chemistry and Technology. 24 (1), 629-638.

Centelles, M. (2011) La fibra de plátano mejora las propiedades del cemento. [www.dicyt.com](http://www.dicyt.com), núm. 39. Recuperado el 26 de Marzo de 2017, de <http://www.residuosprofesional.com/residuos-platano-cemento/>

Listado de especies [en línea]. México, D.F: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Fecha de actualización [15 de Mayo de 2018]. Disponible en web: <http://www.conabio.gob.mx/>

Cordeiro, N., Belgacem, M., Torres, I., y Moura, J. (2004). Chemical composition and pulping of banana pseudo-stem. *Industrial Crops and Products*, 19(2), 147-154.

Dan, L., & Younan, X. (2004). Electrospinning of nanofibers: reinventing the Wheel?. *Advanced Materials*, 16(14), 1151-1169.

Dirección General de Normas. Diario Oficial de la Federación (2008) Recuperado el 11 de Noviembre de 2016, de [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5076907](http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5076907)

Dittember, D., y GangaRao, H. (2012). Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure. *ELSEVIER Composites: Part A*. 43(8), 1419-1429.

Duque, A., y Bohórquez, Y. (2000). Modelo para la determinación de pérdidas postcosecha del plátano Dominico-Hartón (Musa ABB SIMMONDS). *Revista de Poscosecha y Agroindustria del plátano en el eje cafetero de Colombia*, 2(3), 153-158.

Flores, E., García, S., Flores, E., Núñez, S., González, A. y Bello, A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos

de plátano (*Musa paradisiaca*). *Revista Acta Científica Venezolana*, 55(2), 86-90.

Gañan, J., Cruz, S., Garbizu, A., Arbelaiz, I., y Mondragón, T. (2004). Stem and bunch banana fibers from cultivation wastes: Effect of treatments on physico-chemical behavior. *Journal of Applied Polymer Science*, 94(4), 1489-1495.

García, A. y Martínez, M. (1999). Uso de follajes del plátano en la alimentación del cerdo. *Revista Computarizada de Producción Porcina*, 6, 66-74.

García, A., (2017). Composición Química de la harina de residuos foliares del plátano (*Musa paradisiaca*). Instituto de investigaciones porcinas. Recuperado el 5 de Marzo de 2017 <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpn/REV32/ARISTIDE.htm>.

González, A., (2016) "Morfología de plantas vasculares". México: UNAM. Recuperado el 04 de Noviembre del 2016, de <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema12/12-5uso.htm>

González-Chi, I., Vázquez, G., y Gomez R. (2002) Thermoplastic composites reinforced with banana (*Musa paradisiaca* L) wastes. *International Journal of Polymeric Materials*, 51, 685-694.

- Gunther, L., Benno, K., & Nystroem, M. (2003) Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concep; (B) practical implementations. *Bioresource Technology*, 87, 167-198.
- Kadirvelu, K., Kavipriya, M., Karthika, C., Radhika, M., Vennilamani, N y Pattabhi, S. (2003) Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dyes and metal ions from aqueous solutions, *Bioresource Technology*, 87(1), 129-132.
- Lomascolo, A., Stentelaire, C., Asther, M y Lesage, L. (1999) Basidiomycetes as new biotechnological tools to generate natural aromatic flavours for the food industry. *TIBTECH*. 17, 282-288.
- Marquez, A., Cazaurang, M., González, C y Colunga, P. (1996) Cellulose extraction from Agave Lechuguilla fibers. *Economic Botany*, 50, 465-468.
- Maulin, S., Reddy, G., Banerjee, R., Ravindra, P y Kothari, L. (2005) Microbial degradation of banana waste under solid state bioprocessing using two lignocellulolytic fungi (*Phylosticta* spp. MPS-001 and *Aspergillus* spp. MPS -002). *Process Biochemistry*. 40(1), 445-451.
- Mazzeo, M., León, L y Mejía L., (2010) Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento

de Caldas. [Www.acofi.edu.co](http://www.acofi.edu.co), núm. 9. Recuperado el 15 de Abril de 2017, de [http://www.acofi.edu.co/revista/Revista9/2010\\_I\\_02.pdf](http://www.acofi.edu.co/revista/Revista9/2010_I_02.pdf)

Mazzeo, M., León, L., Mejía L., Guerrero, L y Botero., J. (2010). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de caldas. Revista educación en ingeniería. 9, 128-139.

Mejía, G y Gómez J., Los desechos generados por la industria bananera colombiana. Seminario Internacional Gestión Ambiental de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI. Simposio llevado a cabo en la Asociación de Bananeros de Colombia Augura. Centro de Investigaciones del Banano Cenibanano. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal/xxix.pdf>

Mena, X., Barahona, F., Canto, B., Rodríguez, R., Solís, S., Rivera, G., Canche, G., Tzec, M., Domínguez, J. y Alzate, L. (2008). *Optimización de pretratamientos para la sacarificación de residuos de plátano para la posterior obtención de etanol*. Ponencia en el Congreso Latinoamericano de Biotecnología Ambiental, II Congreso Latinoamericano de Biotecnología Algal y V Symposium Internacional sobre Bioprocesos más Limpios y Desarrollo Sustentable. Xalapa, Ver., México, 5 a 10 de octubre.

Novelo, O. (2017) Laboratorio Universitario de Microscopia Electrónica (LUME). Instituto de Ingeniería de Materiales, UNAM.

Ochica, A. (2015). Obtención de nanofibras de celulosa catiónica a partir del bagazo de la caña de azúcar y teñidas con colorante reactivo anionico para la aplicación textil. Facultad de Ciencias Químicas. UPTC. Recuperado el 28 de mayo de 2018. Disponible en línea: <http://164.132.137.216/bitstream/001/1421/2/TGT-171.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). FAOSTAT, 1961-2017. Recuperado el 13 de Octubre de 2016 de la base de datos de FAOSTAT. Disponible en línea: <http://www.fao.org/faostat/es/#home>

Reed, A y Williams, P. (2004). Thermal processing of biomass natural fibre waste by pyrolysis. International Journal of Energy Research, 28(2), 131-145.

Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. Instituto de Ingeniería, UNAM. Recuperado el 22 de Octubre de 2017, de [http://www.smbb.com.mx/revista/Revista\\_2012\\_2/Saval\\_Residuosagroindustriales.pdf](http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2012_2/Saval_Residuosagroindustriales.pdf).

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2009) . *Anuario estadístico de la Sagarpa-SIAP, 1998-*

2007. Recuperado el 20 de Septiembre de 2016 de la base de datos de Sagarpa-SIAP. Disponible en línea:

<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2016). 4to informe de labores, 2015-2016. Recuperado el 1 de Abril de 2016. Disponible en línea:

[http://www.sagarpa.gob.mx/Transparencia/POT\\_2016/Informe/CuartoInformeDeLabores\\_SAGARPA.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/Transparencia/POT_2016/Informe/CuartoInformeDeLabores_SAGARPA.pdf)

Shah, M., Reddy, G., Banerjee, R., Babu, P y Kothahi, I. (2005) Microbial degradation of Banana waste under solid state bioprocessing using two lignocellulolytic fungi (Phylosticta spp. MPS-001 and Aspergillus spp. MPS-002), Process Biochemistry, 40, 445-451.

Thomas, S., Pothan, L y Neelakantan, N. (1997) Short banana fiber reinforced polyester composites: mechanical, failure and aging characteristics, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 16, 744-765.

Turrado, J., Saucedo, A., Sanjuan, R y Sulbaran, B. (2009) Pinzote de Musa balbisiana y Musa acuminata como Fuente de Fibras para Papel. Información tecnológica. 20(4) 117-122.

Yan, L., Chouw, N y Jayaraman, K. (2014). Flax fibre and this composites - A review. Composites: Part B. 56. 296-317.

Yongjun, A., Doo-Hyun, H., Joo, H., Sang, L., Hyung, K., Hyungsup, K. (2012)  
Effect of co-solvent on the spinnability and properties of electrospun  
cellulose nanofiber. *Carbohydrate polymers*. 89 (2) 340-345.

Zhou, X., Hamidreza, S., Dong, W., Olayinka, O y Fan, M. (2013) Fracture  
and impact properties of short discrete jute fibre reinforced  
cementitious composites. *ELSEVIER Materials and Design* 49, 35-47.

# 10. ANEXO

Nota: Esta Norma fue modificada de Norma Oficial Mexicana a Norma Mexicana, de acuerdo al Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación de fecha 6 de Noviembre de 1992.

## NORMA MEXICANA NMX-AA-15-1985.

### PROTECCIÓN AL AMBIENTE - CONTAMINACIÓN DEL SUELO - RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES - MUESTREO - MÉTODO DE CUARTEO

#### PREFACIO

En la formulación de esta norma participaron los siguientes organismos:

- SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA
- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.
  
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.
- Dirección General de Estudios Prospectivos.
- Dirección General de Programación de Obras y Servicios.
- Comisión de Ecología.

#### 1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Mexicana, establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales y la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio.

Para aquellos residuos sólidos de características homogéneas, no se requiere seguir el procedimiento descrito en esta norma.

#### 2.- REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes;

NMX-AA-19 Protección al Ambiente - Contaminación del suelo - Residuos Sólidos Municipales - Peso volumétrico "IN SITU".

NMX-AA-22 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Selección y Cuantificación de Subproductos.

NMX-AA-61 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Generación.

NMX-AA-91 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos - Terminología.

#### 3.- DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, las definiciones son las que se establecen en la Norma Mexicana NMX-AA-91.

#### 4.- MÉTODO DE CUARTEO

Para el cuarteo, la muestra debe ser representativa de la zona o estrato socioeconómico del área en estudio, obtenida según Norma Mexicana NMX-AA-61

##### 4.1 Aparatos y equipo

- Báscula de piso, con capacidad de 200 Kg
- Bolsas de polietileno de 1.10 m x 0.90 m y calibre mínimo del No. 200, para el manejo de los subproductos (tantas como sean necesarias).
- Palas curvas
- Bieldos
- Overoles
- Guantes de caucho
- Escobas
- Botas de hule
- Cascos de seguridad
- Mascarillas protectoras
- Papelería y varios (cédula de informe de campo, marcadores, ligas, etc.).

#### 4.2 Procedimientos

Para efectuar este método de cuarteo, se requiere la participación de cuando menos tres personas.

El equipo requerido antes descrito, está de acuerdo con el número de personas que participan en el cuarteo.

Para realizar el cuarteo, se toman las bolsas de polietileno conteniendo los residuos sólidos, resultado del estudio de generación según la Norma Mexicana NMX-AA-61.- En ningún caso se toma más de 250 bolsas para efectuar el cuarteo.

El contenido de dichas bolsas, se vacía formando un montón sobre un área plana horizontal de 4 m x 4 m de cemento pulido o similar y bajo techo.

El montón de residuos sólidos se traspalea con pala y/o bieldo, hasta homogeneizarlos, a continuación, se divide en cuatro partes aproximadamente iguales A, B, C y D (Fig. 1), y se eliminan las partes opuestas A y C ó B y D, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 Kg de residuos sólidos con los cuales se debe hacer la selección de subproductos de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-22.

De las partes eliminadas del primer cuarteo, se toman 10 Kg aproximadamente de residuos sólidos para los análisis del laboratorio, físicos, químicos y biológicos, con el resto se determina el peso volumétrico de los residuos sólidos "in situ", según Norma Mexicana NMX-AA-19.

La muestra obtenida para los análisis físicos, químicos y biológicos debe trasladarse al laboratorio en bolsas de polietileno debidamente selladas e identificadas (véase marcado), evitando que queden expuestas al sol durante su transporte, además se debe tener cuidado en el manejo de la bolsa que contiene la muestra para que no sufra ninguna rotura. El tiempo máximo de transporte de la muestra al laboratorio, no debe exceder de 8 horas.

Se han considerado, las cantidades anteriores como óptimas, sin embargo estas pueden variar de acuerdo a las necesidades. Solo en el caso de que la cantidad de residuos sólidos sea menor a 50 Kg, se recomienda repetir la operación de cuarteo.

#### 5.- MARCADO

La muestra se identifica con una etiqueta, la cual debe contener la siguiente información:

Número de folio de la cédula de informes de campo para el cuarteo, hora y fecha del surto, localidad, municipio, estado, procedencia de la muestra (estrato socioeconómico) temperatura y humedad relativa del ambiente, peso de la muestra en kilogramos, datos del responsable de la toma de muestra y observaciones.

**6.- INFORME DE CAMPO: (Ver cédula en el apéndice)**

En el informe debe indicar lo siguiente:

- Localidad, Municipio y Estado
- Fecha y hora del cuarteo
- Procedencia de la muestra (estrato socioeconómico)
- Condiciones climatológicas
- Cantidad de residuos sólidos tomados para el cuarteo, en Kg
- Cantidad de residuos sólidos obtenidos para la selección en subproductos, en Kg
- Datos del responsable del cuarteo
- Observaciones

**7.- APÉNDICE**

**CÉDULA DE INFORME DE CAMPO PARA EL CUARTEO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.**

No. de  
Folio \_\_\_\_\_

Localidad \_\_\_\_\_ Municipio \_\_\_\_\_ Estado \_\_\_\_\_

Fecha y hora del cuarteo \_\_\_\_\_

Procedencia de la Muestra \_\_\_\_\_

Condiciones Climatológicas Imperantes Durante el Cuarteo (describa):  
\_\_\_\_\_

Cantidad de Residuos Sólidos para el Cuarteo \_\_\_\_\_ Kg \_\_\_\_\_

Cantidad de Residuos Sólidos para la Selección de Subproductos \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Kg \_\_\_\_\_

Cantidad de Residuos Sólidos para los Análisis Físicos, Químicos y Biológicos \_\_\_\_\_

Responsable del Cuarteo:

Nombre: \_\_\_\_\_ Cargo \_\_\_\_\_

Dependencia o Institución \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**8.- BIBLIOGRAFÍA**

\* Journal of the Sanitary Engineering Division.- Proceedings of the American Society of Civil Engineers.- "Sample Weights in Solid Waste Composition Studies".- Albert J. Klee and Dennis Carrh. August, 1970.

Rolle, G. Int. Research Group in Refuse Disposal (IRGR). Information Bulletin 22, 23.- Zurich.- 1954.