

04-037

OBTAINING AN AGAVE ANGUSTIFOLIA FIBER BASED COMPOSITE WITH NATURAL LATEX

Hidalgo Reyes, Martin¹; Caballero Caballero, Magdaleno²; Hernández Gómez, Luis H.³

¹ Universidad Autonoma Chapingo, ² IPN CIIDIR-OAXACA, ³ IPN. ESIME-Zacatenco

In Oaxaca State, Mexico, 23 species of agave have been identified, which are used in the local production of mezcal; the most important species is *Agave angustifolia*. The mezcal industry take advantage only the stem and discard leaves. Annually 122696 tons of bagasse of *Agave* which is not used, while in other countries, natural fibers are industrially used. In order to use this lignocellulosic fibers of bagasse, a physical and chemical characterization was made. A composite material was obtained by adding fibers to a natural polymer, with two types of latex (natural and spin), with different percentage latex-fiber (50-50, 40-60 and 70 - 30%), and with different particle sizes (600 and 300 μm). Its physical and physico-chemical properties were evaluated, the mean values of tensile strength, Young's modulus, % strain (ϵ), and ultimate tensile strength were determined via mechanical tests, and also water absorption was determined. Composites were analyzed by scanning electron microscopy too. The obtained values from mechanical test, shown in all cases, values that they exceed those found in the same tests for individual fibers. It is concluded that it is possible to add value to the fibers through the development of composite materials.

Keywords: *chemical composition; mechanical tests; morphology*

OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRAS DE ÁGAVE ANGUSTIFOLIA HAW CON LÁTEX NATURAL

En el estado de Oaxaca, México, se han identificado 23 especies de agave utilizadas en la fabricación de mezcal; destacando el *Agave angustifolia* Haw. Esta industria únicamente emplea el tallo y desecha las hojas. Anualmente se producen 122696 toneladas de bagazo de *Agave* que no es aprovechado, mientras en otros países, las fibras vegetales son aprovechadas industrialmente por su contenido lignocelulósico. A fin de utilizar las fibras lignocelulósicas del bagazo, se realizó su caracterización física y química. Se obtuvo un material compuesto agregando fibras a un polímero natural, con dos tipos de látex (natural y centrifugado), con diferentes porcentajes látex-fibra (50-50, 40-60 y 70-30%), y con distintos tamaños de partícula (600 y 300 μm). Se evaluaron sus propiedades físicas y fisicoquímicas, se realizaron pruebas de tracción, se determinó su módulo de elasticidad, su esfuerzo último de tensión, el porcentaje de deformación unitaria y su capacidad de absorción de agua. Se analizaron mediante microscopia electrónica de barrido. Los valores encontrados en las pruebas mecánicas, muestran en todos los casos, valores que superan los encontrados en las mismas pruebas para las fibras individuales. Se concluye que es posible dar valor agregado a las fibras a través de la elaboración de materiales compuestos.

Palabras clave: *composicion quimica; prubas mecanicas; morfologia*

Correspondencia: Martin Hidalgo Reyes hogladi@hotmail.com

1. Desarrollo

En Oaxaca, México, se han identificado 23 especies de agave utilizados en la fabricación del mezcal; destacando el *Agave angustifolia* Haw (Secretaría de Agricultura, Ganadería, desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2005). Esta industria, únicamente emplea el tallo o piña, desechando todas las hojas y fibras residuales, lo cual significa un aprovechamiento equivalente al 45% en peso del agave. Las hojas representan el 55% restante y solo son abandonadas en el campo a cielo abierto. La densidad de población de este cultivo es de 2500 plantas/ha. Cada planta tiene 80 hojas en promedio, mismas que se encuentran físicamente aptas para la extracción de fibra, es decir, en una hectárea se generan 200 000 hojas que no son aprovechadas (Silva y Caballero, 2004). Lo mismo sucede con las fibras del bagazo residual, las cuales simplemente son desechadas al final de proceso. En cambio, en otros países, las fibras vegetales son aprovechadas industrialmente por su contenido lignocelulósico (Arrakhiz *et al.*, 2013; Liu., Hu y Yu, 2012; Mishra *et al.*, 2004).

A nivel mundial se está produciendo un fenómeno dirigido hacia el aprovechamiento integral de los recursos naturales. Este nuevo enfoque conlleva al cambio del uso de petroquímicos a recursos renovables (Bessadok *et al.*, 2008; FAO, 2004). Se prevé que las fibras lignocelulósicas tengan una función importante en la transición respecto a las fibras sintéticas (FAO, 2007; Reddy y Yang, 2005). Las fibras vegetales tienen una trascendencia económica, pero solo se aprovechan unas cuantas como el sisal, henequén, yute, kenaf, abaca y bonote; el resto es explotado a pequeña escala, por la falta de conocimiento de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas (Cazaurang *et al.*, 1991; Kestur., Guimaraes y Wypych, 2007; Tomczak., Sydenstricker y Satyanarayana, 2007). En el caso específico del *Agave angustifolia* Haw, las fibras de las hojas y las del tallo (bagazo cocido), no han sido estudiadas a profundidad. En esta investigación se hace un análisis, únicamente de las fibras presentes en el bagazo cocido, a fin de obtener información para establecer algún beneficio de las mismas. Existe una gran cantidad de material residual disponible, el cual contiene fibras lignocelulósicas, que por su composición física y química, pueden convertirse en un elemento potencial para ser utilizadas en múltiples aplicaciones (John y Thomas, 2008; Li *et al.*, 2008). Debido al contenido de celulosa de estas fibras, se espera que una alternativa de uso sea su incorporación como refuerzo en una matriz polimérica para formar un compuesto.

En los sistemas de producción agrícola, los envases para productos hortofrutícolas son un ejemplo de componentes sujetos a historiales de cargas que varían en el tiempo, causando cambios en la integridad estructural del material y provocando un deterioro progresivo en sus propiedades mecánicas. Por tal razón, los estudios sobre la generación de materiales compuestos, con mejores capacidades de carga, son un tema de gran relevancia. Las investigaciones se han enfocado hacia el conocimiento de las propiedades de los nuevos materiales, y al establecimiento tanto de los parámetros de diseño como de los procesos de manufactura adecuados que garanticen la conservación y calidad de los productos biológicos. Considerando estos argumentos, en la presente investigación, se realizó un estudio formal y sistemático para caracterizar las fibras del bagazo de *Agave angustifolia* Haw, a fin de determinar sus propiedades químicas y físicas, y con ello establecer alguna alternativa de uso. El planteamiento principal fue elaborar un material compuesto utilizando estas fibras como material de refuerzo dentro de una matriz polimérica. El material elaborado fue caracterizado, y con los resultados se estiman las condiciones para sus posibles aplicaciones.

1.1 Objetivos

General:

- Caracterizar las fibras de bagazo cocido de Agave angustifolia para conocer sus propiedades físicas y químicas, a fin de establecer una aplicación alternativa de uso como un proyecto que ayude al desarrollo de la región.

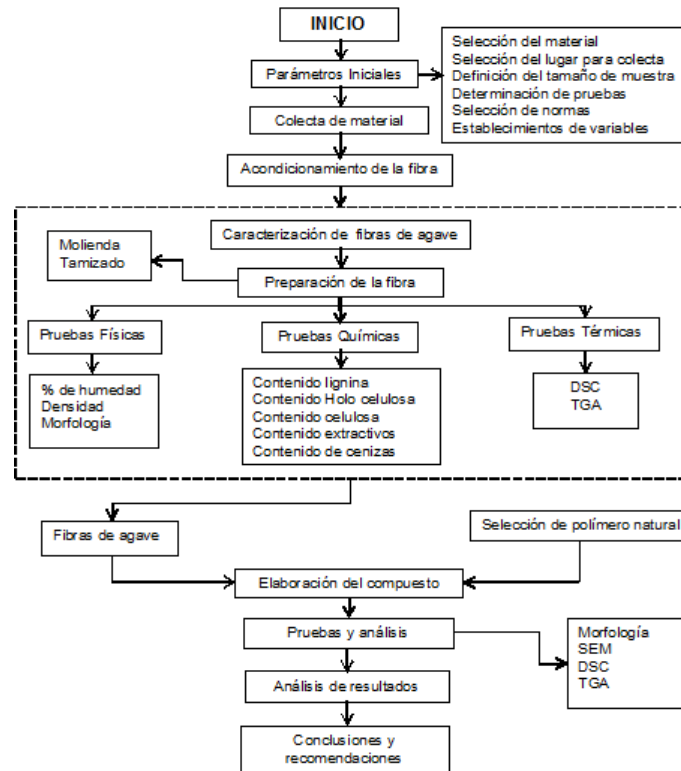
Específicos:

- Caracterizar las fibras del bagazo de Agave angustifolia
- Elaborar un material compuesto con fibras residuales de Agave angustifolia
- Caracterizar el material compuesto elaborado

2. Metodología

El enfoque de la investigación es de carácter demostrativo-experimental. La metodología (Figura 1) describe los pasos generales del trabajo de investigación: A partir de las pruebas, se obtienen los datos cuantitativos para sustentar los resultados. Las pruebas y ensayos de laboratorio fundamentan sus procedimientos en las normas respectivas, desde la colecta de material, la definición del número de especímenes hasta las técnicas empleadas para realizar cada una de las determinaciones.

Figura 1. Metodología de la investigación



En general, las etapas a seguir para el trabajo experimental son las siguientes:

- Establecimiento de condiciones iniciales
- Determinación del tamaño de muestra y colecta
- Acondicionamiento del material
- Caracterización de las fibras
- Elaboración del compuesto
- Caracterización del compuesto

El objetivo de realizar la caracterización de las fibras es conocer sus propiedades físicas y químicas, para obtener los elementos que ayuden a determinar posibles usos alternativos de las mismas. Con los resultados obtenidos se determinará si las fibras pueden ser utilizadas para elaborar un material compuesto, y después fabricar un envase para frutos de papaya. El enfoque es completamente experimental, los resultados se obtienen de pruebas en laboratorio. Cada prueba y ensayo se fundamenta en normas y estándares internacionales, tal como se indica en cada apartado, incluyendo los criterios para definir la muestra y el número de repeticiones, así como los procedimientos en cada técnica utilizada.

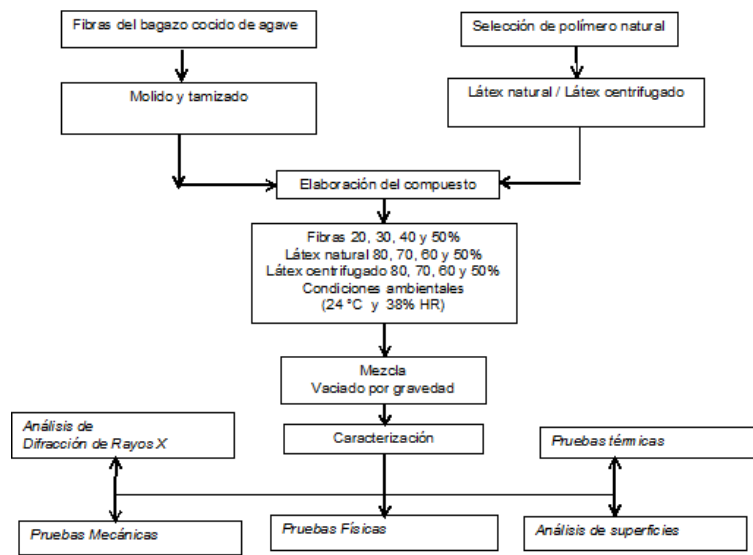
Durante el desarrollo del trabajo experimental se siguieron las siguientes etapas: selección del lugar, determinación del material (bagazo cocido), tamaño de muestra, colecta, realización de pruebas, obtención de datos, análisis estadístico, obtención de resultados y conclusiones. La metodología establece el desarrollo de cada prueba de manera particular, la técnica a seguir y los equipos a utilizar, todo de acuerdo con los procedimientos establecidos en cada una de las normas.

De manera específica, las etapas para realizar la caracterización física y química de las fibras del bagazo cocido de *Agave angustifolia* fueron las siguientes:

1. Colecta de material
2. Preparación de material
3. Determinación de propiedades físicas
4. Determinación de propiedades químicas
5. Determinación de propiedades térmicas
6. Prueba mecánica
7. Análisis de resultados
8. Conclusiones

Para elaborar y caracterizar el material el material compuesto se procedió de acuerdo con las etapas mostradas en la Figura 2.

Figura 2. Desarrollo experimental para obtención y caracterización del compuesto



3. Resultados

En la presente investigación se utilizó bagazo cocido de agave, el cual fue colectado en el municipio de San Baltazar Chichicapam, Oaxaca, México. Las fibras fueron tomadas del bagazo residual del proceso de elaboración de mezcal.

3.1 Colecta del bagazo cocido de *Agave angustifolia* Haw

El bagazo de agave (Figura 3) se colectó en una fábrica artesanal (*palenque*) de producción de mezcal, ubicada en el municipio de San Baltazar Chichicapam, localizado en la parte central del Estado, en la región denominada "Región del mezcal", en los Valles Centrales, con coordenadas 96° 29' longitud oeste, 16° 46' latitud norte, a 1,540 m de altura sobre el nivel del mar. Limita al norte con los municipios de Santo Tomás Jalieza y San Bartolomé Quialana; al sur con Yaxe; al oriente con Santiago Matatlán y San Dionisio Ocotepéc; al poniente con San Juan Chilteca, San Antonio Castillo Velasco, San Miguel Tilquiapam y San Jerónimo Taviche. Se encuentra a 56 km de la capital del Estado.

Figura 3. Bagazo cocido de *Agave angustifolia* Haw



3. 2 Preparación de las fibras del bagazo cocido de *Agave angustifolia* Haw

Las operaciones de preparación y acondicionamiento de las fibras, se realizaron de acuerdo a los pasos descritos a continuación:

- Lavado. Consiste en remojar y lavar el bagazo de agave. Se utilizó agua potable. En esta fase se separaron las cortezas leñosas. El procedimiento se realizó manualmente.
- Secado. La fibra se colocó al aire libre y se dejó secar bajo las condiciones ambientales del lugar, a una temperatura promedio de 24 °C con una humedad relativa de 38%.
- Selección y Limpieza. La selección y limpieza se realizó manualmente, el objetivo es eliminar los residuos no deseados, hasta obtener un material (Figura 4) libre de impurezas.

Figura 4. Fibras limpias y seleccionadas



- Molienda. El corte de la fibra se realiza para obtener secciones con 15 mm de longitud, se realizó manualmente con tijeras, el corte inicial fue necesario antes de la fase de molienda.

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización química de las fibras del bagazo cocido de *Agave angustifolia* Haw.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de las fibras.

Parámetro	Resultado
Densidad	414.7 kg/m ³
Diámetro del haz fibroso	501 µm
Longitud del haz fibroso	144 mm
Contenido de humedad	7.78 ± 0.37 %
Solubilidad en agua fría	2.66 ± 0.12 %
Solubilidad en agua caliente	4.39 ± 0.32 %
Solubilidad en NaOH al 1%	20.22 ± 0.27 %
Extractivos en etanol/tolueno	1.54 ± 0.11 %
Extractivos totales	5.30 ± 0.40 %
Lignina Klason	17.91 ± 1.02 %
Lignina Soluble	2.78 ± 0.35 %
Lignina total	20.69 ± 0.97 %
Holocelulosa	82.12 ± 0.49 %
Celulosa	48.04 ± 1.36 %
Hemicelulosa	34.08 ± 1.03 %
α-Celulosa	55.03 ± 0.33 %
Contenido de cenizas	1.28 ± 0.06 %

Fuente: Propia.

3.3 Elaboración del material compuesto

Para la elaboración de las películas se colocó la cantidad fibra requerida en las cajas de cristal de 15x15 cm, se utilizaron partículas con dos rangos de acuerdo a su tamaño y se consideró los tratamientos establecidos.

Se obtuvo un material compuesto agregando fibras a un polímero natural, con dos tipos de látex (natural y centrifugado), con diferentes porcentajes látex-fibra (50-50, 40-60 y 70-30%), y con distintos tamaños de partícula (600 y 300 µm).

El látex se agregó por gravedad. El curado se realizó bajo condiciones ambientales del laboratorio (24 °C y 38% HR), durante 72 h. Las películas del material compuesto obtenido se pueden observar en la Figura 5.

Figura 5. Película obtenida de material compuesto



Se evaluaron sus propiedades físicas y fisicoquímicas, se realizaron pruebas de tracción, se determinó su módulo de elasticidad, su esfuerzo último de tensión, el porcentaje de deformación unitaria y su capacidad de absorción de agua. Se analizaron mediante microscopía electrónica de barrido. Los valores encontrados en las pruebas mecánicas, muestran en todos los casos, valores que superan los encontrados en las mismas pruebas para las fibras individuales.

4. Conclusiones

Las fibras naturales han sido utilizadas desde la antigüedad, se han empleado como alimento, material de construcción, en la fabricación de utensilios, vestimenta, herramientas entre otros. Una de las mayores ventajas que presentan las fibras naturales es que pueden extraerse de la naturaleza, además están constituidas principalmente por celulosa y lignina. Se concluye que es posible dar valor agregado a las fibras a través de la elaboración de materiales compuestos.

Estas fibras pueden ser utilizadas en la elaboración de compuestos debido a su bajo costo, baja densidad y alta resistencia. Pueden dar rigidez y resistencia, son fáciles de reciclar y a diferencia de otras fibras, como la fibra de vidrio, no son quebradizas.

Actualmente, los materiales compuestos con fibras sintéticas, brindan a la industria propiedades mecánicas excepcionales; pero esos aspectos, favorables durante el período de uso, operan en contra al momento de su degradación. Por tal razón es necesario sustituir el tipo de fibra y de matriz utilizadas. Finalmente, queda claro que las fibras lignocelulósicas son un recurso renovable de gran disposición en el Estado de Oaxaca, son biodegradables, no generan gases tóxicos ni dejan residuo sólidos en combustión, su peso es aproximadamente un tercio de las fibras de vidrio, no producen abrasión en las máquinas de procesamiento, presentan un módulo de elasticidad muy bueno, y soportan altas temperaturas. Así mismo, se sabe que los materiales compuestos con agregados de fibras naturales son menos sensibles a las vibraciones, reducen el peso, el costo es menor, se pueden obtener superficies más lisas, y el proceso de producción es menos tóxico para los operarios ya que la fibra no se volatiliza. En este sentido el material compuesto desarrollado utilizando fibras de bagazo cocido de agave como agente de refuerzo y una matriz polimérica natural e inocua al medio ambiente, puede traer beneficios en todos los sentidos considerando lo expuesto.

5. Referencias

- Arrakhiz F.Z., El Achaby M., Malha M., Bensalah M.O., Fassi-Fehri O., Bouhfid R., Benmoussa K., & Qaiss A. (2013). Mechanical and thermal properties of natural fibers reinforced polymer composites: Doum/low density polyethylene. *Materials and Design*. 43, 200-205.
- Bessadok A., Marais S., Roudesli S., Lixon C., & Métayer M. (2008). Influence of chemical modifications on water sorption and mechanical properties of Agave fibers. *Journal composites: Part A: applied science and manufacturing*. 39, 29-45.
- Cazaurang-Martinez M. N., Herrera-Franco P. J., González-Chi P. I., & Aguilar-Vega M. (1991). Physical and mechanical properties of henequen fibers. *Journal of applied polymer science*. 43, 749-756.
- FAO (2004). Los efectos ambientales de las fibras duras y el yute en aplicaciones industriales no textiles. [Internet] Consulta sobre fibras naturales. [Consultado 08 de agosto 2014]. Disponible en: http://www.fao.org/es/esc/common/ecg/343/es/esc_4_sp.pdf.
- FAO. (2007). La evolución paralela de los precios del yute y las fibras duras con los precios del polipropileno y el petróleo crudo". [Internet] Consulta fibras naturales. [Consultado 26 de julio de 2014]. Disponible en: http://www.fao.org/es/esc/common/ecg/341/es/OILDOCUMENT_SPANISH.pdf
- John M. J., & Thomas S. (2008). Review. Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate polymers*. 71, 343-364.
- Kestur G. S, Guimaraes J. L., & Wypych F. (2007). Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. *Journal composites: Part A: applied science and manufacturing*. 38, 1694-1709.
- Li Y., Hu C., & Yu Y. (2008). Interfacial studies of sisal fiber reinforced high density polyethylene (HDPE) composites. *Journal composites: Part A: applied science and manufacturing*. 39(4), 570-578.
- Liu D., Song J., Anderson D., Chang P., & Hua Y. (2012). Bamboo fiber and its reinforced composites: structure and properties. *Cellulose*. 19, 1449-1480.
- Mishra S., Mohanty A. K., Drzal L. T., Misra M., & Hinrichsen G. (2004). A review on pineapple leaf fibers, sisal fibers and their biocomposites. *Macromolecular Materials and Engineering*. 289, 955-974.
- Reddy, N., & Yang, Y. (2005). Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. *Trends in biotechnology*. 23(1), 22-27.
- SAGARPA, SEDAF, & COMMAC. (2005). Plan rector del sistema producto maguey-mezcal. Oaxaca: COMMAC.
- Silva-Santos L. y Caballero-Caballero M. (2004). Desarrollo de tecnologías adecuadas para el proceso de fabricación del mezcal en el estado de Oaxaca. Informe técnico final del proyecto de investigación con clave CGPI-IPN: 20020524 – 20031488
- Tomczak F., Sydenstricker T.H.D. & Satyanarayana K.G. (2007). Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part II: Morphology and properties of Brazilian coconut fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 38:1710-1721

