



**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE  
RECURSOS NATURALES.**

**ACADEMIA DE INGENIERÍA.**

Innovación de un material biocompuesto para tapones  
de bebidas espirituosas, utilizando fibras de bagazo de  
*Agave angustifolia* Haw.

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**PRESENTA: ING. LUIS MIGUEL SILVA PÉREZ.**

**DIRIGE: DR. MAGDALENO CABALLERO CABALLERO.**



SIP-14

**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO**

*ACTA DE REVISION DE TESIS*

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 11 del mes de mayo del 2015 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada: "Innovación de un material biocompuesto para tapones de bebidas espirituosas, utilizando fibras de bagazo de *Agave angustifolia* Haw".

Presentada por el alumno:

<b>Silva</b> Apellido paterno	<b>Pérez</b> materno	<b>Luis Miguel</b> nombre(s)
Con registro: A 1 3 0 0 0 2		

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA  
 Director de tesis

Dr. Magdalene Caballero Caballero

Dr. Prisciliano Felipe de Jesús Cano Barrita

Dr. Francisco Castellanos León

Dr. Luis Héctor Hernández Gómez

Dr. Fernando Chinas Castillo

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dr. José Rogolfo Martínez y Cárdenas  
 Encargado de la Dirección

CENTRO INTERDISCIPLINARIO  
 DE INVESTIGACION PARA EL  
 DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
 C.I.I.D.I.R.  
 UNIDAD OAXACA  
 I.P.N.



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA CESION DE DERECHOS*

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 12 del mes mayo del año 2015, el (la) que suscribe Silva Pérez Luis Miguel, alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro A130002, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Magdaleno Caballero Caballero y cede los derechos del trabajo titulado: "Innovación de un material biocompuesto para tapones de bebidas espirituosas, utilizando fibras de bagazo de *Agave angustifolia* Haw", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: [posgradoax@ipn.mx](mailto:posgradoax@ipn.mx) ó [miguelsilva\\_21@hotmail.com](mailto:miguelsilva_21@hotmail.com) Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



Silva Pérez Luis Miguel

## RESUMEN.

El siguiente trabajo, es sobre el diseño, fabricación y caracterización de un nuevo material con respecto a norma de tapones de bebidas (UNE 56922:2004 en las pruebas de absorción de agua, desaglomeración, capilaridad externa usando soluciones de 38% y 55% Alc.Vol. y fuerza de extracción); siguiendo la tendencia global del estudio de los materiales biocompuestos, llamados así, ya que se trata de matrices poliméricas reforzadas con fibras naturales; en este caso las biofibras son a partir del desecho de la actividad productiva agave-mezcal (bagazo de *Agave angustifolia* Haw), tomando en cuenta los principios de la Producción Más Limpia (P+L) y las Tecnologías Adecuadas para el proceso de fabricación, ha resultado en un material que en la prueba de absorción de agua con un 31.79% de la masa inicial de probeta de un 12% permitido, en capilaridad externa con 38% Alc. Vol. con un 25.62% de la altura de probeta, ha acreditado la norma pues permite hasta un 33.33%, caso contrario en la prueba de capilaridad externa con 55% Alc. Vol. donde se registró un 47.98%; incluso no acreditando en la prueba de fuerza de extracción (entre 15 y 30 daN), con un registro de 4.54 daN, sin embargo no existió pérdida de líquido contenido y acreditó en la prueba de desaglomeración (no presentando pérdida de material en la prueba ni deformación geométrica). Al material se le realizó un subproceso de acabado; representando una mejora ya que en las pruebas de absorción de agua registró y aprobó con un 3.82%, en capilaridad externa aprobó en las soluciones con 38% y 55% Alc. Vol, registrando 31.26% y 32.77% respectivamente, no obstante en la prueba de fuerza de extracción registra 2.59 daN y presenta iguales resultados en cuanto la no pérdida de líquido contenido ni la desaglomeración. Se evaluó además el proceso de fabricación del material con acabado en aspectos dimensionales (diámetro, altura y masa) y funcional (en la fuerza de extracción registrada); donde se obtuvo según sus gráficos de control de datos individuales y rangos móviles un proceso bajo control. Se obtuvieron microscopías ópticas (10X), donde se aprecia una correcta dispersión de las fibras de refuerzo en la matriz polimérica. Se compararon ambos tratamientos en el aspecto visual, muy importante en el consumidor, donde el acabado representa también una mejoría.

**ABSTRACT.**

The following work is on the design, fabrication and testing of a new material with respect to standard of bottle seals, (UNE 56922:2004 in tests for water absorption, deagglomeration, external capillarity using solutions of 38% and 55% Alc.Vol. and Extraction Force); Following the global trend of the study of composite materials, so called because it is, polymeric matrices reinforced with natural fibers; in this case the biofibres are from the waste of mescal-agave productive activity (*Agave angustifolia* Haw bagasse); taking into account the principles of Cleaner Production (CP) and Appropriate Technologies for the manufacturing process, has resulted initially in a material with 31.79% of the initial mass of specimen of 12% allowed in water absorption test, in the external capillarity test with 38% Alc. Vol. was recorded 25.62% of the height of specimen has been credited as the standard allows up to 33.33%, otherwise the external capillarity test with 55% Alc. Vol. where 47.98% was recorded, do not even accredited testing extraction force (between 15 and 30 daN), with a record of 4.54 daN, however there is no loss of liquid content and credited on agglomeration test (without loss of material presenting proof or geometric deformation). The material was performed with a finishing subprocess; it represents an improvement since in water absorption tests has approved with a record of 3.82%; external capillarity test approved in solutions with 38% and 55% Alc. Vol, registering 31.26% and 32.77% respectively, however in testing extraction force recorded 2.59 daN and presents the same results as no loss of liquid content or deagglomeration. The manufacturing process of the material with finishing subprocess is also evaluated in dimensional (diameter, height and mass) and functional aspects (in the extraction force recorded), which is obtained according to their individual control and mobile ranges charts a process under control. Images with optical microscopy (10X) were obtained, where proper dispersion of the reinforcing fibers in the matrix was appreciated. Both treatments were compared in appearance, it is important for the consumer, where the finishing subprocess also represents an improvement.

Keywords: composite, agave bagasse, cork substitute, green composite

## **DEDICATORIA.**

A mi tía Flor Espinosa Pérez;  
por sembrar y cultivar, el ingenio y la inventiva a lo largo de mi infancia.

**AGRADECIMIENTOS.**

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada, Instituto Politécnico Nacional (IPN), por la beca tesis de posgrado, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca del I.P.N. (CIIDIR-Oaxaca), por los esfuerzos en el estado de Oaxaca.

Dr. Magdaleno Caballero Caballero  
Dr. Luis Héctor Hernández Gómez  
Dr. Prisciliano Felipe de Jesús Cano Barrita  
Dr. Francisco Castellanos León  
Dr. Fernando Chiñas Castillo

M.C. José Luis Montes Bernabé  
Dra. Luicita Lagunez Rivera  
Dr. Rafael Herrera Becerra  
Dr. Mario Valera Zaragoza  
Dr. Celerino Robles Pérez

Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez, M.C. María de los Ángeles Ladrón de Guevara Torres, Dr. Víctor Guillermo Jiménez Quero, Dr. Guillermo Manuel Urriolagoitia Calderón.

M.C. Margarito Ortíz Guzmán, M.C. Frank Manuel León Martínez, M.C. Martín Hidalgo Reyes, M.C. Agustín Vidal Gómez Guerrero, M.C. María Eugenia Silva Rivera, M.C. Luis Silva Santos.

M.C. Lourdes Soledad Bazán Díaz  
M.C. Rubén Mendoza Cruz  
Ing. Andy Alfonso Olivera  
Ing. Martha Salomé Martínez Bautista  
Belem Erika González Hernández  
Betzy Itandehui Cruz García  
Edgar Omar García Ferrera

Iris Anabel Rosas Castellanos

Doña Juana Elvira Espinosa Aguilar (+)  
Don Eleazar Silva Peralta  
Lic. Hermelinda Reyna Pérez Espinoza  
C.P. Marycruz Silva Pérez  
Lic. Luz Divina Pérez Espinoza  
Sra. Victoria Carreño Hernández  
Sr. Esteban Alejandro Morales  
Jesús Alejandro Morales Carreño

M.C. Karen Andrea Martínez Bolaños, Biólogo. Alejandra Martínez Sánchez, Ing. Estefanía Cruz García, M.C. Leonardo Arturo García García, M.C. Edwin Antonio Ojeda Olivares, M.C. Jonás Álvarez Lópezello

**ÍNDICE GENERAL.**

ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
PROBLEMÁTICA.....	xii
JUSTIFICACIÓN.....	xiii
HIPÓTESIS.....	xiv
OBJETIVOS.....	xv
OBJETIVO GENERAL.....	xv
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	xv

**CAPÍTULO 1 Caracterización de un Biocompuesto de Fibras de Agave y Látex.  
Desarrollos de Ingeniería Agrícola en América Latina..... 1**

1.1. Introducción.....	16
1.2. Materiales y Métodos.....	6
1.3. Resultados y discusión.....	18
1.4. Conclusiones.....	12
1.5 Referencias.....	13

**CAPÍTULO 2 Proceso de fabricación del material biocompuesto, así como la  
mejora para el material con acabado,..... 14**

**CAPÍTULO 3 Pruebas de funcionalidad (absorción de agua, desaglomeración,  
capilaridad externa, fuerza de extracción) del material biocompuesto y el material  
biocompuesto con acabado para tapones de bebidas espirituosas, utilizando fibras  
de bagazo de *Agave angustifolia* Haw. .... 15**

3.1. Introducción.....	16
3.2. Materiales y Métodos.....	17
3.3. Resultados y discusión.....	18



3.4. Conclusiones.....	27
3.5 Referencias.....	28
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	31
REFERENCIAS. ....	32
ANEXO 1. Tablas de resultados en las pruebas de absorción de agua, capilaridad externa (en soluciones al 38% y 55% Alc. Vol.), fuerza de extracción (con solución al 55% Alc. Vol.) y mediciones de absorción de la solución posterior a la prueba de fuerza de extracción .....	36
ANEXO 2. Productividad .....	40

**ÍNDICE DE FIGURAS.**

Figura 1. Medición del diámetro de las probetas .....	8
Figura 2. Amoldado en cuello de botellas estándar .....	12
Figura 3. Probeta posterior a la prueba de desaglomeración .....	12
Figura 4. El bagazo colectado y las fibras útiles .....	18
Figura 5. Microscopías ópticas (10X) de la dispersión de las fibras en la matriz .....	26
Figura 6. Comparativo visual de los tratamientos en las probetas después de la prueba de fuerza de extracción .....	27

**ÍNDICE DE TABLAS.**

Tabla 1. Resultados de las pruebas al material biocompuesto .....	19
Tabla 2. Resultados de las pruebas al material con acabado .....	19
Tabla 3. Resultados de la prueba de absorción de agua, para el material biocompuesto .....	37
Tabla 4. Resultados de la prueba de absorción de agua, para el material con acabado .....	37
Tabla 5. Resultados de la prueba de capilaridad externa con soluciones al 38% y 55% Alc.Vol., para el material biocompuesto .....	37
Tabla 6. Resultados de la prueba de capilaridad externa con soluciones al 38% y 55% Alc.Vol., para el material con acabado .....	38
Tabla 7. Resultados de la prueba de fuerza de extracción con solución al 55% Alc.Vol., para el material biocompuesto .....	38
Tabla 8. Resultados de la prueba de fuerza de extracción con solución al 55% Alc.Vol., para el material con acabado .....	38
Tabla 9. Resultados de absorción de solución al 55% Alc.Vol., para el material biocompuesto; posteriormente a la prueba de fuerza de extracción .....	39
Tabla 10. Resultados de absorción de solución al 55% Alc.Vol., para el material con acabado; posteriormente a la prueba de fuerza de extracción .....	39

## INTRODUCCIÓN.

En los últimos años, en el CIIDIR Unidad Oaxaca del IPN, se han venido realizando diversas investigaciones alrededor del proceso productivo agave-mezcal; ya que es de las principales actividades económicas del estado. En este caso específico la sección de tecnologías adecuadas<sup>1</sup>; ha venido estudiando dicho proceso desde diversos puntos de vista, por ejemplo; el desarrollo de maquinaria para el proceso mismo (Silva Santos, Caballero Caballero 2004; Caballero Caballero, Silva Santos, Montes Bernabé 2008; Caballero Caballero, Silva Santos, Montes Bernabé 2011), así como en otros subprocesos, para mejorar la eficiencia del proceso productivo (Caballero Caballero, Silva Santos, Montes Bernabé 2013). Lo anterior ha ido progresando en el aprovechamiento integral del agave; ya que en dicho proceso, se generan desperdicios y desechos (caso específico del bagazo y hojas de *Agave angustifolia* Haw<sup>2</sup>) que pueden ser aprovechados; siendo necesario para esto; investigaciones de características específicas como son propiedades mecánicas de las fibras (Caballero Caballero, Silva Santos, et al. 2008; Cortés 2009), que a estudios previos de materiales compuestos, ha sido de utilidad; y se han demostrado beneficios para el caso de adobes reforzados (Montes Bernabé 2009).

Este estudio aprovechará las fibras de bagazo de *Agave angustifolia* Haw ya caracterizadas y con un proceso de aprovechamiento estándar (Caballero Caballero, Montes Bernabé, Silva Rivera 2014), para diseñar, fabricar un material compuesto; con base en las investigaciones de biomateriales y biofibras a nivel global (Satyanarayana, Arizaga et al. 2009; Faruk, Bledzki et al. 2012; Dicker, Duckworth et al. 2014; Nair, Joseph 2014), para caracterizarlo con base a la norma de calidad UNE 56922, en la aplicación de tapón de botellas, en sustitución a materiales de corcho, para contener bebidas espirituosas (destiladas), caso concreto del mezcal producido artesanalmente en Oaxaca.

---

<sup>1</sup> Tecnologías Adecuadas (TA's), que de acuerdo a la definición de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) es "La tecnología que más contribuye a los objetivos económicos, sociales, y de preservación del medio ambiente, teniendo en cuenta las metas del desarrollo, los recursos y las condiciones de aplicación en cada país".

<sup>2</sup> Mejor conocido como "Agave Espadín", ocupando en 2014 el 77.4% de la producción según COMERCAM. Por su rendimiento de 10kg de agave por litro de mezcal producido.

## **PROBLEMÁTICA.**

En México existen siete estados productores de mezcal con denominación de origen, cuyo órgano principal es el COMERCAM A.C.<sup>3</sup>, el cual destaca a Oaxaca, como principal productor con aproximadamente el 93.7% de la producción nacional registrada<sup>4</sup>.

Por cuestiones de mercadotecnia; el uso de un concepto de envase tipo licorera de vidrio, que utiliza tapones reusables hechos de corcho natural, aglomerados de corcho<sup>5</sup>, y otros materiales funcionales, es decir: sustitutos del corcho, derivados del petróleo, se ha ido incrementando en el mezcal oaxaqueño. En 2013, de 191 tipos de mezcal expendidos en la “XVI Feria Internacional del Mezcal”, 102 utilizaron el tapón tipo “T”<sup>6</sup>; de los cuales 28 de estos, emplearon un material funcional sellante; para no usar materiales de corcho; para 2014 de 198 tipos de mezcal expedidos en la “XVII Feria Internacional del Mezcal”, 124 utilizaron este tapón, de los cuales, 53 emplearon un material funcional sellante ya que, la disponibilidad de los tapones de materiales de corcho es escasa y/o costosa; resaltando el aspecto de los periodos de entrega, que rondan entre las dos y cuatro semanas, impidiendo la agilización en la venta y comercialización del producto. Así también, el principal aspecto del precio, el cual ronda entre \$2.00 hasta \$8.00 M.N. por pieza, teniendo los mejores precios en pedidos mínimos de 5000 piezas, los cuales en muchos casos, son pedidos incosteables para productores artesanales de mezcal en Oaxaca; y los cuales recurren a otro tipo de tapones como taparroscas plásticas y metálicas, o tapas de seguridad con dispositivo antirrelleno que usan materiales plásticos y metálicos, las que aunque representan un bajo costo, se requiere la compra del conjunto tapa-botella y en algunos casos maquinaria para la colocación de las tapas.

---

<sup>3</sup> Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal A.C.

<sup>4</sup> En 2014 Oaxaca produjo 1 123 629.73 L de 1 451 718.0 L totales producidos en 2014.

<sup>5</sup> El Banco de México reportó; en 2014, la balanza comercial de la fracción arancelaria capítulo 45 (Corcho y sus manufacturas), alcanzó un monto negativo de \$364 068 356.00 M.N.

<sup>6</sup> Constando de un cuerpo cilíndrico que se inserta en el cuello de la botella, para sellar dicho recipiente, adherido a otra pieza de diferente material y diámetro superior, sirviendo ésta, para asir dicha pieza y poder destapar el recipiente, dicho producto es reusable.

## JUSTIFICACIÓN.

Debido a la crisis global por la disminución de los recursos petroleros, diversas investigaciones y estudios en estos últimos años, se han enfocado en la utilización de recursos lignocelulósicos<sup>7</sup> (Álvarez-Castillo, Santos-Delgado et al. 2012); en combinación y refuerzo con otros polímeros plásticos, por ejemplo el polipropileno, el poliestireno, etc. (Satyanarayana, Arizaga et al. 2009; Faruk, Bledzki et al. 2012), para diversos usos, los más destacados son en la industria automotriz y de la construcción (Jacob, Thomas 2008, Molinar-Higuera, Jordán-Hernández, Munive 2010). Generalmente se tratan de fibras, reforzando diversos polímeros, tanto derivados del petróleo, como completamente biodegradables, llamados materiales compuestos verdes (Jacob, Thomas 2008); y estos son caracterizados en diversas propiedades mecánicas (Shalwan, Yousif 2012); siendo la más común la prueba de tensión.

Al final de la producción de mezcal, el residuo principal es el bagazo de agave; el cual se compone principalmente de celulosa (43%), hemicelulosa (19%), lignina (15%), azúcares (10%), entre otros (Zárate 2006). Entonces ubicándonos en la tendencia global del estudio y la aplicación de materiales compuestos; se usarán las fibras del bagazo de *Agave angustifolia* Haw, puesto que, por las grandes cantidades en las que se genera<sup>8</sup>, constituye una materia prima barata y disponible para la generación de un producto funcional sustituto del corcho en tapones de botellas de mezcal; dándole un valor agregado a un residuo de la misma actividad productiva, caracterizando dicho producto en una aplicación comercial. Ya que los materiales sustitutos del corcho, que se han venido usando, presentan los inconvenientes, de no ser biodegradables y no presentar características visuales acordes a los materiales de corcho, aspectos cada vez más preponderantes en el mercado extranjero; en cuanto a los materiales de corcho (natural y aglomerado), al usarse estos de baja calidad, el tapón presenta rupturas y desprendimientos ante la manipulación del cliente.

---

<sup>7</sup> Materiales de origen natural, conformados mayormente por lignina y celulosa.

<sup>8</sup> Cortés determinó que por cada kilogramo de agave, el peso en fibras desperdiciado, corresponde a un 3.46% entonces, si en 2014, se utilizaron 14 517 180 kg de agave, se desperdiciaron más de 502 toneladas (502 294.43 kg) de fibra de bagazo

**HIPÓTESIS.**

Si se elabora un material compuesto de fibras de *Agave angustifolia* Haw y de hule natural (cis-1, 4 isopreno) al 50% de concentración volumétrica, se tendrá entonces un material con características similares al corcho y adecuadas para sellar botellas de mezcal, acorde a la norma UNE 56922:2004 del ICSURO<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Institut Catalá del Suro, es el Instituto Catalán del Corcho

**OBJETIVOS.****OBJETIVO GENERAL.**

Desarrollar un material biocompuesto aglomerado de fibras de *Agave angustifolia* Haw y hule natural; para caracterizarlo con base a la norma UNE 56922:2004 y ponderar su desempeño en el sellado de botellas de mezcal.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

Seleccionar el proceso de obtención de la fibras a partir del bagazo de *Agave angustifolia* Haw.

Analizar la compatibilidad del hule natural como la matriz polimérica a usar en el nuevo material, tomando en cuenta su conveniencia ecológica y económica.

Diseñar el proceso de elaboración de probetas cilíndricas del nuevo material.

Ponderar las pruebas de la norma de aplicación, para la funcionalidad del producto propuesto.

Elaborar pruebas a los especímenes del material acordes a la norma.

Comparar los valores obtenidos en pruebas físicas, con los intervalos aceptables que contempla la norma.

## CAPÍTULO 1.

"Caracterización de un Biocompuesto de Fibras de Agave y Látex". Ed. Romantchik-Kriuchkova, E., López-Canteñs, G.J., Fitz-Rodríguez, E., eds. *Desarrollos de Ingeniería Agrícola en América Latina*. Ed. Univ. Aut. Chapingo, Méx., Dpto. Ing. Méc. Agr. 1ª ed. pp. 1896-1904. ISBN: ISBN: 978-607-12-0356-4.

En este capítulo, se comprueba la compatibilidad fibra de bagazo de *Agave angustifolia* Haw y hule natural (cis 1, 4 isopreno), con base a la norma ICSURO 1993 (UNE 56922:2004), demostrando resultados favorables, recomendando la mejora del proceso de fabricación de probetas, el cual es inconveniente.





# **DESARROLLOS DE INGENIERÍA AGRÍCOLA EN AMÉRICA LATINA**



Alfonso Martínez, Guantchik, Kirochikova,  
Gilberto de Jesús López Cárdenas,  
Eugen Tito Rodríguez  
Editores - compiladores



**MÉXICO  
2014**



**Eugenio Romantchik Kriuchkova**

**Gilberto de Jesús López Canteñs**

**Efrén Fitz Rodríguez**

Editores – compiladores

***DESARROLLOS  
DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
EN AMERICA LATINA***

Universidad Autónoma Chapingo,  
Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola

**Editores – compiladores:**

Eugenio Romantchik Kriuchkova  
Gilberto de Jesús López Canteñs  
Efrén Fitz Rodríguez

**Maquetación y digitalización:**

Oscar Omar Orozco Sánchez  
Edgar Ramírez Galiano

**Primera edición, septiembre 2014**

**ISBN: 978 - 607- 12 - 0356 - 4**

Universidad Autónoma Chapingo,  
Km. 32.6, Carretera México – Texcoco,  
Chapingo, Texcoco, Edo de México  
México, C.P. 56230

Departamento de Ingeniería  
Mecánica Agrícola, tel. (595)9521679

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros medios, sin el permiso previo y por escrito de la institución. Las ideas, datos y opiniones expresadas en cada artículo son responsabilidad exclusiva de cada autor.

**Digitalizado en México**

### 5.1.12 CARACTERIZACIÓN DE UN BIOCOMPUESTO DE FIBRAS DE AGAVE Y LATEX

MAGDALENO CABALLERO CABALLERO; LUIS MIGUEL SILVA PEREZ; JOSÉ LUIS MONTES BERNABÉ<sup>1</sup>; MARÍA EUGENIA SILVA RIVERA

<sup>1</sup> Maestro en ciencias en conservación y aprovechamiento de los recursos naturales, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, calle Hornos No. 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P.71230, tel. y Fax: (52) 951 5170610 e-mail: jimberma66@yahoo.com.mx

**RESUMEN.** Este trabajo determinó las características físicas de un biocompuesto a base de fibras de *Agave angustifolia* Haw, para sellar botellas de bebidas espirituosas. Las fibras en verde se obtuvieron de las hojas del agave, en tanto que las cocidas se obtuvieron del bagazo; ambas consideradas desperdicio y residuo. Hasta ahora este material en Oaxaca, México, no tiene uso industrial. Para llevar a cabo el estudio, las fibras se lavaron, secaron y cortaron a diferentes tamaños. Para tener mejor cohesión con la matriz, las fibras se trataron con una solución al 0.5N de Hidróxido de Sodio y se utilizó como matriz látex natural. Se determinó una masa de 1.3 g de fibra por probeta y se elaboraron 11 probetas de diferentes características visuales y tiempos de elaboración, con 69.23 % de látex y 30.77 de fibra en 5 ml. Se realizaron pruebas físicas: de desaglomeración, absorción de agua; dimensiones de altura, diámetro y masa; todas según la Norma del Instituto Catalán del Corcho (ICSURO, 1993). Finalmente, se encontró que los resultados obtenidos están dentro del rango establecido por la norma, lo que permite concluir que este material elaborado puede sustituir al corcho para elaborar tapones de botellas para bebidas espirituosas.

**PALABRAS CLAVE:** Sello de botellas, sustituto del corcho, aprovechamiento de desperdicios.

#### CHARACTERIZATION OF A BIOCOMPOSITE AGAVE FIBERS AND LATEX

**ABSTRACT:** This study determined the physical characteristics of a biocomposite based *Agave angustifolia* Haw fibers to seal bottles of spirits. The green fibers were obtained from the leaves of agave, while cooked were obtained from bagasse; both considered waste and residue. So far this material in Oaxaca, Mexico, has no industrial use. To conduct the study, the fibers are washed, dried and cut to different sizes. To have better cohesion with the matrix, the fibers were treated with a solution of 0.5N sodium hydroxide and used as natural latex matrix. A mass of 1.3 g of fiber per specimen was determined and 11 samples of different visual characteristics and production times, with 69.23% 30.77% latex and fiber in 5 ml was prepared. Physical tests were performed: deagglomeration, water absorption; dimensions of height, diameter and mass; all according to Standard Catalan Cork Institute (ICSURO, 1993). Finally, it was found that the results obtained are within the range established by the standard, leading to the conclusion that this material can be made to develop replace cork bottle stoppers in order to seal spirits.

**KEYWORDS:** Seal bottles, cork substitutes, use of waste and residue

## INTRODUCCIÓN

El mezcal es una bebida regional obtenida por destilación y rectificación de mostos preparados directa y originalmente con los azúcares extraídos de las cabezas maduras de los agaves (*Agave angustifolia* Haw, *Agave esperima jacobii*, *Agave weberi* cela, *Agave patatorum* zucc, *Agave salmiana* Otto Ex *Salm SSP Crassispina* (trell) Gentry y otras especies de agave, siempre y cuando no sean utilizadas como materia prima para otras bebidas de origen dentro del mismo estado) previamente hidrolizadas o cocidas, y sometidas a fermentación alcohólica con levaduras, cultivadas o no, siendo susceptible de ser enriquecido (NOM-070-SCFI-1994). Actualmente se puede agrupar a los productores de mezcal en Oaxaca en cuatro grandes categorías: Pequeños tradicionales, microindustriales, industriales y macroindustriales, cada una con diferente acceso a recursos económicos, políticos, sociales y culturales. En las zonas rurales hay pequeños y medianos productores de agave y de mezcal, que producen para el autoconsumo y para la venta a granel a pequeña escala (Pool e Illsley, 2010). La industria del mezcal genera desperdicios y desechos desde que se cortan las hojas al agave, hasta la producción de bagazo en la fase de destilación; estos materiales están integrados por fibra y pulpa, con los cuales pueden elaborarse productos de tipo industrial con alto valor agregado (González et al., 2005). En los últimos años se han realizado investigaciones para el desarrollo de técnicas para el aprovechamiento integral del bagazo del maguey espadín azul (*Agave angustifolia* Haw), que se compone principalmente de celulosa (43%), hemicelulosa (19%), lignina (15%), azúcares (10%), entre otros. Dadas las cantidades en que se generan y que solamente es usado como alimento de animales y abono para los cultivos, se pretende utilizar la fibra natural (bagazo) en refuerzo de matrices plásticas, como materia prima para la elaboración de un tapón que pueda ser empleado en envases de vidrio (botellas), debido a sus características y a sus propiedades físico-mecánicas. Los materiales compuestos de bio-polímeros reforzados con fibras naturales, son flexibles durante su procesamiento, su rigidez es altamente específica y son de bajo costo. Actualmente, una alternativa notable para este uso, es el corcho, que es un material de uso generalizado como tapón por la industria de bebidas a nivel mundial. El corcho es un tejido vegetal formado por células muertas extraídas del tronco y ramas del alcornoque, pero es importado por México del mayor productor a nivel mundial que es Portugal, seguido por España, Argelia y Marruecos (PEFC. 2010).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración de un material compuesto son necesarios tres elementos: 1. La matriz, que en este caso particular fue polimérica, y se tratará de hule natural; 2. La fibra de refuerzo, se utilizó fibra de bagazo y 3. La intercara, que fue el tratamiento químico, para incrementar la rugosidad en la superficie de las fibras.

Obtención de fibras de bagazo de *Agave angustifolia* Haw. Las fibras de celulosa se obtuvieron de los residuos lignocelulósicos (bagazo) de las "piñas" de *Agave angustifolia* Haw utilizadas en la producción de Mezcal en un palenque de la población de San Juan Guelavía, Tlaxiaco, Oaxaca. Se aplicó el método de cuarteo para la selección de muestra del bagazo, según la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-61. Obtenido el material se

procedió al lavado y secado para continuar con el cortado de los diferentes tamaños de la fibra, así como su pulverización.

**Corte de las fibras.** Se realizó a mano con tijeras de acero inoxidable, para la longitud de 3 mm promedio, esto debido a la geometría de las probetas (Specht et al., 2006) según citado por (Faruk et al., 2012), realizándose las mediciones con un Calibrador con Vernier Digital, Marca Mitutoyo 0-150mm con resolución de 0.01 mm.

**Tratamiento superficial.** Se trataron todas las fibras en una solución acuosa al 0.5N de Hidróxido de Sodio (20 g de NaOH por cada litro de agua destilada) por 4 h a temperatura ambiente (Bisanda, 2000). Con el propósito de aumentar la rugosidad de la superficie de las fibras y así tener mejor cohesión con la matriz.

**Matriz polimérica.** Para este estudio, se utilizó en la experimentación, látex natural (Jacob et al., 2004) de la región de la Cuenca del Papaloapan, Oaxaca; que fue tratado con amoníaco comercial con una concentración que se desconoce.

**Concentración de fibras en volúmenes de los especímenes.** La literatura menciona que los mejores resultados en los compositos se presentan con una concentración en volumen que va del 40 % hasta el 80 % en materiales probados generalmente a esfuerzos de tensión (Balam-Cocom et al., 2005).

Debido a esto, se realizaron ensayos previos y la probeta que obtuvo características visuales deseadas fue la del 50 % de concentración del volumen total del espécimen. No obstante, el volumen de látex líquido no alcanzó a mojar a toda la fibra de agave, por lo que se aumentó el volumen de aglomerante de 4 a 9 ml.

**Elaboración de especímenes.** Se determinó la cantidad y densidad de la fibra de bagazo a usar en cada probeta, si cada molde tenía un diámetro de 18.5 mm y un largo de 30 mm y el volumen ocuparía el 50 %.

Con base al volumen del molde de 8.06 ml y los datos generados por Cortés (2009), así como la determinación de la masa de una fibra igual a  $6.67 \times 10^{-3}$ ; se obtuvo una densidad de fibra de 0.3293 g/cm<sup>3</sup>. Entonces se calculó una masa de 1.3 g de fibra por probeta.

Ante inconvenientes, en el proceso, se procedió a un moldeo individual y esperar una coagulación del látex líquido a temperatura ambiente (Yescas, 2012). Para esto se utilizaron como moldes cuellos de botella de vino estándar, vertiendo la mezcla de látex-fibra a dicho molde, como se muestra en la Fig. 2.

Finalmente se elaboraron un total de 11 probetas de diferentes características visuales y con diferentes tiempos de elaboración, con 69.23 % de látex y 30.77 % de fibra en un volumen de 5 ml.

**Dimensión de las probetas.** Se prosiguió a las pruebas físicas en base a la Norma del Instituto Catalán del Corcho (ICSURO, 1993):

**Diámetro.** Se midieron con un calibrador con vernier (pie de rey) con una precisión de medida de 0,05 mm, realizando dos lecturas, Fig. 1.



**Fig. 1** Medición del diámetro de las probetas.

**Altura.** Se midieron con un calibrador con vernier (pie de rey) con una precisión de medida de 0,05 mm, realizándose dos lecturas.

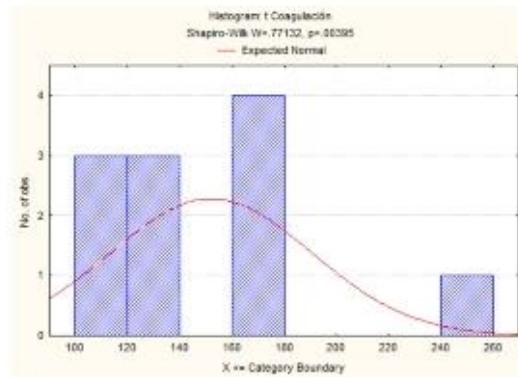
**Masa.** Se pesaron las probeta en una báscula digital ACCULAB VI-4800 con un rango de 0 a 4800 g y una resolución de 0.1 g.

**Absorción de agua.** Se hirvieron los especímenes en agua destilada a 92.59 °C durante 10 minutos, al final se dejaron enfriar hasta la temperatura ambiente; se tomó lectura de su peso final. La norma recomienda no aceptar una absorción de agua superior al 12 % de su peso, medido en las condiciones ambientales, así también especifica una temperatura de 100 °C, ésta no se pudo alcanzar durante las pruebas; ya que se elaboró en un vaso de precipitados, por ello también se registran las temperaturas promedio alcanzadas durante cada prueba de cada espécimen.

**Pruebas de desaglomeración.** Se hirvieron los especímenes en agua destilada a 92.59 °C durante 30 minutos, y se comprobó visualmente si se produjo o no desaglomeración.

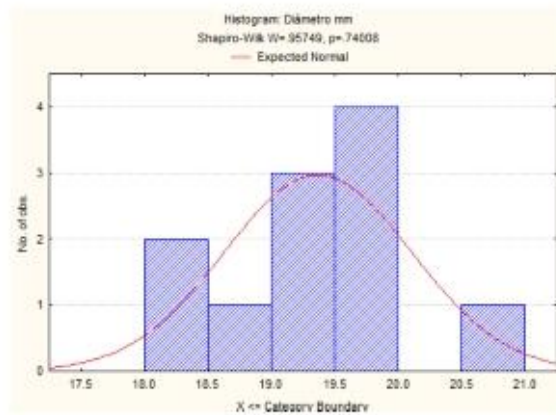
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las pruebas físicas hechas en el compuesto resultante (látex – fibras), demostraron que se necesita otro proceso de elaboración del material, puesto que mediante una prueba de normalidad Shapiro-Wilks, utilizando el software Statistica 8.0; del tiempo de coagulación del látex, se obtuvo un valor de  $p < 0.05$ , por lo que los datos no se apegan a una distribución normal, como se muestra en la Gráfica 1, lo que se puede interpretar como un proceso no estandarizado, que no permite un escalamiento por la variación del tiempo de coagulación, con una media de 152.09 h y una desviación estándar de 38.5 h, un máximo de 253 h y un mínimo registrado de 117 h.



**Gráfica 1. Tiempos de coagulación. Prueba de Normalidad Shapiro-Wilks.**

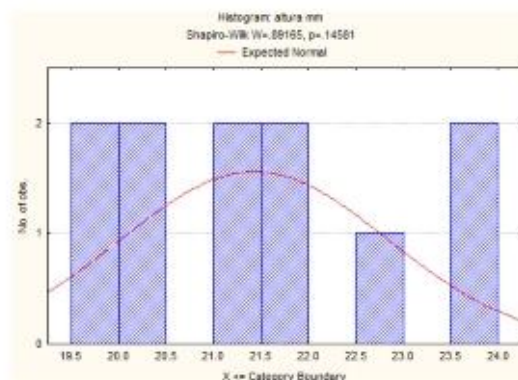
En cuanto a las dimensiones de las probetas, mediante pruebas de normalidad Shapiro-Wilks se determinó que los moldes utilizados para la elaboración de los mismos, colaboraron a un estándar en el diámetro de los especímenes, con una media de 19.37 mm y una desviación estándar de 0.74 mm, apegándose a una distribución normal como se muestra en la Gráfica 2.



**Gráfica 2. Diámetros de Probetas. Prueba de Normalidad Shapiro-Wilks.**



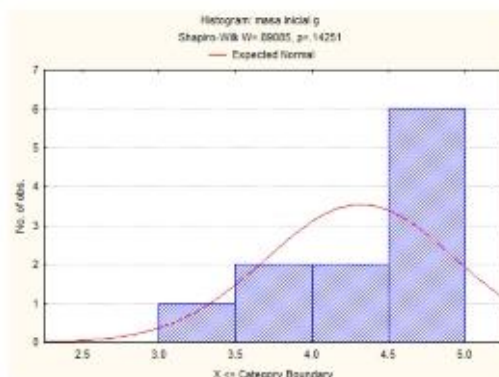
En las otras dos dimensiones tomadas, en la altura de las probetas se observó que el látex líquido al coagular redujo en promedio un 87.73 % de volumen, lo que afectó notablemente a la medida antes mencionada, que aunque resultó con una media de 21.43 mm y una desviación estándar de 1.41 mm, y apegarse estadísticamente a una distribución normal mediante una prueba Shapiro-Wilks (Gráfica 3); no se obtuvo la altura que se estimó, desde un principio, la cual era de aproximadamente 30 mm.



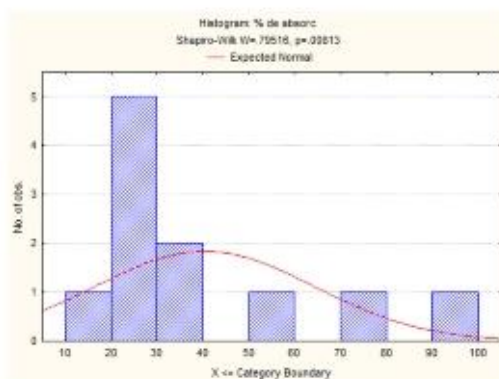
**Gráfica 3. Altura de Probetas. Prueba de Normalidad Shapiro-Wilks.**

En lo que respecta en la masa, con una media de 4.32 g y una desviación estándar de 0.62 g, se le realizó de igual manera una prueba de normalidad, la cual expresó que sí se apega a una distribución normal por el método de Shapiro-Wilks ( $p=0.1425$ ), Gráfica 4.

En la prueba de absorción de humedad realizada para cada una de las probetas elaboradas, el total de los resultados son negativos, ya que en todos los casos se sobrepasó el 12 % de absorción de agua con respecto a la masa inicial de los especímenes que acepta la norma. Esto debido a que durante la coagulación del látex a temperatura ambiente, ocurre una flotación de dicho polímero por lo que no alcanza a cubrir en su totalidad las fibras de refuerzo, y debido a la naturaleza hidrofílica de éstas, se absorbe en mayor medida agua de la permitida por la ya mencionada norma. La prueba de Shapiro-Wilks rechaza la normalidad de los datos ( $p=0.008$ ,  $p<0.05$ ; lo que determina el rechazo de la normalidad); además que al tener una media muestral de 40.40 % y una desviación estándar de 23.89 %, denota una variación entre muestra y muestra muy grande, Gráfica 5.



**Gráfica 4. Masa de Probetas. Prueba de Normalidad Shapiro-Wilks.**



**Gráfica 5. Absorción de Probetas. Prueba de Normalidad Shapiro-Wilks.**

La prueba de desaglomeración, en todos los casos resultó favorable a los componentes del material, ya que no hubo señales de pérdida de material ni de deformación por la temperatura. El proceso emergente, en el que se utilizó un molde de vidrio y dejando coagular las probetas a temperatura ambiente (Fig. 2), resultó escasamente favorable en cuanto aspecto visual de dichos especímenes, (Fig. 3). Sin embargo en ningún caso hubo desaglomeración, el látex natural resultó ser confiable como aglomerante de las fibras de *Agave angustifolia* Haw.



**Fig. 2 Amoldado en cuello de botellas estándar.**

### **CONCLUSIONES**

El látex natural resultó un aglomerante con características deseables para el material que se pretendía elaborar, aunque en el estado que se trabajó, generó muchos inconvenientes para la elaboración del material, que por su coagulación irregular no cubrió en su totalidad a las fibras de *Agave angustifolia* Haw, entonces es preciso recalcar aquí, que dicho aglomerante, se debe conseguir en otro estado, ya sea en estado recién extraído, o en una solución con menos concentración de disolvente, en los siguientes estudios no se debe utilizar el amoníaco como tal, existe la opción de que el disolvente sea el mismo hidróxido de sodio (NaOH), para que este material pueda ser usado en la industria alimentaria.

Lo que respecta a la longitud de las fibras, se puede concluir que la utilizada (menor a 3 mm), generó deseables resultados en la prueba de desaglomeración, y en la distribución al azar en la matriz de látex, aunado el tratamiento superficial de NaOH a 0.5N de concentración, se puede considerar factor para los resultados ya mencionados.

La norma catalana ICSURO 1993, considera otras pruebas físicas, se recomienda mejorar el proceso de elaboración del material, en base al estado del látex, así como avanzar en pruebas físicas recomendadas por la norma antes mencionada.



**Fig. 3 Probeta No. 1 posterior a la prueba de desaglomeración.**

**REFERENCIAS**

- Balam-Cocom, R. J., Duarte-Aranda, S. y G. Canché-Escamilla. 2005. Obtención y caracterización de materiales compuestos de fibras de la "piña" de henequén y polipropileno. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* Vol. 5, Supl. 1 (6): 39-445.
- Bisanda, E. 2000. "The effect of alkali treatment on the adhesion characteristics of sisal fibres." *Applied Composite Materials* 7(5-6): 331-339.
- Cortés, C. I. 2009. "Propiedades Mecánicas a tensión de las fibras del bagazo del Agave *Angustifolia* Haw, residuo proveniente de la producción artesanal del mezcal. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. México." Tesis de maestría, CIIDIR Oaxaca, IPN.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & M. Sain. 2012. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552-1596.
- González, G. Y., González, R. O., & A. J. Nungaray. 2005. Potencial del bagazo de Agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos. *e-Gnosis [online]* Vol.3, Art.14, -1/18-ICSURO. 1993. N.C.S. O. 12/93 Tapones de corcho aglomerado para vinos tranquilos. Institut Catalá del Suro: 8.
- NOM-070-SCFI-1994. Norma Oficial Mexicana. Bebidas Alcohólicas. Mezcal. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/noficiales/NOM-070-SCFI-1994.PDF>
- PEFC. 2010. Estudio de las necesidades para la diversificación económica del corcho en los mercados. España, 82pp.
- Pool-Illsley Emilia y Catarina Illsley-Granich. 2010. La Dinámica Territorial de la Zona Mezcalera de Tlacolula-Ocotlán en Valles Centrales de Oaxaca: entre la Cultura y el Comercio. RIMISP-GEA. México. 31pp.
- Specht, K., Bledzki, A.K., Cescutti, G., & J.Müssig. 2006. Injection moulded natural fibre reinforced PP –influence of compounding processes. In: *Proceedings of the 6th global wood and natural fibre composites symposium*. p.A5/1–9.
- Yescas, Y. A. 2012. Estudio de la dispersión de nanoarcillas organomodificadas y de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) en hule natural. Tesis de Licenciatura, Universidad del Papaloapan, 105pp.

## **CAPÍTULO 2.**

Proceso de fabricación del material biocompuesto, así como la mejora para el material con acabado,

Este capítulo se obvia en base al artículo 57° del Reglamento de Estudios de Posgrado del I.P.N., en el que permite la confidencialidad para protección intelectual o industrial de la redacción de la tesis. Ya que dicho material y proceso de fabricación se encuentra en revisiones por el Centro de Patentamiento IMPI-IPN “Ing. Guillermo González Camarena”, para dicha protección.

### **CAPÍTULO 3.**

Pruebas de funcionalidad (absorción de agua, desaglomeración, capilaridad externa, fuerza de extracción) del material biocompuesto y el material biocompuesto con acabado para tapones de bebidas espirituosas, utilizando fibras de bagazo de *Agave angustifolia* Haw.

### **3.1. Introducción.**

Hoy en día, existe una tendencia global en el desarrollo e investigación de los materiales compuestos, en especial a matrices poliméricas reforzadas con fibras naturales (Satyanarayana, Arizaga et al. 2009; Faruk, Bledzki et al. 2012; Dicker, Duckworth et al. 2014). Estas fibras de origen vegetal están siendo ampliamente investigadas, ya que cuentan con alta resistencia específica, baja densidad, alta dureza, mejores propiedades térmicas en comparación a la mayoría de las fibras sintéticas; además de que en maquinados reducen desgaste de la herramienta y se tiene mayor facilidad de procesamiento, además de presentarse irritación respiratoria baja y mayor seguridad en operadores (Nair, Joseph 2014), destacando que son un recurso natural renovable. Actualmente se han ido desarrollando productos gracias estas investigaciones, sobre todo en la industria automotriz (Alves, Ferrão et al. 2010; Shalwan, Yousif 2012), sumándose el desarrollo de matrices poliméricas renovables para diversas aplicaciones (Siracusa, Rocculi et al. 2008; Faruk, Bledzki et al. 2012; Dicker, Duckworth et al. 2014), a fin de lograr materiales totalmente biodegradables y renovables, donde tanto matriz y fibras de refuerzo constituyan materiales “compuestos verdes” (Jacob, Thomas 2008; Dicker, Duckworth et al. 2014).

Siguiendo esta tendencia, se suman los principios de la Producción Más Limpia (P+L, o CP por sus siglas en inglés; Cleaner Production); la cual contempla, eco-eficiencia, minimización de residuos o prevención de la contaminación, enfatizando en cómo los bienes y/o servicios son producidos con el menor impacto ambiental, teniendo en cuenta limitantes económicas y ecológicas (Castillo, Rodríguez et al. 2000), es entonces desde el punto de vista de producto final, la P+L busca reducir impactos negativos desde la obtención de materias primas hasta su disposición final. Esto mediante el diseño adecuado de dicho producto (Arroyave Rojas, Garcés Giraldo 2012).

En este sentido, tomando en cuenta a la P+L, en el estado de Oaxaca se ha determinado, que en el proceso productivo del mezcal, se utilizó en 2014 más de 14 000 toneladas de agave (COMERCAM 2015), las cuales generaron más de 502 toneladas de fibras lignocelulósicas del bagazo de agave, sabiendo que dicho

bagazo representa un 3.46% de la masa total de agave usada (Cortés 2009). Este material desechado se compone principalmente de: celulosa (43%), hemicelulosa (19%), lignina (15%), entre otros (Zárate 2006); comúnmente es confinado a cielo abierto, provocando contaminación en diversos aspectos (Rodríguez-Macías, Alcántar-González et al. 2010). Entonces se nota atractivo, que estos residuos, sean aprovechados como materia prima para otro proceso o algún otro producto con cierto valor agregado, ya que solamente es utilizado en menor medida como: combustible, alimento para animales y material sellante en el proceso de destilación de mezcal.

En este trabajo el objetivo principal fue producir un material compuesto utilizando las fibras del bagazo de agave mezcalero (*Agave angustifolia* Haw), reforzando una matriz polimérica de hule natural (Jacob, Anandjiwala, Thomas 2009; Nair, Joseph 2014); y caracterizar al material con respecto a la norma europea de calidad para tapones de corcho aglomerado (UNE56922: 2004), en las pruebas de: absorción, desaglomeración, capilaridad externa y fuerza de extracción; por considerar estas pruebas las más representativas para medir la utilidad del material para el sellado de botellas de vidrio conteniendo bebidas destiladas (espirituosas), en sustitución al corcho natural y sus aglomerados; y a su vez mejorar el proceso ya reportado (Caballero Caballero, Silva Pérez, et al. 2014)

### **3.2. Materiales y Métodos.**

El bagazo se obtuvo de un palenque localizado en el municipio de Santiago Matatlán, Tlacolula, Oaxaca, México; conforme a la Norma Mexicana para el acopio de residuos sólidos (NMX-AA-15- 1985), una vez obtenido el material se sometió al proceso de lavado, secado y selección de fibras conforme al proceso reportado por (Caballero Caballero, Montes Bernabé, Silva Rivera 2014) (Figura 1). El seccionado y selección de las fibras útiles, se realizó con herramienta manual. Se elaboraron probetas cilíndricas del material (Biocompuesto en tablas, material que se busca patentar) y se le agregó un posteriormente un subproceso de acabado (Biocompuesto con acabado en tablas). Las pruebas (absorción de agua, desaglomeración, capilaridad externa y fuerza de extracción) se realizaron conforme a las especificaciones de la norma UNE 56922:2004, para el caso de la



prueba de capilaridad externa se usaron soluciones etílicas de volumen alcohólico 38% y 55%, ya que el primero es el nivel exigido para exportaciones e importaciones en bebidas destiladas y el segundo nivel es el máximo autorizado para el mezcal por la Norma Oficial Mexicana (NOM-070-SCFI- 1994); y para el caso de la prueba de fuerza de extracción la solución etílica fue de 55%, por la misma razón dicha. Los equipos utilizados fueron: un calibrador con vernier marca MITUTOYO para dimensiones de las probetas, para la medición de la masa una báscula electrónica marca TECNOCOR modelo PEN-600PG, así como báscula electrónica colgante marca TECNOCOR modelo PER-100C para la prueba de fuerza de extracción. Para las imágenes de dispersión de las fibras de refuerzo en la matriz, se utilizó un microscopio óptico marca MEIJI TECHNO.



**Figura 1.** A la izquierda de la imagen se muestra el bagazo colectado, y a la derecha las fibras útiles resultantes del proceso reportado por Caballero-Caballero, Montes-Bernabé y Silva-Rivera.

### **3.3. Resultados y discusión.**

La Tabla 1, muestra que la propuesta de material sustituto al corcho, con base en la norma para tapones de vinos tranquilos, ha solamente acreditado en cuanto a la capilaridad externa en bebidas con un 38% Alc. Vol. así como en la prueba de desaglomeración, es decir; no se desaglomera, ni existe deformación; esto se explica debido a la fuerte cohesión mecánica (intercara) existente entre los elementos del material biocompuesto.

**Tabla 1.** Resultados de las pruebas al material biocompuesto. daN = decaNewton = 10N; masa inicial =  $m_0$ 

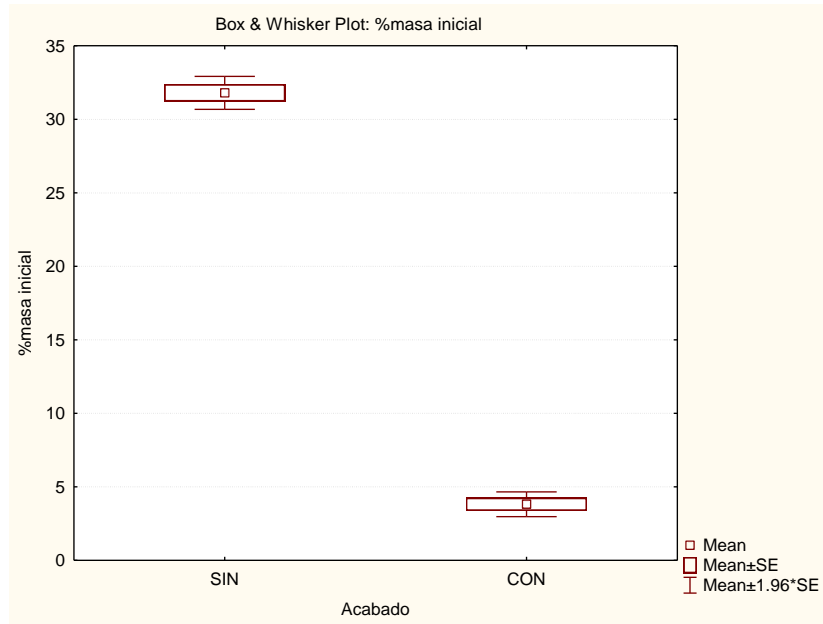
Pruebas	Método de Prueba	Unidad	Biocompuesto	Rango aceptado
				por la norma
Desaglomeración	UNE 56922:2004	SI/NO	NO	NO
Absorción de agua	UNE 56922:2004	% $m_0$	31.79	$\leq 12$
Capilaridad Externa 38% Alc.Vol.	UNE 56922:2004	% altura	25.62	$\leq 33.33$
Capilaridad Externa 55% Alc. Vol.	UNE 56922:2004	% altura	47.98	$\leq 33.33$
Fuerza de Extracción 55% Alc. Vol.	UNE 56922:2004	daN	4.54	15-30

Ante estos resultados, se decidió probar el material con el subproceso de acabado (Tabla 2), se muestra la acreditación en cuatro pruebas, lo que lo hace mucho más apto para la aplicación propuesta, y más regular en la soluciones étlicas probadas a capilaridad externa, pero aún deficiente en cuanto a la fuerza de extracción.

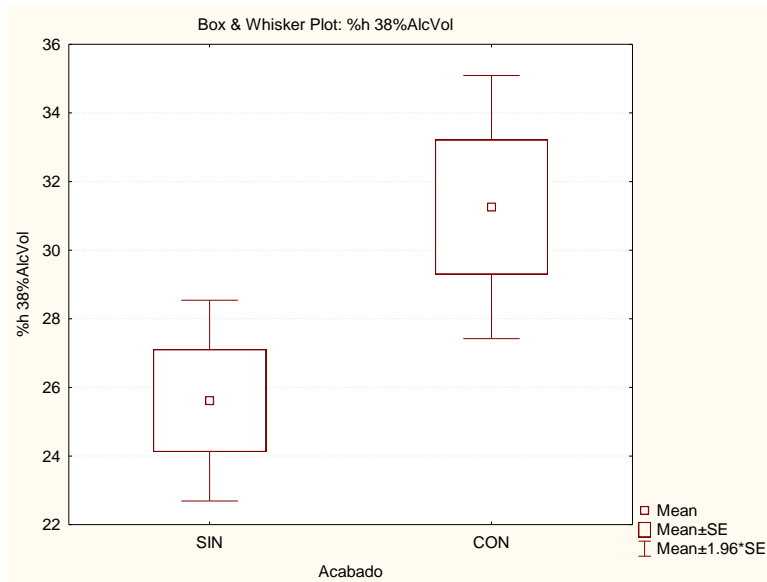
**Tabla 2.** Resultados de las pruebas al material con acabado. daN = decaNewton = 10N; masa inicial =  $m_0$ 

Pruebas	Método de Prueba	Unidad	Biocompuesto	Rango aceptado
			con acabado	por la norma
Desaglomeración	UNE 56922:2004	SI/NO	NO	NO
Absorción de agua	UNE 56922:2004	% $m_0$	3.82	$\leq 12$
Capilaridad Externa 38% Alc.Vol.	UNE 56922:2004	% altura	31.26	$\leq 33.33$
Capilaridad Externa 55% Alc. Vol.	UNE 56922:2004	% altura	32.77	$\leq 33.33$
Fuerza de Extracción 55% Alc. Vol.	UNE 56922:2004	daN	2.59	15-30

Entonces se recurrió a hacer comparativos entre los materiales. Se procedió a comparar estadísticamente a ambos tratamientos (con y sin acabado), mediante pruebas t para muestras independientes, con un grado de significancia del 95% utilizando el software estadístico StatSoft STATISTICA 8. En la prueba de absorción de agua; con una  $p= 0.000000$  ( $p < 0.05$ ), se comprueba la gran diferencia que existe entre los tratamientos (Gráfica 1), tal como se mostró en las tablas anteriores (Tabla 1 y 2), y que el subproceso de acabado mejoró por mucho al material, permitiendo acredite en este sentido a la norma.



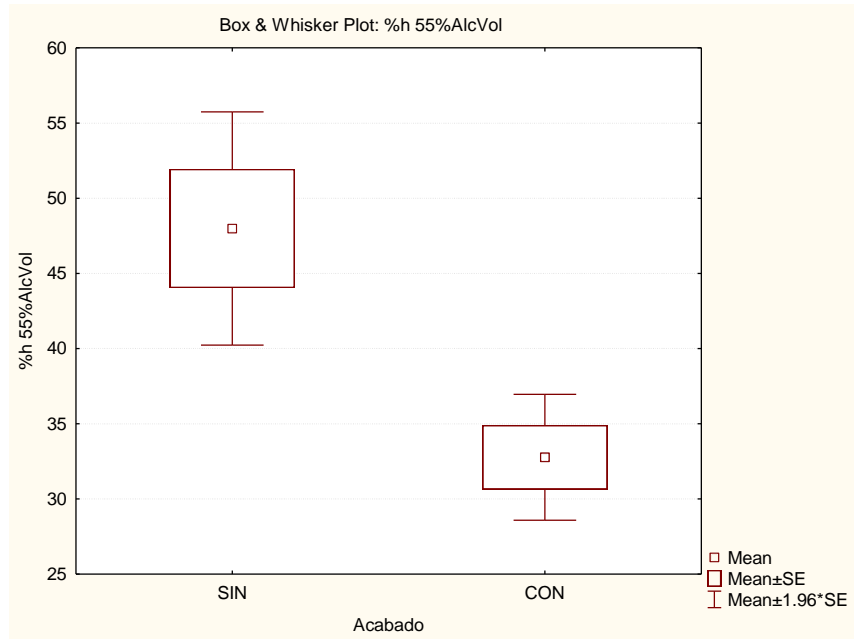
**Gráfica 1.** Gráfica de las cajas con bigotes de cada tratamiento, en la prueba de absorción ( $p=0.0000$ )



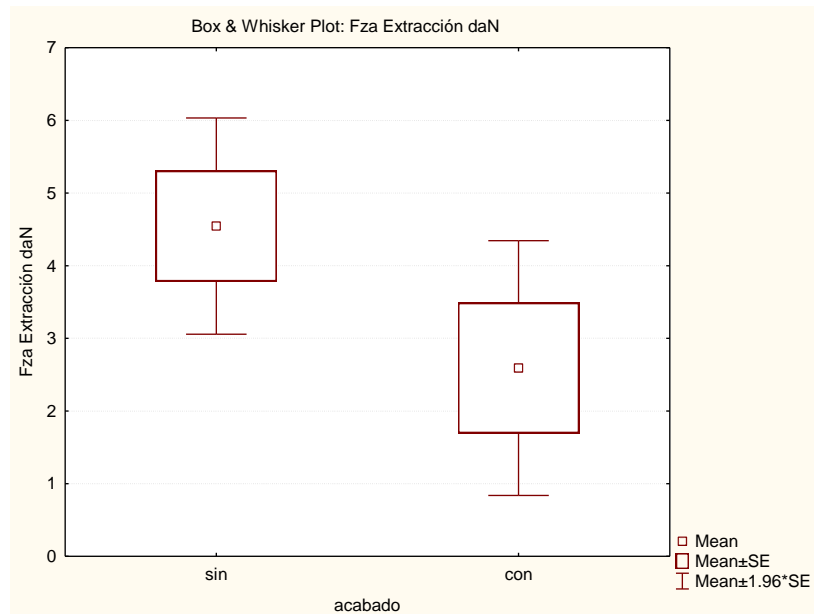
**Gráfica 2.** Gráfica de las cajas con bigotes de cada tratamiento, en la prueba de capilaridad externa para la solución etílica de 38% Alc. Vol. ( $p=0.044883$ )

En lo respectivo a la prueba de capilaridad externa con la solución de 38% Alc. Vol., con una  $p=0.044883$  ( $p < 0.05$ ), denota que no existe diferencia significativa (Gráfica 2), en el porcentaje de altura alcanzado por la solución etílica teñida al 38% Alc. Vol., aunque en este caso el material con acabado alcanza mayores porcentajes de la altura, se encuentran ambos materiales en el rango aceptado por la norma. Con lo que respecta a la misma prueba pero con la solución etílica al 55% Alc. Vol., se calculó una  $p=0.004966$  ( $p < 0.05$ ), denotando diferencias de los tratamientos; además nos confirma lo visto en las Tablas 1 y 2, mostrando menores alturas alcanzadas en el material con acabado para estar dentro de lo aceptado por la norma (Gráfica 3). Finalmente la comparación entre los tratamientos (con y sin acabado) en la prueba de fuerza de extracción, se calculó una  $p=0.126939$  ( $p > 0.05$ ), que nos demuestra que ambos materiales en esta prueba no tienen diferencias significativas, como lo muestra la Gráfica 4.

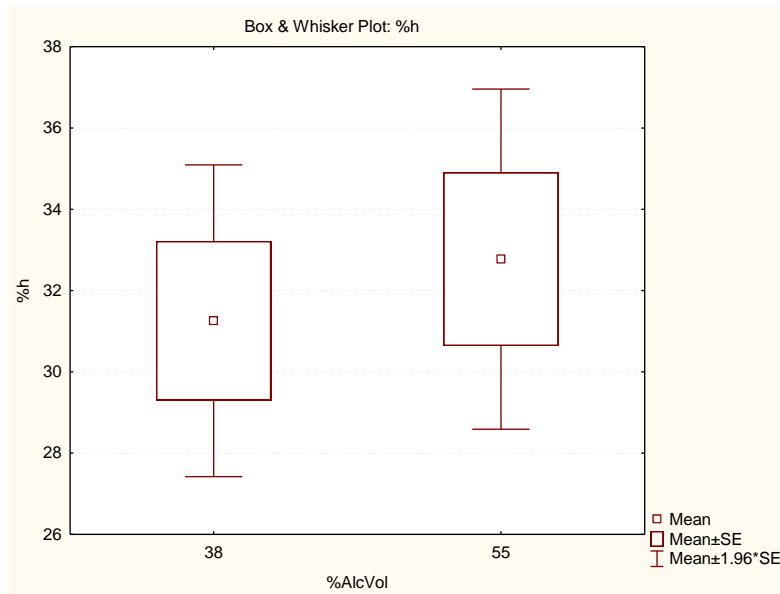
Posteriormente al ser demostrado con respecto a todo lo anterior que el acabado al material constituye una mejora, se elaboró una prueba t más con lo que respecta a la capilaridad externa en el material con acabado, pero con las dos soluciones etílicas de 38% y 55% Alc. Vol., calculándose una  $p=0.612343$  ( $p > 0.05$ ); lo que nos indica la no diferencia estadística en la capilaridad externa de ambas soluciones (Gráfica 5), lo que se puede interpretar como un material homogéneo, y no restrictivo a alguna concentración etílica; es decir, el productor de mezcal puede asumir que no importando la concentración etílica de su bebida; el acabado permitirá que el material selle el envase y conserve el contenido, ya que como se observó en la Tabla 2, se encuentran en el rango aceptado por la norma.



**Gráfica 3.** Gráfica de las cajas con bigotes de cada tratamiento, en la prueba de capilaridad externa para la solución etílica de 55% Alc. Vol. ( $p=0.004966$ )



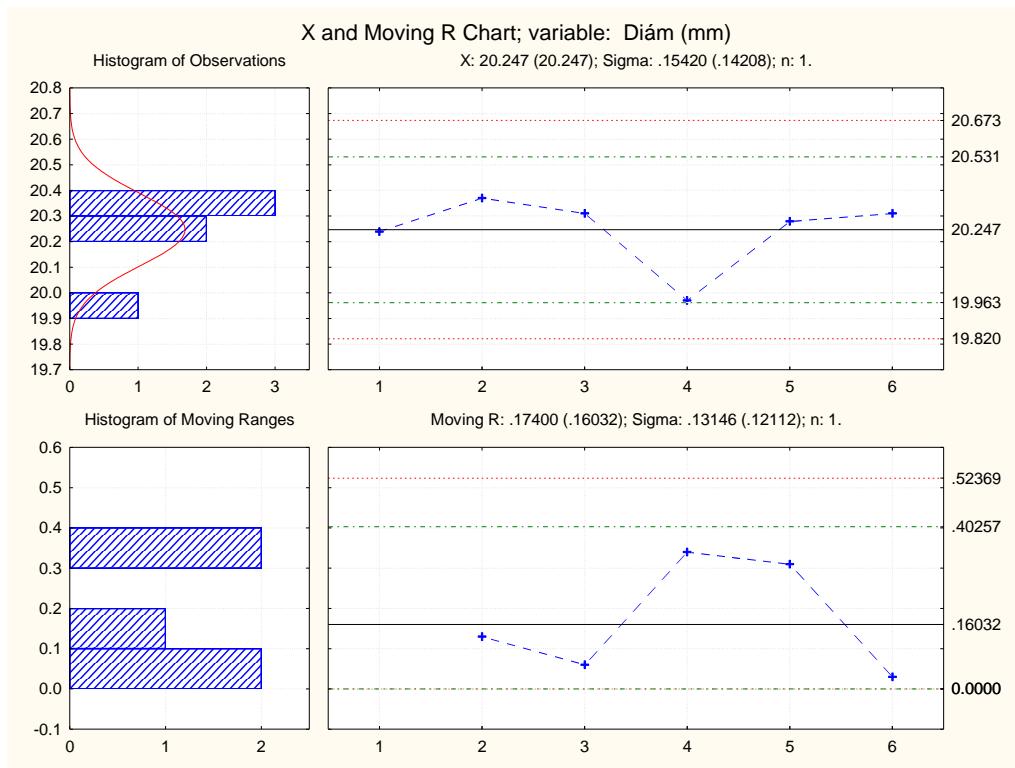
**Gráfica 4.** Gráfica de las cajas con bigotes de cada tratamiento, en la prueba de fuerza de extracción para la solución etílica de 55% Alc. Vol. ( $p=0.126939$ )



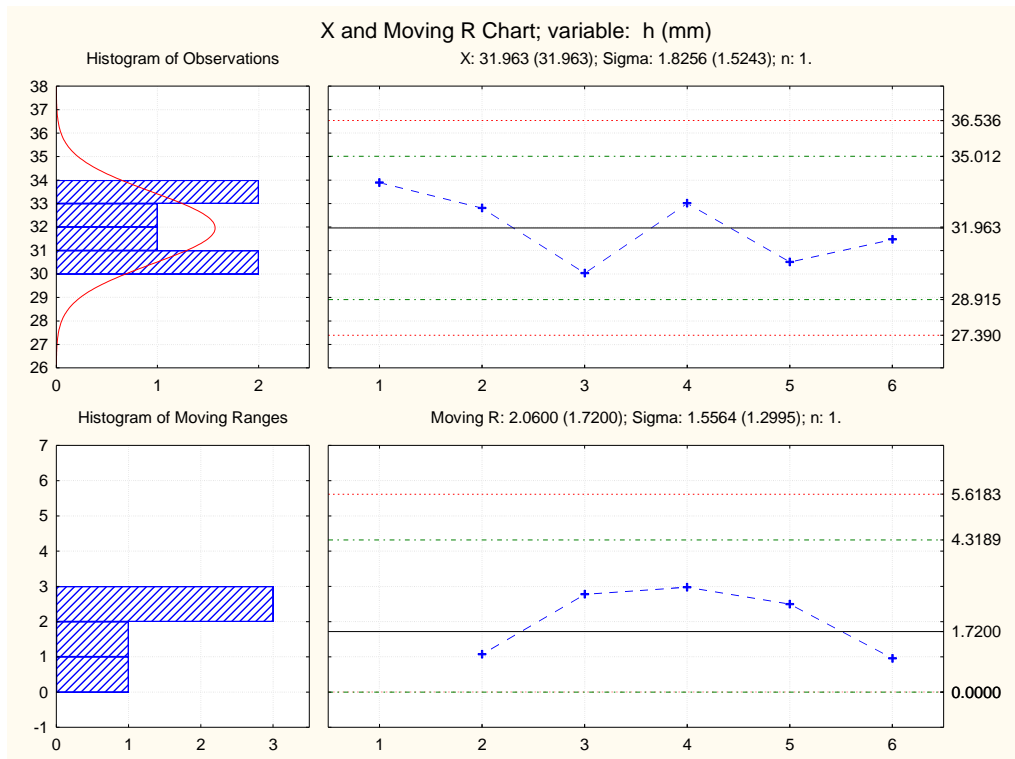
**Gráfica 5.** Gráfica de las cajas con bigotes de material con acabado, en la prueba de capilaridad externa con las soluciones de 38% y 55% Alc. Vol. ( $p=0.612343$ )

Ante todo lo anterior se determinó evaluar al proceso de fabricación de probetas con acabado, con cartas individuales y carta de rangos móviles (Montgomery 2007), iniciando por el aspecto dimensional; para el caso del diámetro en mm; que es el aspecto principal para el taponado, el gráfico de control de datos individuales y el gráfico de rango móvil (Gráfica 6), nos muestra un proceso de fabricación bajo control, en cuanto a esta variable; ya que el gráfico no muestra ninguna medición fuera de las líneas de alarma, para las cuales se utilizó la desviación estándar de los datos y no la sigma calculada por el software (utilizando constantes tabuladas), esto para tener más rigor en el gráfico. El mismo criterio se aplicó para la altura (h) en mm de las probetas, demostrando de igual manera un proceso bajo control (Gráfico 7); y con los mismos criterios y el mismo resultado de un proceso bajo control; el Gráfico 8 muestra el proceso considerando la variable masa en g. Se prosiguió a elaborar el gráfico de control y gráfico de rango móvil sobre la variable fuerza de extracción tomando en cuenta los criterios de los anteriores gráficos (Gráfico 9), contrasta que a pesar de que estos datos obtenidos no se apegan a una distribución normal (Shapiro Wilk  $W=0.78347$ ,  $p=0.04152 < 0.05$ ); los gráficos de control de calidad denotan un proceso bajo control (Gráfico 9); existiendo una leve inestabilidad (puntos alternándose por debajo y arriba de la media), la cual podría explicarse por dos razones: falta de entrenamiento del operador o heterogeneidad en la materia prima; que se justifica al tratarse de un proceso manual y que las materias primas son recursos naturales, sin un proceso industrial de homogeneización (tomando en cuenta los principios de la producción más limpia). Otro aspecto funcional

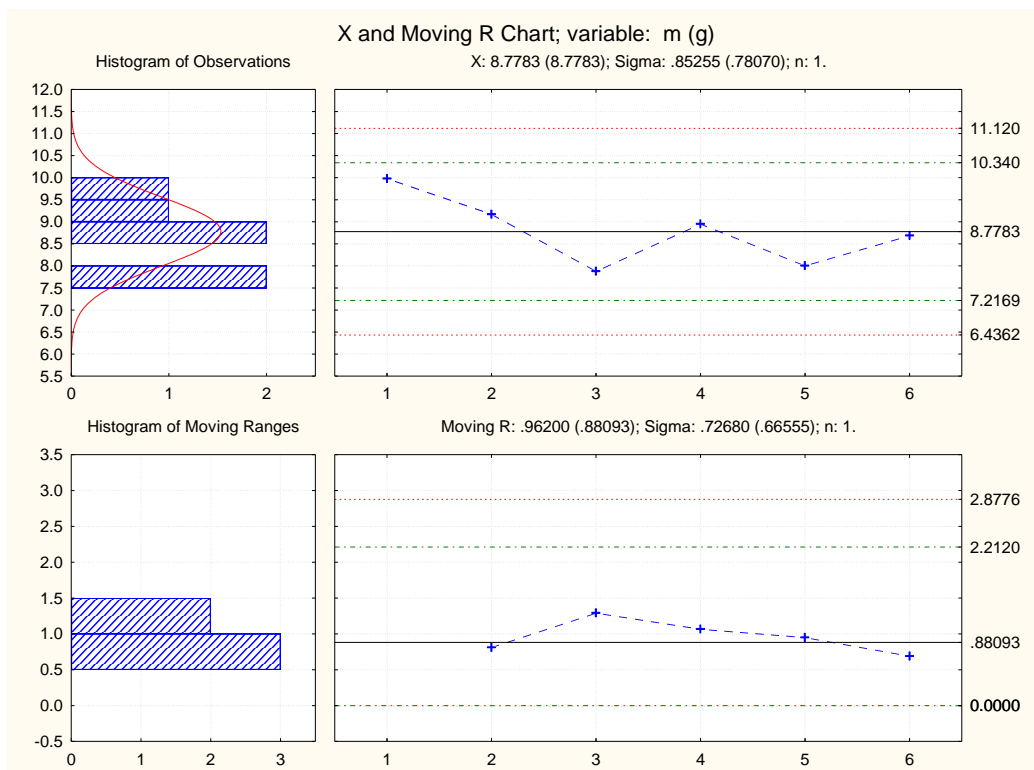
evaluado; fue que posterior a la prueba de fuerza de extracción, las probetas se pesaron para monitorear su % de absorción de la solución contenida (acuosa de etanol al 55% en volumen), resultando en una media de 4.98% de la masa inicial (0.44 g absorbidos); al tomar en cuenta la densidad de la solución (884.5 kg/m<sup>3</sup>); absorben las probetas en promedio (sin pérdidas) 0.497ml del contenido.



**Gráfica 6.** Gráfica de control de datos individuales y gráfico de rangos móviles para diámetro=Diám (mm), trabajados con las desviaciones estándar de los datos (SD= 0.14208), con líneas de alarma (en verde) a 2\*SD de distancia de la media. Sin alarmas denota Proceso Bajo Control.

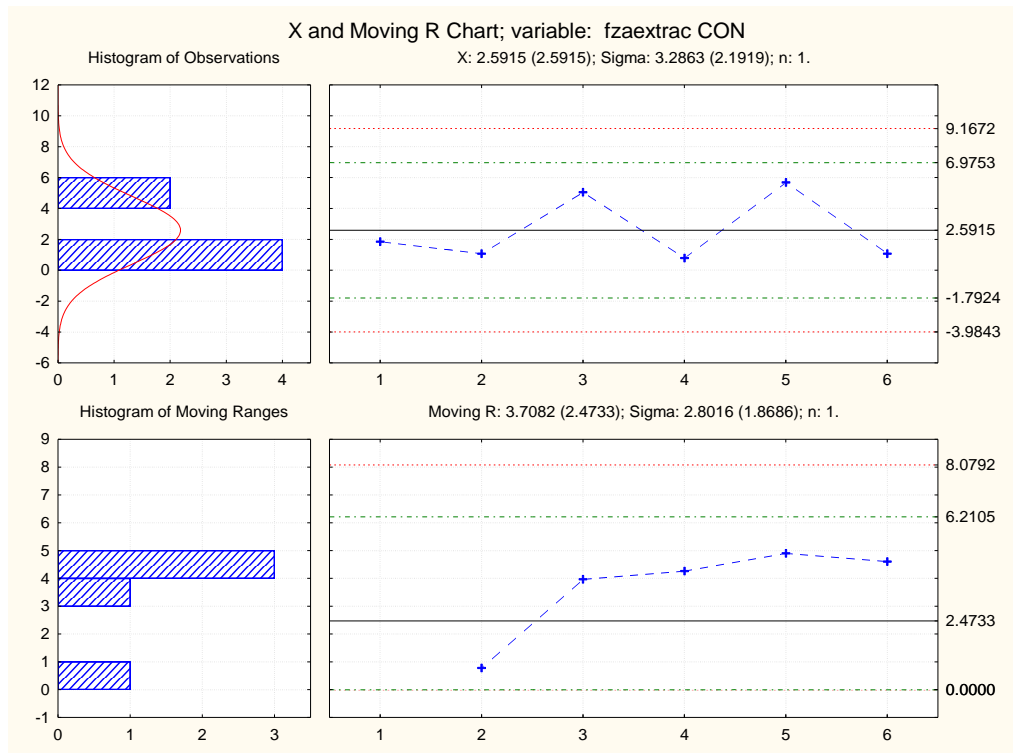


**Gráfica 7.** Gráfica de control de datos individuales y gráfico de rangos móviles para la altura =h (mm), trabajados con las desviaciones estándar de los datos (SD= 1.5243), con líneas de alarma (en verde) a 2\*SD de distancia de la media. Sin alarmas denota Proceso Bajo Control.



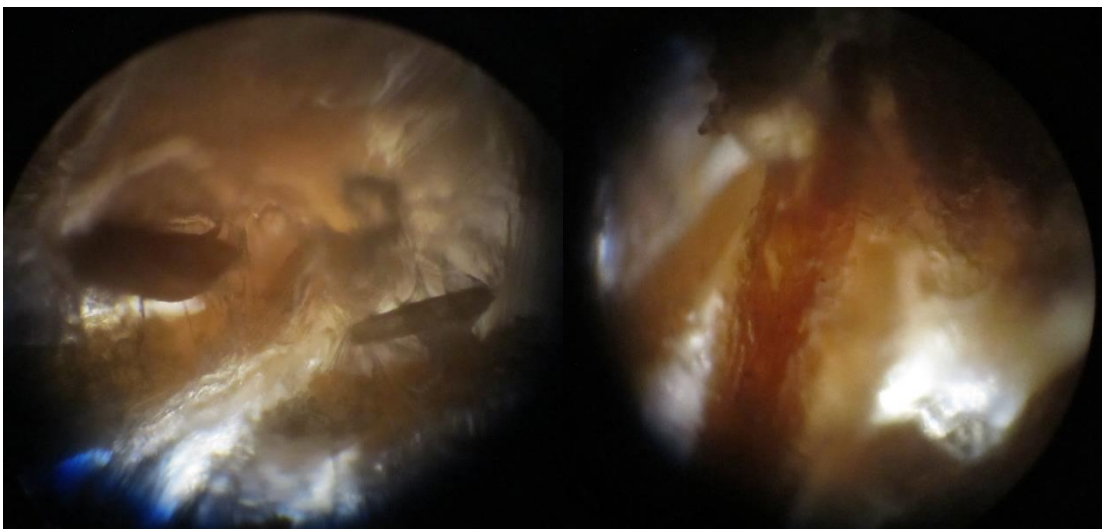
**Gráfica 8.** Gráfica de control de datos individuales y gráfico de rangos móviles para diámetro=masa (g), trabajados con las desviaciones estándar de los datos (SD= 0.78070), con líneas de alarma (en verde) a 2\*SD de distancia de la media. Sin alarmas denota Proceso Bajo Control.





**Gráfica 9.** Gráfica de control de datos individuales y gráfico de rangos móviles para el material con acabado en la prueba de fuerza de extracción=fzaextrac CON (daN), trabajados con las desviaciones estándar de los datos (SD= 2.1919), con líneas de alarma (en verde) a  $2 \times SD$  de distancia de la media. Sin alarmas denota Proceso Bajo Control.

Otro aspecto evaluado fue el visual, ya que es muy importante para la aplicación de material de sustituto de corcho, en un principio se tomaron imágenes de dispersión de la fibra en la matriz, cortándose una película fina del material para este fin, lo cual muestra la Figura 2.



**Figura 2.** Microscopías (10X), del material biocompuesto sustituto de corcho, mostrando la dispersión de las fibras de refuerzo en la matriz.

En la Figura 3, se muestran los comparativos visuales de los tratamientos al material propuesto; donde de igual manera que las pruebas anteriores, el acabado final representa una mejora al biocompuesto, hasta en este aspecto, que es de los más importantes, ya que impactaría en mayor medida en el consumidor, sumando a la deformación que presenta el material sin acabado posterior a la prueba de fuerza de extracción; así como al daño más significativo que provoca la penetración del material.



**Figura 3.** Imágenes de las probetas, posteriores a la prueba de fuerza de extracción, en ambos casos el material con tratamiento se encuentra a la derecha; y el material sin acabado a la izquierda.

### 3.4. Conclusiones.

Se obtuvo un material biocompuesto, con base al estudio de estos materiales; las pruebas demostraron que el material biocompuesto con acabado, tiene potencial para ser comercializado y generar empleos directos; que aunque incumple la norma, en el aspecto de la fuerza de extracción; el material es funcional y reusable (se puede volver a tapar la botella con el mismo tapón ya usado) y no existe ruptura del material, a pesar de la penetración con la herramienta (sacacorchos), a diferencia de algunos productos de corcho natural y de aglomerado de corcho, en los que si existe ruptura y pérdida de material; esto para fines de la aplicación en licorera con mezcal, es recomendable; en el aspecto visual, resultó un material con aspecto a un aglomerado de corcho, a diferencia de otros sustitutos, que constituyen un material sin ningún parecido o simulación del corcho natural o aglomerado (Figura 3). El diseño del proceso de fabricación, tomó en cuenta a la Producción Más Limpia, ya que utiliza el desecho de un proceso, como materia prima para otro, se evitó el uso mínimo de insumos tóxicos,

generando los residuos mínimos (proceso de patente en trámite). Las materias primas del producto son fuentes naturales y renovables, lo que lo constituye un material compuesto verde. Este material compuesto verde ha sido evaluado para una aplicación directa, pensando en un producto, como lo recomiendan diversos autores.

### 3.5 Referencias.

Alves, C., Ferrão, P., Silva, A.J., Reis, L.G., Freitas, M., Rodrigues, L.B., Alves, D.E. (2010). Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of Cleaner Production* 18(4): 313-327.

Arroyave Rojas, J. A., Garcés Giraldo, L. F. (2012). Tecnologías ambientalmente sostenibles. *Producción + Limpia* 1(2): 78-86.

Caballero Caballero, M., Montes Bernabé, J.L., Silva Rivera, M.E. (2014). "Proceso para obtención de fibra útil del bagazo de agave". Ed. Romantchik K. E., López C. G. J., Fitz R. E. *Desarrollos de Ingeniería Agrícola en América Latina*, Ed. Univ. Aut. Chapingo, Méx., Dpto. Ing. Méc. Agr. 1ª ed. pp. 1896-1904. ISBN: ISBN: 978-607-12-0356-4

Caballero Caballero, M., Silva Pérez, L.M., Montes Bernabé, J.L., Silva Rivera, M.E. (2014). "Caracterización de un Biocompuesto de Fibras de Agave y Látex". Ed. Romantchik K. E., López C. G. J., Fitz R. E. *Desarrollos de Ingeniería Agrícola en América Latina*, Ed. Univ. Aut. Chapingo, Méx., Dpto. Ing. Méc. Agr. 1ª ed. pp. 1786-1794. ISBN: ISBN: 978-607-12-0356-4

Castillo G. Rodríguez V. Rivera C. M. Zamorano A. Acuña S., D. (2000). Uso de tecnologías limpias: experiencias prácticas en Chile SEPL-GTZ, GTZ Proyecto Producción Limpia. *Uso de tecnologías limpias: experiencias prácticas en Chile*, Ministerio de Economía/GTZ.

COMERCAM (2015). "Informe 2015." Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal A.C.: 74.

Cortés, C. I. (2009). "Propiedades Mecánicas a tensión de las fibras del bagazo del *Agave angustifolia* Haw, residuo proveniente de la producción artesanal del mezcal. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. México." Tesis de maestría, Ingeniería, CIIDIR – Oaxaca, IPN.

Dicker, M. P., Duckworth, P. F., Baker, A.B., Francois, G., Hazzard, M.K., Weaver, P. (2014). Green composites: A review of material attributes and complementary applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 56: 280-289.

Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H., Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science* 37(11): 1552-1596.

Jacob, M., Thomas, S. (2008). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers* 71: 22.

Jacob, M., Anandjiwala, R.D., Thomas, S. (2009). "Lignocellulosic fiber reinforced rubber composites". Ed. Jacob M., Thomas, S. *Natural Fibre Reinforced Polymer Composites: From Macro to Nanoscale*. 252-269.

Li, Y., Mai, Y. Ye, L. (2000). Sisal fibre and its composites: a review of recent developments. *Composites Science and Technology* 60(11): 2037-2055.

Montgomery, D. C. (2007). Introduction to statistical quality control, John Wiley & Sons.

Nair, A.B., Joseph, R. (2014). "Eco-friendly bio-composites using natural rubber (NR) matrices and natural fibers reinforcements". Ed. Kohjiya, S., Ikeda, Y. *Chemistry, manufacture and applications of natural rubber*, Woodhead Publishing Limited: 249-283

NMX-AA-15- (1985). "PROTECCIÓN AL AMBIENTE - CONTAMINACIÓN DEL SUELO - RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES - MUESTREO - MÉTODO DE CUARTEO." Diario Oficial de la Federación: 3.

NOM-070-SCFI- (1994). "NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-070-SCFI-1994. BEBIDAS ALCOHÓLICAS. MEZCAL. ESPECIFICACIONES." Diario Oficial de la Federación: 11.

Rodríguez-Macías R., Alcántar-González, E.G., Iñiguez-Covarrubias G., Zamora-Natera F., García-López PM., Ruíz-López MA., Salcedo-Pérez E. (2010). Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia* 35: 515-520.

Satyanarayana, K. G., Arizaga G. G., Wypych, F. (2009). Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—an overview. *Progress in Polymer Science* 34(9): 982-1021.

Shalwan, B., Yousif, F. (2012). In State of Art: Mechanical and tribological behaviour of polymeric composites based on natural fibres. *Materials and Design* 48: 14-24.

Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., Dalla Rosa, M. (2008). "Biodegradable polymers for food packaging: a review." *Trends in Food Science & Technology* 19: 634-644.

UNE56922: (2004). "Tapones de Corcho Aglomerado para Vinos Tranquilos." Institut Catalá del Suro, España: 8.

Zárate, A. G. (2006). "Caracterización y evaluación agronómica de materiales orgánicos potenciales para utilizarse como sustratos en cultivo sin suelo de melón (*cucumis melo* L.)." Tesis de maestría, Producción y protección vegetal, CIIDIR – Oaxaca, IPN.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El presente trabajo, de primera mano; demuestra la no aceptación de la hipótesis planteada, ya que el material en proceso de patente, no tiene las proporciones volumétricas propuestas. Sin embargo, ha cumplido sus propios objetivos, ya que al final se tiene un proceso de aprovechamiento de las fibras lignocelulósicas presentes en el bagazo de agave mezcalero, el cual se determinó que es un proceso estándar (Caballero-Caballero M. Montes-Bernabé J.L. Silva-Rivera M.E. 2014), entonces el producto final (fibras útiles, limpias y secas), puede ser utilizado en otros procesos de fabricación de productos y/o materiales; además se ha demostrado la compatibilidad de las fibras del *Agave angustifolia* Haw y el hule natural (Caballero-Caballero M. Silva-Pérez L.M. Montes-Bernabé J.L. Silva-Rivera M. 2014); siendo conveniente en el aspecto ecológico, ya que se este último trata de un recurso renovable y biodegradable, pues no es sometido a un proceso de vulcanización, en cuanto a su conveniencia económica, cabe resaltar que existe producción de hule en el estado de Oaxaca, al norte; en la región de la Cuenca del Papaloapan.

En cuanto al proceso de fabricación, se tomo en cuenta la escasa generación de residuos y la no utilización de insumos tóxicos de la producción más limpia; y con respecto a su originalidad, dicho proceso y material se encuentran en revisión de patente por el Centro de Patentamiento IMPI-IPN “Ing. Guillermo González Camarena”.

Las pruebas seleccionadas al material, nos han denotado, un material funcional, que aunque no sustituye estrictamente al corcho en todas las propiedades, en los aspectos evaluados, dicho material es promisorio; se recomiendan en trabajos futuros, evaluaciones como: organolépticas, térmicas, acústicas, biodegradabilidad, resistencia, flexión, tensión, etc; con el fin de que dicho material no sea usado solo como tapón, sino en otros productos como podría ser aislamiento térmico y acústico, así como suelas y plantillas; los cuales su producción podría generar empleos directos e indirectos, dentro y fuera del estado de Oaxaca.

**REFERENCIAS.**

Alvarez-Castillo, A., Salgado-Delgado, R., García-Hernández, E., Domínguez-Domínguez, M.M., Granandos-Baeza, J.M., Aguirre-Cruz, A., Carmona-García, R., Morales-Cepeda, A., Herrera-Franco, P.J., Licea-Claveríe, A., Mendoza-Martínez, A.M. (2012). Aprovechamiento Integral de los Materiales Lignocelulósicos. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 13 (4): 140-150.

Alves, C., Ferrão, P., Silva, A.J., Reis, L.G., Freitas, M., Rodrigues, L.B., Alves, D.E. (2010). Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of Cleaner Production* 18(4): 313-327.

Arroyave Rojas, J. A., Garcés Giraldo, L. F. (2012). Tecnologías ambientalmente sostenibles. *Producción + Limpia* 1(2): 78-86.

Caballero Caballero, M., Montes Bernabé, J.L., Silva Rivera, M.E. (2014). "Proceso para obtención de fibra útil del bagazo de agave". Ed. Romantchik K. E., López C. G. J., Fitz R. E. *Desarrollos de Ingeniería Agrícola en América Latina*, Ed. Univ. Aut. Chapingo, Méx., Dpto. Ing. Méc. Agr. 1ª ed. pp. 1786-1794. ISBN: ISBN: 978-607-12-0356-4

Caballero Caballero, M., Silva Pérez, L.M., Montes Bernabé, J.L., Silva Rivera, M.E. (2014). "Caracterización de un Biocompuesto de Fibras de Agave y Látex". Ed. Romantchik K. E., López C. G. J., Fitz R. E. *Desarrollos de Ingeniería Agrícola en América Latina*, Ed. Univ. Aut. Chapingo, Méx., Dpto. Ing. Méc. Agr. 1ª ed. pp. 1896-1904. ISBN: ISBN: 978-607-12-0356-4

Caballero Caballero, M., Silva Santos, L., Monte Bernabé, J.L. (2013). Diseño de un sistema de recirculación y enfriamiento del agua para la destilación del mezcal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*: 774-784.

Caballero Caballero, M., Silva Santos, L., José José, A., López Hernández, I., Cortés Martínez, C., Montes Bernabé, J., García Méndez, F. (2008). "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SECCIONADORA DE AGAVE VERDE." MEMORIAS DEL 14 CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM 17 al 19 DE SEPTIEMBRE, 2008 PUEBLA, MÉXICO: pp. 275-283, ISBN: ISBN 978-968-9773-03-8.

Caballero Caballero, M., Silva Santos, L., López Hernández, I., José José, A., Cortés Martínez, J., Montes Bernabé, L., García Méndez R. (2008). "CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE FIBRAS DEL AGAVE *ANGUSTIFOLIA* HAW", MEMORIAS DEL 14 CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM 17 al 19 DE SEPTIEMBRE, 2008 PUEBLA, MÉXICO: pp. 89-94, ISBN: ISBN 978-968-9773-03-8.

Caballero Caballero M. Silva Santos L. Montes Bernabé J.L. (2011). "MÁQUINA EXTRACTORA DE AZÚCARES DE AGAVE HIDROLIZADO." MEMORIAS DEL XVII CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM 21 al 23 DE SEPTIEMBRE, 2011 SAN LUIS POTISÍ, MÉXICO: pp. 365-371, ISBN: ISBN 978-607-95309-5-2 .

Castillo G. Rodríguez V. Rivera C. M. Zamorano A. Acuña S., D. (2000). Uso de tecnologías limpias: experiencias prácticas en Chile SEPL-GTZ, GTZ Proyecto Producción Limpia. *Uso de tecnologías limpias: experiencias prácticas en Chile*, Ministerio de Economía/GTZ.

COMERCAM (2015). "Informe 2015." Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal A.C.: 74.

Cortés, C. I. (2009). "Propiedades Mecánicas a tensión de las fibras del bagazo del *Agave angustifolia* Haw, residuo proveniente de la producción artesanal del mezcal.Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. México." Tesis de maestría, Ingeniería, CIIDIR – Oaxaca, IPN.



Dicker, M. P., Duckworth, P. F., Baker, A.B., Francois, G., Hazzard, M.K., Weaver, P. (2014). Green composites: A review of material attributes and complementary applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 56: 280-289.

Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H., Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science* 37(11): 1552-1596.

Jacob, M., Thomas, S. (2008). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers* 71: 22.

Jacob, M., Anandjiwala, R.D., Thomas, S. (2009). "Lignocellulosic fiber reinforced rubber composites". Ed. Jacob M., Thomas, S. *Natural Fibre Reinforced Polymer Composites: From Macro to Nanoscale*. 252-269.

Molinar-Higuera, S. E., Jordán-Hernández, R., Munive, G.T. (2010). Evaluación Térmica De Un Material Natural Atípico Para Uso Como Aislante Térmico En Construcciones Civiles. *INTEC JOURNAL* 1: 9.

Montes Bernabé, J. L. (2009). "Estudio del Efecto de la Fibra de Bagazo de *Agave angustifolia* Haw en la Resistencia a Flexión y Compresión del Adobe Compactado." Tesis de Maestría, Ingeniería, CIIDIR Oaxaca IPN: 152.

Montgomery, D. C. (2007). Introduction to statistical quality control, John Wiley & Sons.

Nair, A.B., Joseph, R. (2014). "Eco-friendly bio-composites using natural rubber (NR) matrices and natural fibers reinforcements". Ed. Kohjiya, S., Ikeda, Y. *Chemistry, manufacture and applications of natural rubber*, Woodhead Publishing Limited: 249-283

NMX-AA-15- (1985). "PROTECCIÓN AL AMBIENTE - CONTAMINACIÓN DEL SUELO - RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES - MUESTREO - MÉTODO DE CUARTEO." Diario Oficial de la Federación: 3.

NOM-070-SCFI- (1994). "NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-070-SCFI-1994. BEBIDAS ALCOHÓLICAS. MEZCAL. ESPECIFICACIONES." Diario Oficial de la Federación: 11.

Rodríguez-Macías R., Alcántar-González, E.G., Iñiguez-Covarrubias G., Zamora-Natera F., García-López PM., Ruíz-López MA., Salcedo-Pérez E. (2010). Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia* 35: 515-520.

Satyanarayana, K. G., Arizaga G. G., Wypych, F. (2009). Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—an overview. *Progress in Polymer Science* 34(9): 982-1021.

Shalwan, B., Yousif, F. (2012). In State of Art: Mechanical and tribological behaviour of polymeric composites based on natural fibres. *Materials and Design* 48: 14-24.

Silva Santos, L., 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. Clave CGPI 20020524-20031488.

Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., Dalla Rosa, M. (2008). "Biodegradable polymers for food packaging: a review." *Trends in Food Science & Technology* 19: 634-644.

UNE56922: (2004). "Tapones de Corcho Aglomerado para Vinos Tranquilos." Institut Catalá del Suro, España: 8.

Zárate, A. G. (2006). "Caracterización y evaluación agronómica de materiales orgánicos potenciales para utilizarse como sustratos en cultivo sin suelo de melón (*cucumis melo* L.)." Tesis de maestría, Producción y protección vegetal, CIIDIR – Oaxaca, IPN.

**ANEXO 1.**

Tablas de resultados en las pruebas de absorción de agua, capilaridad externa (en soluciones al 38% y 55% Alc. Vol.), fuerza de extracción (con solución al 55% Alc. Vol.) y mediciones de absorción de la solución posterior a la prueba de fuerza de extracción.

**Tabla 3.** Resultados de la prueba de absorción de agua, para el material biocompuesto

$m_0$ (g)	$m_f$ (g)	$\Delta m$ (g)	%m
9.18	12.07	2.89	31.4814815
8.87	11.52	2.65	29.8759865
9.2	12.27	3.07	33.3695652
9.33	12.45	3.12	33.4405145
8.58	11.23	2.65	30.8857809
8.79	11.58	2.79	31.7406143

**Tabla 4.** Resultados de la prueba de absorción de agua, para el material con acabado

$m_0$ (g)	$m_f$ (g)	$\Delta m$ (g)	%m
9.98	10.25	0.27	2.70541082
9.17	9.42	0.25	2.72628135
7.88	8.18	0.3	3.8071066
8.95	9.27	0.32	3.57541899
8	8.42	0.42	5.25
8.69	9.11	0.42	4.83314154

**Tabla 5.** Resultados de la prueba de capilaridad externa con soluciones al 38% y 55% Alc.Vol., para el material biocompuesto

SIN	38% Alc. Vol.		55% Alc. Vol.	
h (mm)	h (mm)	%h	h (mm)	%h
31.63	7.51	23.7432817	15.72	49.6996522
29.43	7.27	24.7026843	10.93	37.1389738
29.85	7.17	24.0201005	18.1	60.6365159
30.99	7.55	24.3626976	17.71	57.1474669
30.08	9.94	33.0452128	13.58	45.1462766
32.32	7.70	23.8242574	12.33	38.1497525

**Tabla 6.** Resultados de la prueba de capilaridad externa con soluciones al 38% y 55% Alc.Vol., para el material con acabado

CON	38% Alc. Vol.		55% Alc. Vol.	
h (mm)	h (mm)	%h	h (mm)	%h
33.9	10.35	30.5309735	12.9	38.0530973
32.82	11.07	33.7294333	12.97	39.5185862
30.04	10.04	33.4221039	9.9	32.9560586
33.02	9.28	28.1041793	9.16	27.7407632
30.52	11.51	37.7129751	9.66	31.6513761
31.48	7.57	24.047014	8.41	26.7153748

**Tabla 7.** Resultados de la prueba de fuerza de extracción con solución al 55% Alc.Vol., para el material biocompuesto

Diám (mm)	FZA EXTRAC (kg)	FZA EXTRAC (N)	FZA EXTRAC (daN)
20.27	1.80	17.66	1.77
20.39	6.00	58.86	5.89
20.18	7.35	72.10	7.21
20.66	3.90	38.26	3.83
20.65	4.50	44.15	4.41
20.24	4.25	41.69	4.17

**Tabla 8.** Resultados de la prueba de fuerza de extracción con solución al 55% Alc.Vol., para el material con acabado

Diám (mm)	FZA EXTRAC (kg)	FZA EXTRAC (N)	FZA EXTRAC (daN)
20.08	1.90	18.64	1.86
20.36	1.10	10.79	1.08
20.24	5.15	50.52	5.05
19.93	0.80	7.85	0.78
19.91	5.80	56.90	5.69
19.90	1.10	10.79	1.08

**Tabla 9.** Resultados de absorción de solución al 55% Alc.Vol., para el material biocompuesto; posteriormente a la prueba de fuerza de extracción

$m_0$ (g)	$m_f$ (g)	$\Delta m$ (g)	%m
9.16	9.42	0.26	2.83842795
8.88	9.22	0.34	3.82882883
9.18	9.38	0.20	2.17864924
9.33	9.76	0.43	4.60878885
8.56	9.05	0.49	5.72429907
8.78	9.72	0.94	10.7061503

**Tabla 10.** Resultados de absorción de solución al 55% Alc.Vol., para el material con acabado; posteriormente a la prueba de fuerza de extracción

$m_0$ (g)	$m_f$ (g)	$\Delta m$ (g)	%m
9.96	10.14	0.18	1.80722892
9.16	9.28	0.12	1.31004367
7.89	8.22	0.33	4.18250951
8.90	9.21	0.31	3.48314607
8.12	8.59	0.47	5.78817734
8.68	9.43	0.75	8.640553

**ANEXO 2.**

Productividad del estudiante.

El Ing. Luis Miguel Silva Pérez, durante su formación:

Publicó como segundo autor en:

Caballero-Caballero M. Silva-Pérez L.M. Montes-Bernabé J.L. Silva-Rivera M., E. (2014). "Caracterización de un Biocompuesto de Fibras de Agave y Látex". En: Romantchik-Kriuchkova, E., López-Canteñs, G.J., Fitz-Rodríguez, E., eds. *Desarrollos de Ingeniería Agrícola en América Latina*. Universidad Autónoma Chapingo, México: pp. 1896-1904

Colabora en el proceso de patentamiento del material sustituto de corcho expuesto en la presente tesis.

Colaboró en el proyecto: "Diseño y caracterización de un material aglomerado biocompuesto a base de fibras de *Agave angustifolia* Haw, para el sellado de envases de bebidas espirituosas en la región sureste, México." Clave SIP 20130838, Dirigido por el Dr. Magdaleno Caballero Caballero.

Coordinó el proyecto de residencia profesional: "PROCESO DE APROVECHAMIENTO DE LAS FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS CONTENIDAS EN EL BAGAZO DE *AGAVE ANGUSTIFOLIA* HAW, PROCEDENTE DE LA ACTIVIDAD PRODUCTIVA DEL MEZCAL", llevado a cabo por los alumnos del Instituto Tecnológico de Oaxaca: Martha Salomé Martínez Bautista y Andy Alfonso Olivera. Dirigido por el Dr. Magdaleno Caballero Caballero y asesorado por el M. C. José Luis Montes Bernabé.

Coordinó el proyecto de residencia profesional: "ASIGNACIÓN DE PRECIOS DE LAS FIBRAS DE BAGAZO DE *Agave angustifolia* Haw", llevado a cabo por los alumnos del Instituto Tecnológico de Oaxaca: Betzy Itandehui Cruz Hernández, Edgar Omar García Ferrera, Belem Erika González Hernández. Dirigido por el Dr. Magdaleno Caballero Caballero.

Participó con el tema: "DEAGGLOMERATION TEST OF *AGAVE ANGUSTIFOLIA* HAW BAGASSE FIBERS AND NATURAL RUBBER BIOCOMPOSITE, ACCORDING A CORK AGGLOMERATE STANDARD", en el "1<sup>st</sup> Biotechnology World Symposium, 9<sup>o</sup> Encuentro Nacional de Biotecnología IPN, VI Encuentro de la Red de Biotecnología: Hablemos de Ciencia, Innovación y tecnología", 13 al 16 de octubre de 2014, Tlaxcala, México.

Participó como jurado calificador en "31 Intercolegial Estatal 2013" en su fase estatal del Colegio de Bachilleres del Estado de Oaxaca, 25,29 y 30 de agosto de 2013, San Bartolo Coyotepec, Oaxaca, México.



Participó como jurado calificador en “Concurso Intramuros de Experimentos, Material Didáctico y Prototipos” del Colegio de Bachilleres del Estado de Oaxaca Plantel 04 “El Tule”, 26 de noviembre y 4 de diciembre de 2013, Santa María El Tule, Oaxaca, México.