



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL
POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL
CAMPO DE CONOCIMIENTO: TECNOLOGÍA

PRODUCCIÓN DE MATERIALES PARA EL DISEÑO,
A PARTIR DE VEGETACIÓN DESÉRTICA EN MÉXICO

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN DISEÑO INDUSTRIAL PRESENTA:
MELISSA VALENCIA MIRAFUENTES

COMITÉ TUTOR:

M.D.I. BRENDA GARCÍA PARRA

POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL

M.D.I. MARGARITA LANDÁZURI BENITEZ

POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL UNAM

M.D.I. ALEJANDRO RODEA CHÁVEZ

POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL UNAM

DR. MIGUEL EGUILUZ SENIOR

POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL UNAM

MÉXICO, D.F., ENERO 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PRODUCCIÓN DE MATERIALES PARA EL DISEÑO, A PARTIR DE VEGETACIÓN DESÉRTICA EN MÉXICO

MELISSA VALENCIA MIRAFUENTES

MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL
POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



COMITÉ TUTOR:

M.D.I. BRENDA GARCÍA PARRA

POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL

M.D.I. MARGARITA LANDÁZURI BENÍTEZ

POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL UNAM

M.D.I. ALEJANDRO RODEA CHÁVEZ

POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL UNAM

DR. MIGUEL EGUILUZ SENIOR

POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL UNAM

MÉXICO, D.F., ENERO 2015

DIRECTOR DE TESIS:

M.D.I. Brenda García Parra

SINODALES:

M.D.I. Margarita Landázuri Benítez

M.D.I. Alejandro Rodea Chávez

Dr. Miguel Eguiluz Senior

M.D.I. Ana María Losada Alfaro

Agradecimientos

El haber cursado mis estudios de maestría en el posgrado en diseño industrial UNAM, ha sido una de las experiencias más gratificantes de mi vida. No solamente por la proyección profesional y el aprendizaje obtenido durante estos últimos años, sino por el sentido de pertenencia y solidaridad que compartí tanto con mis compañeros como con todos aquellos que conforman el posgrado: maestros, coordinadores, personal administrativo, etc. Por lo tanto, quisiera agradecer a todos y cada uno de ellos por el tiempo, recursos y atenciones que me dedicaron y que me permitieron realizar este trabajo de forma satisfactoria.

Quisiera agradecer a mis tutores – Brenda García, Margarita Landázuri, Alejandro Rodea y Miguel Eguiluz- por darme la libertad y la confianza para desarrollar esta investigación de una manera más personal e intuitiva; por su paciencia y voluntad para perderse junto conmigo en los recovecos de un -por momentos- confuso laberinto, así como por sus atinadas observaciones y comentarios que me permitieron encontrar el rumbo cuando lo creía perdido. Asimismo, quisiera agradecer también a la Maestra Ana María Losada por darle mayor claridad y definición a las ideas de este documento a través de sus acertadas correcciones.

Agradezco también a mis queridos compañeros que enriquecieron esta experiencia no solo a través de todo lo que me enseñaron, sino a través de su apoyo, alegría y cariño. Todos ellos son grandes maestros y espero contar con su amistad por muchos años más.

Extiendo también un agradecimiento al Instituto de Investigación de Materiales por su apoyo para la realización de pruebas de caracterización mecánica de los materiales; especialmente a la Maestra en Ciencias Bárbara Betancourt del área de vinculación y al Químico Miguel Ángel Canseco, quienes siempre se encontraron en la mejor disposición de ayudarme.

Quisiera además agradecer a la magnífica institución que es la Universidad Nacional Autónoma de México por regalarme la satisfacción y el orgullo de formar parte de ella y de percibirla ahora como un segundo hogar; así como al CONACYT por el apoyo económico y las facilidades que recibí como becaria, y que me permitieron dedicarme al 100 % a este posgrado para lograr cursarlo de forma exitosa.

Deseo también hacer una mención especial de agradecimiento a mis queridos padres, Lily y Alberto por su apoyo infinito y amor incondicional. Es a ellos a quienes les dedico el presente trabajo, así como todo el esfuerzo que éste representó y todo el éxito que de él se derive.

Agradezco a mi querida Helmu que aunque esté lejos siempre ha estado cerca animándome e inspirándome con su humor, alegría y amor, vida tras vida. Doy las gracias también a Jorge, Yeyo, Lupis y a los Brunikis por su cariño y por estar siempre al pendiente de mí; así como a mis tíos que me inspiraron con su pasión por el conocimiento a experimentar la vida académica en la UNAM: José Mirafuentes, José Luis Mirafuentes y Durdica Segota.

Doy las gracias a mis otras queridas hermanas del alma, Jani y Emma por su amor, sabiduría y compañía; y en particular al espíritu generoso de Jani, ya fue precisamente esta maestría una de las tantas cosas valiosas que me compartió.

Por último quiero dar gracias a esta omnipresente chispa divina de inspiración y creatividad infinita, la cual nunca me ha defraudado; ya que siempre me demuestra que soy capaz de alcanzar mis metas y constantemente me reta a superar mis propios límites.

*Al mejor equipo del mundo:
Mi familia*

Índice de contenido

Índice de figuras	VIII
Índice de tablas	IX
Síntesis	X
Abstract	XI
Introducción	1
Antecedentes	4
Metodología de la investigación	11
Capítulo 1. Los materiales biocompuestos	16
1.1 Fibras vegetales	16
1.1.1 Factibilidad de aprovechamiento de fibra de nopal	18
1.1.2 Factibilidad de aprovechamiento de fibra de agave lechuguilla	35
1.2 Bioplásticos	40
1.2.2 Bioplásticos de producción local	46
1.2.2.1 Factibilidad de aprovechamiento de biopolímeros de nopal	46
1.2.2.2 Factibilidad de aprovechamiento de biopolímeros de tuna	47
1.2.2.3 Factibilidad de aprovechamiento de biopolímeros de mezquite	48
1.2.2.4 Superficies hidrofóbicas para bioplásticos de producción local	53
1.3 Aglutinantes de cera y resina	57
1.3.1 Factibilidad de aprovechamiento de cera de candelilla	58
1.3.2 Aditivos naturales para ceras	62
Capítulo 2. Fase de experimentación	63
2.1 Material 1	64
2.2 Material 2	71
Capítulo 3. Análisis de materiales desarrollados	78
3.1 Pruebas de caracterización mecánica	78
3.2 Análisis de resultados de pruebas de caracterización mecánica	85
3.3 Métodos de control de variables en la producción de los materiales	88
3.4 Sugerencia de aplicaciones de los materiales	90
3.5 Evaluación final de los materiales desarrollados	95
Conclusiones	98

Índice de figuras

Fig. 1: Carátula para <i>iphone</i> marca <i>Vers</i>	8
Fig. 2. Composición de los materiales biocompuestos	9
Fig 3: Mapa que muestra las áreas áridas y semiáridas en México	10
Fig. 4: Wirikuta es la tierra sagrada de los Wixárikas	11
Fig. 5: Material biocompuesto utilizado en la industria automotriz	17
Fig. 6: Diagrama que muestra las partes que conforman la planta de nopal	19
Fig. 7: Estados productores de nopal verdura en México	23
Fig. 8: Estados productores de tuna en México en 2009	25
Fig. 9: Cabras alimentándose con nopal	26
Fig. 10: Estados productores de nopal forrajero en México en 2009	26
Fig. 11: Fibra de nopal lignificada	29
Fig. 12: La especie <i>Opuntia leucotricha</i> posee numerosas espinas en sus cladodios	30
Fig. 13: Porcentaje de producción de agave lechuguilla de los estados productores en México	36
Fig. 14: Máquina para tallado mecánico de ixtle	37
Fig. 15: Material compuesto con arreglo al azar de fibras	38
Fig. 16: Contenedor de basura fabricado con pectina de nopal y residuos urbanos	47
Fig. 17: Árbol del mezquite en flor	48
Figs. 18 y 19: Distribución de especies de mezquite en México	49
Fig. 20: Goma de corteza de mezquite	51
Fig. 21: Vainas de mezquite	51
Fig. 22: Las nanoestructuras provocan que las gotas de agua formen esferas	54
Fig.23: <i>Neverwet</i> puede ser usado en cualquier superficie.....	54
Fig. 24: La presentación de <i>Hydrobead</i> es en aerosol	54
Fig. 25: Serpiente bicéfala de mosaico de turquesa. <i>British Museum</i> . Arte azteca	57
Fig. 26: Tallos de candelilla recubiertos con cera	58
Fig. 27: Distribución geográfica de candelilla en México	59
Fig. 28: Muestras de propuesta de material 1 con diferentes acabados	71
Fig. 29: Algunas muestras con variabilidad en la incorporación de fibra de ixtle	75
Fig. 30: Muestra con mayor cantidad de fibra de nopal	76
Fig. 31: Muestra con menor cantidad de fibra de nopal	76
Fig. 32: La muestra que no contenía fibra de nopal no es tan resistente	76
Fig. 33: Muestras de propuesta de material 2 con diferentes acabados	77
Fig. 34: Molde para piezas cilíndricas de material 1	79
Fig. 35: Comparación entre las dimensiones finales de las piezas con respecto al molde	79
Fig. 36: Se cortará el exceso de material para alcanzar el tamaño especificado	80
Fig. 37: A través de alambres se iba graduando la presión de las rejillas	80
Fig. 38: Las probetas presentan cierta deformación al secar	80
Fig. 39: Las probetas de llenaron de moho al secar en un lugar encerrado, frío y húmedo	80
Fig. 40: Comparativo de encogimiento con respecto al molde entre el material 1 y 2	81

Fig. 41: Remanentes de fibra de ixtle	81
Fig. 42: Prueba de resistencia a la compresión M1	82
Fig. 43: Prueba de resistencia a la flexión M1	82
Fig. 44: Prueba de resistencia al impacto M1	82
Fig. 45: Prueba de resistencia a la compresión M2	83
Fig. 46: Prueba de resistencia a la flexión M2	83
Fig. 47: Prueba de resistencia al impacto M2	83
Fig. 48: Las manchas blancas son las zonas donde penetró el agua en la pieza	84
Fig. 49: En algunas áreas de las piezas el agua no logró penetrar	84
Fig. 50: Escala de dureza <i>Shore</i>	87
Fig. 51: Buena capacidad de maquinado de material 1 en router CNC	91
Fig. 52: Carcasas para circuitos electrónicos <i>open source</i>	91
Fig. 53: Paneles decorativos	91
Fig. 54: Carcasas para instrumentos electrónicos <i>open source</i>	92
Fig. 55: Reloj de pared grabado en láser	92
Fig. 56: Marcos y molduras cortadas en CNC	92
Fig. 57: Bases de lámparas	93
Fig. 58: Piezas para tablero de juegos	93
Fig. 59: Piezas de joyería	94
Fig. 60: Como sustituto de cerámica decorativa	94
Fig. 61: Pruebas en material 2 que simulan acabados cerámicos	94
Fig. 62: Marcos para cuadros, espejos, fotografías	94

Índice de tablas

Tabla 1: Cuadro comparativo de oportunidades y amenazas de aprovechamiento de nopal	28
Tabla 2: Evaluación de nopal	34
Tabla 3: Evaluación de lechuguilla	39
Tabla 4: Evaluación del mezquite	52
Tabla 5: Evaluación de la candelilla	61
Tabla 6: Probetas para alternativa de material 1	78
Tabla 7: Probetas para alternativa de material 2	78
Tabla 8: Probetas para recubrimiento	79
Tabla 9: Tabla comparativa de resistencia a la compresión de diferentes materiales	85
Tabla 10: Tabla comparativa de resistencia a la flexión de diferentes materiales	85
Tabla 11: Tabla comparativa de resistencia al impacto de diferentes plásticos y resinas	86
Tabla 12: Tabla comparativa de punto de fusión o reblandecimiento	86
Tabla 13: Métodos de control de variables en producción de material 1	88
Tabla 14: Métodos de control de variables en producción de material 2	89
Tabla 15: Tabla de evaluación de material 1	95
Tabla 16: Tabla de evaluación de material 2	96
Tabla 17: Tabla comparativa de alternativas de materiales	97

Producción de materiales para el diseño a partir de vegetación desértica en México

Melissa Valencia Mirafuentes
Universidad Nacional Autónoma de México
Maestría en Diseño Industrial
Posgrado en Diseño Industrial

Síntesis

En México, la oferta de materiales sostenibles aplicables al diseño es escasa. Por lo tanto, a través del enfoque de esta disciplina y una perspectiva sistémica, esta investigación analizó la factibilidad de producir materiales biocompuestos a partir de fibras y aglutinantes provenientes de vegetación desértica del país; con la finalidad de producir una alternativa de materiales biodegradables que promuevan el cultivo de especies silvestres para rehabilitar terrenos degradados por prácticas invasivas como ganadería y cultivo de especies no nativas; detonando el desarrollo regenerativo local.

En esta investigación se realizó un análisis de los materiales biocompuestos y se procedió a hacer una prospección de distintos vegetales de la zona de estudio de los que se puedan extraer tanto fibras como sustancias aglutinantes; por lo que fueron investigadas las especies de nopal, lechuguilla, candelilla y mezquite. De cada una de éstas, se profundizó en aspectos técnicos, ambientales, económicos y sociales para determinar si su aprovechamiento es factible.

Posteriormente se procedió a la fase de experimentación, que siguió un método propio de desarrollo y no contó con asesoría especializada ni instalaciones de alta tecnología. Sin embargo, se lograron desarrollar dos alternativas de materiales, que fueron analizadas y evaluadas a través de pruebas de caracterización mecánica y criterios de sustentabilidad para determinar si eran susceptibles a ser aplicadas en proyectos de diseño.

Este trabajo concluyó que es técnicamente posible desarrollar materiales biocompuestos elaborados a partir de vegetación desértica en México para su aplicación en la industria del diseño, sin necesidad de contar con instalaciones de alta tecnología; por lo que este tipo de esquemas de aprovechamiento de especies vegetales tienen el potencial de ser implementados en zonas rurales para promover el desarrollo local, conformando sistemas productivos en los que el beneficio común de todos sus actores –incluyendo el medio natural- sea el objetivo primordial.

Palabras clave

Sustentabilidad, desarrollo regenerativo, desierto mexicano, biocompuestos, biopolímeros, nopal, agave lechuguilla, ixtle, candelilla, mezquite.

Production of materials for design projects out of desert flora in México

Melissa Valencia Mirafuentes
Universidad Autonomus University of México
Master of Industrial Design
Postgraduate Programme in Industrial Design

Abstract

In the Mexican market, very few alternatives of sustainable materials for design projects can be found. With this in mind, through the design discipline and a systemic perspective, this investigation analyzes the feasibility of producing biocomposite materials out of vegetation from arid and semi-arid regions of the country; so as to generate an alternative of biodegradable materials that detonates local regenerative development through the rehabilitation of areas affected by invasive practices such as livestock farming and production of nonnative plants, by promoting the cultivation and utilization of endemic species.

This investigation makes a brief analysis of biocomposite materials and studies technical, environmental, economic and social aspects of different species of desert flora from which fibers and binding substances can be extracted, such as the prickly pear plant, agave lechuguilla, candelilla and mesquite; in order to determine the feasibility of their sustainable exploitation.

After that, despite the lack of high technology equipment or specialized counselling that characterizes this work, an experimentation phase is developed in which two different alternatives of materials are generated.

These proposals are analyzed and evaluated through mechanical testing and sustainability criteria in order to determine if they are indeed a good option for materializing design projects.

This work concludes that it is technically possible to develop biocomposite materials out of vegetation from arid and semi-arid regions of México for design products with little technology, and that these type of schemes for using natural resources for the production of materials, hold the potential to be implemented in rural areas; creating productive systems that have the ability to promote local development.

Key Words

Sustainability, regenerative development, mexican desert, biocomposites, biopolymers, prickly pear plant, agave lechuguilla, ixtle, candelilla, mesquite.

Introducción

A pesar de la creciente problemática ambiental que resulta de la explotación de recursos naturales para la fabricación de bienes de consumo y la ineficiencia para gestionar los residuos sólidos en México, aún no se cuenta en el mercado nacional con una oferta real de materiales para el diseño que sean verdaderamente sustentables. Esto en lugar de ser considerado como un problema, es una oportunidad para que los diseñadores se involucren en la planeación y desarrollo de los mismos a través de su disciplina; integrando y gestionando proyectos sistémicos¹ que no sólo beneficien a un usuario final, sino a toda una cadena productiva.

La producción de materiales biocompuestos representa un área de oportunidad para generar diferentes beneficios para nuestro entorno, ya que están elaborados a partir de fibras y aglutinantes² naturales, lo cual facilita su biodegradación y reciclaje. Además, su fabricación tiene el potencial de incentivar el aprovechamiento de residuos agroindustriales y el cultivo de especies nativas en zonas

determinadas, favoreciendo la restauración ambiental y el desarrollo económico regional.

En México existe una gran diversidad biológica que puede favorecer este tipo de proyectos. Sin embargo, debido a que gran parte del territorio mexicano está conformado por zonas áridas y semiáridas, el presente trabajo se enfoca en analizar la factibilidad de producir materiales a partir de la vegetación que prolifera en dichas zonas, ya que en ellas se conjuntan una serie de problemáticas sociales, ambientales y económicas que podrían ser atacadas al ofrecer este tipo de alternativas de desarrollo integral.

Por lo tanto, la hipótesis de esta investigación señala que es posible producir materiales biocompuestos aplicables al ámbito del diseño, a partir de especies vegetales silvestres de zonas áridas y semiáridas; de manera que se fomente su cultivo y proliferación; y el objetivo consiste en desarrollar propuestas de materiales biocompuestos elaborados a partir de fibras y aglutinantes obtenidos a partir de dichas especies, que tengan el potencial de ser aprovechados en el ámbito del diseño en México.

¹ Referente a la totalidad de un sistema.

² Sustancia que une o amalgama fragmentos o partículas de materiales para formar una masa compacta.

Para tal efecto, se desarrolló una metodología específica para este proyecto, fundamentada en un enfoque sistémico y en la disciplina del diseño. Por lo tanto, se parte de la detección de necesidades dentro del sistema de producción de un material, el cual involucra el medio biológico, los productores de materia prima, los diseñadores y el consumidor final. Una vez que se detectan estas necesidades se procede a construir el marco teórico, el cual abarca aspectos sociales, ambientales y económicos de la zona caso de estudio, características de los materiales biocompuestos, así como compuestos químicos derivados de las especies silvestres y procesos de producción que puedan ser aprovechados de forma sustentable para el desarrollo de éstos materiales.

Una vez que se identifican algunas especies cuyas fibras y aglutinantes puedan ser utilizados para la elaboración de biocompuestos, se procede a la fase de experimentación que consiste en realizar un conjunto de pruebas utilizando los diferentes elementos identificados, aplicando criterios derivados del marco teórico para lograr productos congruentes con las necesidades detectadas.

Una vez que se desarrollan las propuestas de materiales, se procede a analizarlas a través de pruebas de caracterización mecánica y evaluaciones que aplican criterios ambientales, sociales, tecnológicos y económicos. Asimismo, se enumeran algunos métodos de control de variables en la producción de estos materiales para mejorar su calidad y asegurar la uniformidad de la misma. Y por último se analizan diferentes aplicaciones de los materiales en el diseño.

Sobre el desarrollo de la investigación

Debido a que no se contaba con una formación previa en ingeniería y tampoco con algún modelo o guía para el proceso de elaboración de materiales, la investigación experimental se basó principalmente en datos obtenidos en la bibliografía consultada; los cuales en algunas ocasiones eran tan técnicos y especializados que resultaban poco comprensibles. Por lo tanto, es altamente probable que debido a que mucha de la información encontrada no pudo ser correctamente descifrada y aplicada, se hayan perdido algunas oportunidades de mejoras en el producto final.

Por otro lado, no se contó con supervisión o asesoría técnica especializada de ningún tipo y los métodos de experimentación utilizados se desarrollaron con base en criterios personales. Esto ocasionó que no se tomaran en cuenta algunas variables que posteriormente se identificaron como determinantes para asegurar la calidad y uniformidad de las muestras del material. Sin embargo, el seguir algún método preestablecido o los criterios de personal experto en el desarrollo de materiales, podría haber limitado no solo la manera en la que se exploraban nuevas alternativas de formulaciones, sino el enfoque mismo de la investigación.

Por último, debido a que durante el proceso de experimentación no se contó con apoyo técnico, tampoco se tuvo acceso a instalaciones equipadas con maquinaria de alta tecnología; sin embargo, esto se convirtió en una oportunidad para generar materiales cuyo proceso de producción no requiriera de grandes inversiones en desarrollo tecnológico especializado, lo que le permitió a esta investigación encontrar una mayor concordancia con la realidad económica y tecnológica del país.



Corazones de agave
Técnica: Digital
Melissa Valencia M.

Antecedentes

El enfoque reduccionista del racionalismo cartesiano que ha sido parte esencial del pensamiento científico durante los últimos siglos y que consiste en dividir los fenómenos o problemas a analizar en cuantas partes sea posible para comprenderlos mejor, ha fomentado una visión de un mundo fragmentado y una percepción utilitaria y materialista del entorno.

El físico y teórico en sistemas Fritjof Capra, asegura que “aceptar la visión de Descartes como la verdad absoluta y su método como una manera válida de lograr el conocimiento ha sido una de las principales causas de nuestro desequilibrio cultural”.³

Al hacer esta afirmación, Capra no pretendía descartar el valor de dicho método que ha sido el impulsor de grandes descubrimientos científicos y desarrollos tecnológicos en los últimos siglos. Sin embargo, el hecho de realizar sistemáticamente labores de investigación bajo esa perspectiva reduccionista sin tomar en cuenta que los fenómenos que se estudian son el resultado de conexiones e interacciones entre una gran variedad de factores, ha dado

³ Fritjof Capra, *El Punto crucial: ciencia, sociedad y cultura naciente*, (México: Editorial Pax, 1992), 60.

como resultado una visión incompleta y distorsionada de la realidad; misma que se refleja en la actual problemática social, económica y ambiental en el mundo.

A mediados del S. XX, el biólogo austriaco Herbert Von Bertalanffi desarrolló un trabajo de investigación que retomó conceptos elaborados siglos atrás por griegos como Aristóteles, quien postuló que “el todo, en efecto, es necesariamente anterior a la parte”.⁴ Y como Heráclito, quien aseguraba que “el cosmos es un cambio permanente donde todas las cosas se encuentran interrelacionadas, afectándose mutuamente”.⁵

El trabajo de Bertalanffi dio lugar a la Teoría General de Sistemas, la cual parte de la premisa de que para comprender un fenómeno es necesario comprender el funcionamiento de las partes que lo componen y su papel en el desempeño global.

Con el paso del tiempo, esta teoría ha cobrado cada vez más relevancia y las aproximaciones con enfoque sistémico a los problemas actuales

⁴ Emilio Estrada, *Teoría general de sistemas aplicada a la solución integral de problemas* (México: Universidad del Valle, 1996), 34.

⁵ Pedro Miramontes, *El estructuralismo dinámico* (México: UNAM, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, 1999), 11-12.

se difunden con mayor rapidez en la ciencia, la tecnología y también en el ámbito del diseño. Por lo tanto, la manera en que esta disciplina se ejerce se está transformando al tomar en cuenta esta nueva forma de concebir la realidad, adoptado una perspectiva holística para el desarrollo de productos o servicios, los cuales son percibidos como parte integral de un sistema, no como elementos aislados.

La teórica del diseño Luz del Carmen Vilchis considera que “todo problema de diseño se inicia con un esfuerzo por lograr un ajuste entre la forma en cuestión y su contexto”.⁶ Además, si al diseño se le considera como una actividad que posee aspectos técnicos en su ejercicio, resulta oportuno también mencionar el planteamiento de Jaime Fisher y Salazar que propone ver a la técnica “como un conjunto de decisiones en el que se ha de considerar el contexto situacional bajo el que tienen lugar”.⁷

Por lo tanto, si adoptamos una perspectiva sistémica es pertinente cuestionarse la manera en que se define o delimita el contexto o esferas en el que se insertará o interactuará un objeto a producir, ya que en muchos casos este

se encuentra restringido al entorno inmediato del usuario, dejando fuera otros aspectos de gran relevancia.

Sin embargo, como lo señala Bertrand Gille, “la innovación se sitúa en un punto de convergencias y estas a su vez deben situarse al nivel de los principales sistemas, como lo son el sistema técnico, social, político e institucional”.⁸ Gille señala que “se debe asegurar la coherencia del sistema técnico con los demás sistemas”.⁹ Y a pesar de que él no lo menciona en su texto, uno de estos necesariamente debe ser el sistema natural, ya que en la práctica del diseño debe procurarse que cualquier proyecto desarrollado sea congruente con el entorno a través de la aplicación de distintas estrategias, como por ejemplo el uso de materiales amigables con el medio ambiente para la fabricación de productos. Desgraciadamente, en nuestro país no existe una oferta significativa de éstos en el mercado y tampoco son muchos los diseñadores que estén realmente comprometidos con la elección de medios físicos de bajo impacto ambiental para materializar sus ideas.

⁶ Luz del Carmen Vilchis, *Metodología del diseño: fundamentos teóricos* (México: Claves Latinoamericanas, 2002), 46.

⁷ Jaime Fisher y Salazar, *El hombre y la técnica* (México: Fondo de Cultura Económica, 2010), 26.

⁸ Bertrand Gille, *Introducción a la historia de las técnicas* (Barcelona: Crítica, 1999), 113.

⁹ *Ibid.*, 129.

Tal vez una de las razones de peso que dan lugar a esta situación podamos encontrarla en la falta de *prudencia* que predomina en el sistema productivo, la cual Jaime Fisher comprende como “el manifestar la capacidad - radicada en el sustantivo razón- para deliberar sobre el todo sistémico (biocultural) de una práctica humana, lo cual incluye los medios, fines y resultados efectivos y potenciales”.¹⁰ En el mismo texto, Fisher señala que “prudencial es entonces una característica de la práctica proporcionada, equilibrada, valga decir, racional”.¹¹

De acuerdo a las acepciones proporcionadas por Fisher, es evidente que la falta de racionalidad en el sistema productivo de objetos de consumo se manifiesta en la incongruencia entre los medios y los fines, donde en este caso en particular, los materiales son los medios y los fines son el uso que se le da a los productos. Dicha incongruencia radica en el hecho de que los materiales son aquello que hace tangible los conceptos que diseñamos, pero que suele permanecer en nuestro entorno una vez que éstos últimos se han olvidado.

En muchos casos los materiales solo tienen valor como transportadores de símbolos e ideas y cuando dejan de cumplir esa función, son descartados. Desechamos un objeto porque antes ya desechamos la idea que tuvimos de éste cuando lo adquirimos. Ya no significa lo mismo o a veces deja de tener sentido completamente.

Consumimos el concepto del producto, pero su materia nunca se integra a nuestro organismo. Nunca se vuelve parte de nuestra biología. Lo adquirimos y lo descartamos cuando pierde su significado. Sin embargo, persiste su representación física incapaz de desaparecer con la misma facilidad que su simbolismo, ya que son pocas las especies capaces de asimilar el desecho material de ese consumo inmaterial y difícilmente se reintegra a los ciclos naturales de energía en el planeta para su reaprovechamiento. Por lo tanto, el ciclo de vida de un producto no está sincronizado o empatado con el ciclo de vida del material con el que está fabricado.

Para Fisher *la racionalidad califica la elección prudente, proporcionada entre medios, objetivos, fines y contextos de operación práctica*.¹² Siguiendo esta lógica, podría decirse que los medios no están proporcionados con

¹⁰ Jaime Fisher y Salazar, *El hombre y la técnica* (México: Fondo de Cultura Económica, 2010), 114.

¹¹ *Ibid.*, 116.

¹² *Ibid.*

los fines. Por lo tanto, gran parte de los productos que adquirimos resultan irracionales. Así mismo, en el ámbito industrial aún prevalece la tendencia a que los productos se desarrollen para ser adquiridos y utilizados por un usuario, cumpliendo así su propósito y olvidando que existen otros elementos en el sistema que interactúan con dicho objeto en otras fases de su ciclo de vida.

Para Klaus Krippendorff, “el concepto de *el usuario* –herencia del discurso de la era industrial- es una construcción conveniente para aquellos diseñadores que no tienen la voluntad de enfrentar el reto de la multiplicidad de concepciones que un diseño necesita tomar en cuenta”.¹³ Por lo tanto, sugiere “retirar el concepto del usuario singular a favor de una multiplicidad de interesados que juegan diferentes papeles dentro de una red para traerlo a la forma”.¹⁴

Por lo tanto, ¿por qué no concebir que la finalidad de un producto pueda extenderse más allá de su mera utilización por un solo usuario y descartar la idea de que la vida de un producto comienza cuando es adquirido y termina cuando es desechado? ¿Por qué no pensar que

todo el proceso de materialización de un producto no tiene un fin en sí mismo sino un fin más allá de sí mismo y comprender que a través de la materialidad de un proyecto podemos incidir favorablemente en el entorno, la sociedad y en la vida de todos aquellos que forman parte de la cadena productiva?

Desarrollo regenerativo

Existe actualmente en la disciplina del diseño – pero más específicamente en el área de arquitectura- una tendencia relativamente nueva llamada *Desarrollo Regenerativo*, en la que algunos arquitectos como Bill Reed, John Lyle y Andrés Edwards proponen el mejoramiento de la calidad de los sistemas naturales y los asentamientos humanos a través de un codesarrollo de los mismos,¹⁵ y apuestan a la realización de proyectos que tengan la capacidad no solamente de reducir su impacto negativo en el entorno, sino de generar un impacto positivo en el mismo a través de la implementación de estrategias sistémicas. De esta manera las actividades económicas, el medio ambiente y la comunidad se interrelacionan generando círculos virtuosos o simbiosis entre ellos.

¹³ Klaus Krippendorff, “The Cybernetics of Design and the Design of Cybernetics”. *Kybernetes* 36, 9-10, (2007): 1381-1392.

¹⁴ *Ibid.*

¹⁵ Andres Edwards, *Thriving Beyond Sustainability: Pathways to a Resilient Society*. (BC, Canada: New Society Publishers), 2010, 76.

Poco a poco esta tendencia comienza a permear a otras ramas del diseño, como el diseño industrial. Un ejemplo de esto es el programa *100 trees* de la empresa *Vers*, la cual se asoció con la *Arbor Day Foundation* y el *US Forest Service* para el desarrollo de este proyecto en el que se fabrican carátulas de madera para *iphones*. Lo interesante del programa es que se cultivan 100 árboles por cada uno que es usado en la producción del producto, rehabilitando áreas de parques naturales dañadas por incendios y generando empleo en la región.¹⁶



Fig. 1: Carátulas para iPhone marca Vers

Este tipo de esquemas de aprovechamiento y regeneración de recursos renovables ligados a la producción de materiales aplicables al diseño industrial, podría ser aplicado de una forma

similar en la elaboración de *materiales biocompuestos*, los cuales han ido cobrando auge en el mercado internacional por ser una alternativa sustentable a materiales convencionales. Esto se debe a que están elaborados a partir de fibras y aglutinantes de origen natural; por lo tanto su producción podría fomentar el cultivo de las especies vegetales que le sirven como materia prima, repoblando zonas degradadas con vegetación nativa y promoviendo también el desarrollo económico y social de un lugar determinado.

El desarrollo de materiales biocompuestos podría verse favorecido en nuestro país debido a la gran diversidad de ecosistemas y riqueza vegetal que en él se encuentran. Sin embargo, más del 50% del territorio nacional se encuentra conformado por zonas áridas y semiáridas;¹⁷ donde se conjuntan una serie de problemáticas sociales, ambientales y económicas. Por lo tanto, la presente investigación analizará la factibilidad de producir biocompuestos con especies vegetales de estas zonas con el fin de promover el desarrollo regional regenerativo.

¹⁶ Jaimy Heimbuch, "Beautiful Wood iPhone Skin Helps with Reforestation," Treehugger, consultada el 13 de febrero de 2014, <http://www.treehugger.com/gadgets/beautiful-wood-iphone-skin-helps-with-forestation.html>.

¹⁷ Martha C. Cervantes, *Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México* (México: UNAM, Instituto de Geografía, 2002), 17.

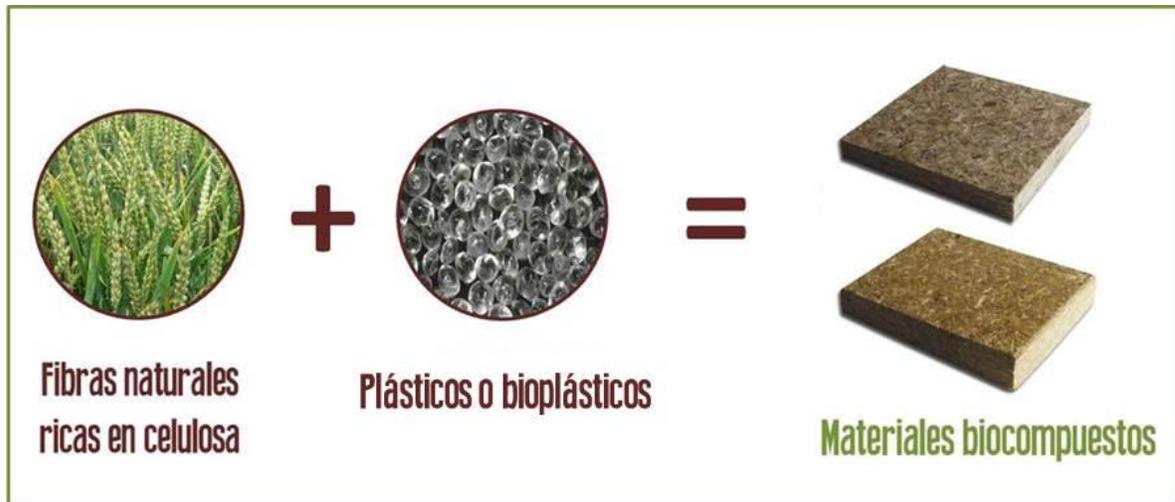


Fig. 2: Composición de los materiales biocompuestos

Problemática en zonas áridas y semiáridas

Las zonas áridas y semiáridas de México presentan un clima extremo, con precipitaciones pluviales escasas y temperaturas muy variables.¹⁸ Por lo tanto, la agricultura de temporal es precaria y complicada; y pesar de eso, los campesinos continúan basando una parte importante de su ingreso en esta actividad, aunque eso signifique la pérdida total de sus cultivos cuando las condiciones climáticas son desfavorables.

Por otro lado, grandes extensiones de terreno que son utilizadas para el cultivo de temporal, son despojadas de las especies nativas en su totalidad al momento de preparar la tierra; pero

¹⁸ SEMARNAT, *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental*, (México: SNIARN, 2012).

cuando ésta ya no es productiva, se abandona propiciando su erosión.¹⁹

Paradójicamente, estas zonas desérticas poseen gran riqueza vegetal, como por ejemplo el desierto Chihuahuense, el cual es uno de los desiertos con mayor biodiversidad del mundo.²⁰ Y es precisamente esta variedad de especies vegetales las que están adaptadas al tipo de clima y terreno, por lo que son más resistentes y productivas.

¹⁹ Juan José López, Jesús Manuel Fuentes y Andrés Rodríguez, "Industrialización de la Tuna Cardona (*Opuntia streptacantha*)," *Journal of the Professional Association for Cactus Development* (1997): 169-175.

²⁰ Mauricio Cotera-Correa, *Programa Ecorregional de Conservación del Desierto Chihuahuense*. (México: Pronatura Noreste A.C. Chihuahua, 2000), <http://bva.colech.edu.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/HASH013e5b79611bd115d179a580/bio024.pdf?sequence=3>.



Fig 3: Mapa que muestra las áreas áridas y semiáridas en México

En algunos casos, el desarrollo de proyectos de aprovechamiento de especies silvestres en estas zonas desérticas de México, no solo resulta deseable sino apremiante. Un ejemplo de esto se ve reflejado en la problemática que enfrentan los pobladores wixárikas de la zona de Wirikuta, en el altiplano de San Luis Potosí, quienes están luchando contra la explotación minera en esa zona a través de la organización de cooperativas para desarrollar proyectos de aprovechamiento de recursos naturales. De esta manera pretenden demostrar a los ejidatarios que las tierras pueden ser productivas de forma

sostenible para desincentivar la venta de ejidos a las empresas mineras canadienses. Tal es el caso de la cooperativa *Flor del Desierto*, la cual está conformada por 80 mujeres de cuatro comunidades distintas del altiplano que producen y comercializan productos alimenticios, medicinales y de aseo personal elaborados a partir de especies silvestres de la región.²¹

²¹ "Cooperativa la Flor del Desierto," Mazacalli Casa del Venado, consultada el 14 de mayo de 2014, <http://www.mzacalli.org.mx/proyectos/proyectos-productivos/cooperativa-la-flor-del-desierto> .



Fig. 4: Wirikuta es la tierra sagrada de los Wixárikas

Metodología de la investigación

La metodología de la presente investigación se encuentra fundamentada en un enfoque sistémico y en la disciplina del diseño, la cual funge como eje central integrador de este proyecto multidisciplinario; organizando, procesando y evaluando la información proveniente de otras áreas. En este eje, confluyen aspectos técnicos de diferentes ámbitos del conocimiento; tales como química orgánica, ingeniería en materiales, biología, ecología, sociología y antropología.

De acuerdo a la metodología del diseño, la investigación parte del planteamiento de un problema y la detección de necesidades. Sin embargo, debido a la aproximación sistémica a través de la cual se aborda el problema, las necesidades a tomar en cuenta en este caso particular, no son solo las de los consumidores finales de un producto sino también las de los productores de la materia prima (ejidatarios y campesinos), los diseñadores y el entorno natural; es decir, de todo el sistema de interesados que se encuentran relacionados con dicho producto.

A continuación se enlistan las necesidades detectadas en los diferentes interesados:

- Las necesidades de la industria del diseño: Esta industria busca reducir su impacto ambiental, utilizando alternativas de materiales que sean técnica, social, económica y ecológicamente viables.
- Las necesidades del consumidor: Los consumidores son más conscientes con respecto a su huella ambiental y buscan adquirir productos que reflejen esa conciencia.
- Las necesidades de los ejidatarios: Los ejidatarios necesitan tierras productivas que les brinden recursos suficientes para tener una vida digna y arraigo a la tierra.
- La necesidad del medio ambiente: Regeneración, productividad, recuperar especies silvestres. Reducir la contaminación por productos que no ingresan a los ciclos de aprovechamiento, y por procesos industriales y residuos tóxicos.

Debido a la amplitud del tema y a las limitaciones de tiempo, todos los aspectos mencionados se tomarán en cuenta de alguna manera. Sin embargo, en donde se pretende

profundizar es la factibilidad técnica de la producción del material. Esto se debe a que si el material no es técnicamente viable, no resulta posible entretrejer esta red sinérgica²² entre las diferentes esferas del sistema.

El marco teórico

Los objetivos del marco teórico consisten en construir un panorama general de las condiciones sociales, económicas y ambientales de la zona de caso de estudio a través de investigación bibliográfica y entrevistas a algunos actores de la agroindustria de la región estudiada; fundamentar los aspectos técnicos del desarrollo del material a través de un análisis de literatura sobre biocompuestos: su historia, características generales, propiedades, ventajas y desventajas, usos en la industria, así como alternativas de compuestos químicos y procesos de producción susceptibles a ser utilizados en la fase de experimentación.

Para el desarrollo del material como tal, la investigación teórica comenzará con una prospección de especies vegetales en la región del altiplano potosino que tengan el potencial de ser aprovechadas por sus características físico-químicas en las fases de experimentación,

²² Cuando el efecto del trabajo de dos o más agentes actuando en conjunto es mayor al de los agentes actuando por separado.

su disponibilidad en el medio natural y por el impacto socio-ambiental positivo que pueda tener su cultivo en esta zona.

Una vez que sea elegida alguna de estas especies se evaluará para determinar si es factible su aprovechamiento. Los criterios de evaluación utilizados se describen a continuación:

Criterios de evaluación en la selección de especies vegetales para experimentación

Características físico químicas de la especie vegetal (alguna de las siguientes):

- Poseer fibras de celulosa²³
- Estar conformada por polisacáridos²⁴ o proteínas
- Que posea alguna sustancia con propiedades aglutinantes y adhesivas

Disponibilidad:

- Que la especie a aprovechar crezca de forma abundante y de forma natural en la zona de estudio
- Que la especie sea actualmente aprovechada de forma sustentable, lo que significa que no sea sobre-

explotada ni que su extracción utilice procesos contaminantes.

Factibilidad técnica de extracción

- Que la extracción del compuesto a utilizar no requiera de procesos altamente tecnificados.

Impacto ambiental de su explotación:

- Que la especie vegetal a aprovechar tenga el potencial de ser industrializada con procesos limpios. Esto es, que no contaminen el entorno con residuos tóxicos o que no sean aprovechables dentro de los ciclos biológicos y tecnológicos.

Impacto social de su explotación:

- Que su producción signifique mejoras en la calidad de vida de los campesinos a través de la generación de empleo y remuneración justa, evitando así el abandono de sus tierras y la migración hacia las ciudades.

Posteriormente, se procederá a buscar información acerca de los diferentes usos que se le ha dado a la sustancia o material extraído de ella en la industria y de qué manera se

²³ Polisacárido que compone parte de la pared celular de plantas lignificadas.

²⁴ Carbohidratos que sirven como reserva energética para seres vivos.

combina con aditivos²⁵ y otras sustancias para conferirle determinadas características físicas y mecánicas.

Módulos de experimentación

Una vez que se cuente con información suficiente sobre sustancias y procesos, se procederá a la fase de experimentación, conformada por diferentes módulos, los cuales estarán conformados por una serie de experimentos con la sustancia o aditivo recién incorporado en diferentes proporciones a una mezcla base.

La experimentación se caracterizará por no seguir algún método preestablecido de desarrollo, ya que no se cuenta con asesoría ni apoyo técnico en el área de laboratorio, por lo que los experimentos serán diseñados y realizados siguiendo algunos procedimientos y datos extraídos de la literatura referenciada, así como criterios personales, los cuales serán explicados en cada módulo.

Características del área de trabajo para experimentación

Se buscará que el área de trabajo que fungiría como laboratorio contara con las siguientes características:

- Buena iluminación y ventilación
- Instalaciones de gas, agua y luz
- Superficies de trabajo espaciosas

Utensilios

- Estufa de gas
- Horno eléctrico
- Licuadora
- Procesador de alimentos
- Moldes de pyrex
- Ollas pequeñas con superficie antiadherente
- Palas de silicón
- Cucharas dosificadoras
- Charolas de secado
- Tamices
- Moldes para vaciado

²⁵ Sustancia que al agregarse a otra, altera o mejora sus características físicas.

Sistemas de medición

Como se mencionó anteriormente, debido a que no se cuenta con una formación técnica en el área de experimentación con materiales, se utilizará un método propio que consiste en medir todas las sustancias por volumen de masa y no por peso; por lo que se utilizará un sistema de cucharas dosificadoras, ya que resulta más práctico y sencillo rellenar éstas que pesar el material para muestras muy pequeñas. Obviamente este método no es tan exacto como una báscula de precisión, por lo que al momento de refinar una fórmula sí resulta necesario usarla.

Sin embargo, los experimentos estarán más enfocados en analizar la interacción entre los diferentes elementos al ser mezclados, por lo que se jugará con variaciones de proporción significativas en los mismos entre cada experimento y no se requerirá de mediciones tan precisas.

Desarrollo de los experimentos

El diseño de los experimentos se definirá en principio a partir de la información obtenida previamente y por los objetivos a alcanzar en

cada uno de ellos; pero a medida que se desarrollen los procesos y se obtengan resultados, la experimentación tomará nuevas direcciones y se irá sustentando a sí misma. Cada experimento generará un resultado que será evaluado y servirá como guía que determinará la dirección y el objetivo a alcanzar en el siguiente experimento.

Evaluación de resultados

Las muestras resultantes del material serán evaluadas a través de cuatro parámetros principalmente:

1. Aspectos técnicos:

- Que la producción del material no requiera de procesos altamente tecnificados que representen grandes inversiones para su desarrollo.
- Que en estos procesos intervenga mano de obra humana.
- Que se utilicen insumos de fácil acceso.
- Que presente características físicas y mecánicas potencialmente aprovechables para el desarrollo de materiales como dureza, resistencia a los impactos, a la compresión y flexión.

2. Aspectos sociales:

- Que la producción del material implemente procesos de fabricación que no pongan en riesgo la salud o bienestar de los productores a través de emisiones contaminantes o potenciales accidentes en el lugar de trabajo.
- Que fomente el comercio justo y el empleo digno.
- Que goce de aceptación por parte del consumidor.

3. Aspectos ambientales:

- Que sea un material biodegradable.
- Que utilice ingredientes 100% naturales.
- Que sus procesos de producción no generen emisiones contaminantes ni residuos que no se puedan reaprovechar por la industria o por los sistemas naturales.
- Que su producción promueva la reforestación en zonas determinadas y preserve la diversidad genética de especies silvestres.

4. Aspectos económicos:

- Que tenga bajos costos de producción.

Capítulo 1.

Los materiales biocompuestos

Como se señaló anteriormente, biocompuestos son materiales conformados por una carga de fibras vegetales o partículas de refuerzo de origen natural que están aglutinadas con una matriz²⁶ plástica o bioplástica.

1.1 Fibras vegetales

Para la fabricación de materiales biocompuestos se pueden utilizar diferentes tipos de fibra vegetal. Sin embargo, las propiedades particulares de cada una determinará las características finales del material y los procesos empleados para la producción del mismo.

En general, las fibras vegetales consisten de celulosa cristalina, hemicelulosa²⁷ amorfa, lignina²⁸, ceras, proteínas y pectina. Estas fibras se clasifican de la siguiente manera:²⁹

²⁶ Sustancia aglutinante dentro de los materiales compuestos.

²⁷ Junto con la celulosa, compone parte de la pared celular de plantas lignificadas, representando casi el 30% de la composición total de la madera.

²⁸ Es un biopolímero que mantiene unidas las paredes celulares fibrosas de plantas leñosas.

²⁹ Lawrence T. Drzal, Amar K. Mohanty y Manjusri Misra, "Bio-composite Materials as Alternatives to Petroleum Based Composites for Automotive Applications," *East Lansing*, (5 de septiembre, 2001): 3.

1. Fibras de paja que incluyen rastrojo³⁰ de maíz, trigo y arroz
2. Fibras maderables duras y blandas
3. Bio-fibras no maderables, las cuales se subdividen en:
 - Fibras de tallos como la linaza, el yute y el cáñamo.
 - Fibras de hojas como el sisal, el henequén, palma, plátano, etc.
 - Fibra de frutas como la fibra de coco.
 - Fibra de semilla como el algodón

Las ventajas que representa utilizar cargas de fibras naturales con respecto a fibra de vidrio para la producción de materiales compuestos son su bajo costo, baja densidad, baja abrasión dérmica, mejores capacidades aislantes y absorción de sonido, resistencia mecánica, bajo consumo energético, reciclabilidad y biodegradabilidad.³¹ Gracias a estas características, actualmente estos materiales son utilizados en la industria biomédica, automotriz, de construcción y de componentes electrónicos.³²



Fig. 5: Material biocompuesto utilizado en la industria automotriz

Sin embargo, estos materiales también presentan ciertas desventajas. Una de ellas es que debido a su contenido de fibra natural, tienden a sufrir ataques biológicos como hongos o moho. Asimismo, presentan problemas de compatibilidad con polímeros, absorción de agua y degradación durante su procesado,³³ además sus costos de producción se elevan debido a los procesos posteriores a la cosecha de la fibra como el lavado para remover tierra, fertilizantes, pesticidas, etc., el secado para disminuir el contenido de humedad y el cortado para reducir la longitud y el almacenamiento.

³⁰ Residuos de hojas y tallos que queda en los campos de cultivo después de cosechar.

³¹ Amar K. Mohanty, Manjusri Misra y Lawrence T. Drzal, *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. (Florida: CRC Press, 2005), 5.

³² Srikanth Pilla, *Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications*. (New Jersey: John Wiley & Sons, 2011), 13.

³³ Minh-Tan Ton-That, Johanne Denault. "Development of Composites Based on Natural Fibers" (conferencia presentada en el 50th Annual General Meeting and 101th Scientific Session "Needs and Challenges in Textile Materials", Ottawa, Ontario, 13 de abril, 2007).

Prospección de uso de fibras naturales en México

En México existe una gran diversidad de climas y terrenos que favorecen la riqueza biológica. Al día de hoy se tienen registradas medio millar de especies vegetales en el territorio nacional.³⁴ Por lo tanto son muchos los tipos de fibras que pudieran ser aprovechados con este fin. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, este trabajo de investigación se enfocará en analizar la factibilidad de aprovechar especies vegetales que abunden en zonas áridas y semiáridas; por lo que se comenzará a analizar una de las especies más representativas de estos ecosistemas en nuestro país, la cual pertenece al género *Opuntia*, y es mejor conocida como *nopal*.

1.1.1 Factibilidad de aprovechamiento de fibra de nopal

El nopal posee dos tipos de fibra, las cuales se clasifican de acuerdo a su solubilidad en agua. La fibra soluble está conformada por mucílagos³⁵, gomas, pectinas y hemicelulosas; y la fibra insoluble se constituye por celulosa, hemicelulosa y lignina.³⁶

³⁴ Enrique Florescano, *El Patrimonio cultural de México* (México: Fondo de Cultura Económica, 1993), 100.

³⁵ Es una sustancia viscosa conformada por fibras solubles naturales.

³⁶ Carmen Sáenz, Horst Berger, *Utilización agroindustrial del nopal*. (Roma: Organización de las

Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2006), 15.

La fibra es uno de los subproductos más comercializados y analizados del nopal dentro de la industria alimentaria y farmacéutica debido a su alto valor nutricional y medicinal. Sin embargo, dentro de otros sectores industriales en nuestro país, este recurso ha sido sub-aprovechado.

En la industria de materiales biocompuestos, se buscan especies vegetales con alto contenido en fibra celulósica; como por ejemplo el cáñamo, el cual se ha popularizado dentro de la industria de los biomateriales debido a que posee un contenido del 67 a un 78% de celulosa en su composición total.³⁷

Por su parte, la variedad de nopal *Opuntia ficus-indica*, posee un porcentaje del 81.88% de este carbohidrato en su fibra deshidratada. Sin embargo, no todas las variedades de nopal presentan la misma composición química y algunas de ellas poseen un bajo contenido de celulosa. Por lo tanto, es necesario el análisis químico previo de la especie que se pretende utilizar con estos fines debido a que todas

Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2006), 15.

³⁷ Global Hemp, "Structural changes in hemp fibers as a result of enzymatic hydrolysis with mixed enzyme Systems," Global Hemp, <http://www.globalhemp.com/1999/04/structural-changes-in-hemp-fibers-as-a-result-of-enzymatic-hydrolysis-with-mixed-enzyme-systems.html> (Consultada el 13 octubre, 2012).

presentan porcentajes de componentes distintos. Por otro lado, las cáscaras de las diferentes especies de tuna poseen un alto contenido en celulosa, y en nuestro país existe ya la patente de un proceso industrial para extraer esas fibras.³⁸

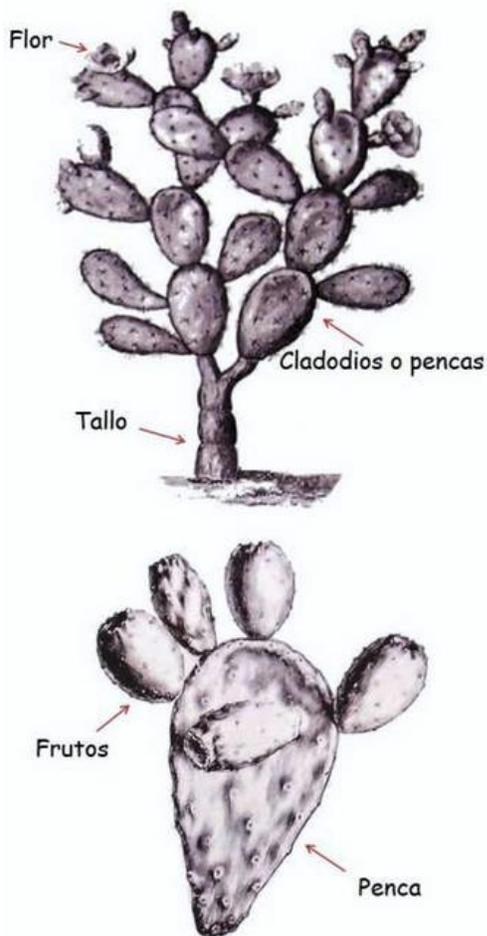


Fig. 6: Diagrama que muestra las partes que conforman la planta de nopal

³⁸ Juan José Lira, Proceso de obtención de alfa celulosa a partir de la cascara de tuna y penca de nopal. PA/a/1996/001641, solicitud 3 de mayo, 1996 y concesión 22 de febrero, 2001.

Aspectos ambientales del aprovechamiento del nopal

El nopal es una de las plantas más productivas en ambientes semiáridos. Puede ser cultivado en zonas desertificadas, incluso en terrenos erosionados y con pendiente donde no puede desarrollarse ningún otro cultivo, requiriendo también poca agua de riego. Asimismo, posee una alta capacidad de captación de CO₂ en el ambiente, ayudando a reducir la contaminación del aire. Además, proporciona alimento y protección a la fauna silvestre que habita en zonas áridas y no requiere grandes cantidades de pesticidas, plaguicidas ni fertilizantes.³⁹

En el año de 2010, el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara (CUCBA), publicó un estudio sobre el deterioro ambiental de un área llamada Llanos de Ojuelos, la cual abarca los estados de Jalisco, Guanajuato, San Luis Potosí, Zacatecas y Aguascalientes. En esta zona se ha practicado pastoreo intensivo y agricultura de temporal, misma que debido a las características climatológicas de la región, no ha resultado productiva.

³⁹ Eulogio Pimienta-Barrios, "El Nopal (opuntia spp.): Una alternativa ecológica productiva para las zonas áridas y semiáridas" (conferencia, Colegio de Postgraduados, Estado de México, 1992).

Por lo tanto, los terrenos se han abandonado propiciando la erosión de los suelos.⁴⁰

Dicho estudio llamado *Las plantaciones del Nopal Tunero como opción para la rehabilitación de ambientes semiáridos degradados en los Llanos de Ojuelos*, propone el cultivo de esta cactácea como alternativa para detener el deterioro del medio ambiente ya que genera diversos beneficios al entorno natural gracias a su capacidad de regenerar suelos infértiles, detener la erosión y de propiciar la colonización de especies de flora y fauna nativas a su alrededor.

Por otro lado el departamento de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, propuso en un estudio realizado en 1997 el cultivo de especies de nopal y maguey silvestres para rehabilitar superficies utilizadas para el cultivo de maíz y frijol de temporal abandonadas en el altiplano potosino-zacatecano y para que al mismo tiempo los campesinos puedan aprovecharlos para la producción de tuna y forraje⁴¹.

⁴⁰ Eduardo Carrillo, "Nopal tunero retiene suelo y agua, además conserva flora y fauna," *Inforural*, 5 de noviembre, 2010, http://www.inforural.com.mx/mercados.php?id_rubrique=392&id_article=59147.

⁴¹ Juan José López, Jesús M. Fuentes y Andrés Rodríguez "Industrialización de la Tuna Cardona

Diez años después, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en Zacatecas, desarrolló un proyecto en el municipio de Guadalupe en dicha entidad, que involucra el cultivo y aprovechamiento integral de la especie *Opuntia streptacantha* para la elaboración de aceite, colorantes, mermeladas, queso de tuna⁴², fibras, dulces, etc.⁴³

Los investigadores del CUCBA enfatizan la necesidad de apoyar a los productores de este vegetal para encontrar nuevas maneras de darle valor agregado, incrementar la demanda y por consecuencia fomentar el cultivo mixto de diferentes especies, ya que esto no solo generaría los beneficios ambientales mencionados en las regiones productivas, sino que ayudaría a combatir la problemática existente en la agroindustria del nopal, derivada del rezago tecnológico en su procesado, lo que ocasiona que su aprovechamiento no sea el óptimo en el mercado.

(*Opuntia streptacantha*)," *Journal of the Professional Association for Cactus Development* (1997): 169-175.

⁴² Dulce tradicional que se elabora al cocinar la tuna cardona hasta formar una melcocha de consistencia firme.

⁴³ Felipe Guízar, "Desde la semilla hasta la cáscara: Tuna Cardona, alternativa de desarrollo," *Info Rural*, 30 de abril, consultada el 13 de abril, 2013, 2009, <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article41360>.

Aspectos económicos del aprovechamiento del nopal

En México la producción nacional de nopal es de 600 000 toneladas al año. Sin embargo, debido a que su demanda no se ha generalizado en todo el país ni se cuenta con una cadena agroindustrial que permita procesarlo en diferentes productos de consumo, se desperdician 160 000 toneladas de dicha producción anualmente.⁴⁴ Esta sobreoferta ocasiona que su precio se desplome, representándoles cuantiosas pérdidas a los productores a nivel nacional.

Irónicamente, la producción del nopal es muy rentable. Éste puede ser cultivado prácticamente durante todo el año, y la derrama económica que representan 750 hectáreas de siembra de esta verdura es de 73 millones de pesos.⁴⁵ Además, la cosecha de nopal es una buena fuente de empleo ya que para su cultivo se requiere de la contratación aproximada de 160 jornaleros por hectárea,⁴⁶ lo

cual contribuye a disminuir el fenómeno migratorio campo-ciudad en diferentes estados del país.⁴⁷

Desgraciadamente esta rentabilidad ha sido desaprovechada en México y es aprovechada por países como China y Japón que ya cultivan dicho vegetal en su territorio y explotan su potencial económico a través de la elaboración de cremas, licores, champús, cerveza, cosméticos, tallarines y complementos alimenticios entre más de 200 artículos.⁴⁸

De acuerdo con la presidenta del Consejo de Promoción de Nopal y Tuna, Margarita García, se corre el riesgo de que dichos productos entren al mercado mexicano, provocando una fuerte competencia que puede derivar en el cierre de 300 micro, pequeñas y medianas empresas.⁴⁹ Incluso estos países amenazan con adueñarse de la patente de diferentes especies de esta planta para cobrar regalías por su consumo en nuestro territorio.⁵⁰

⁴⁴ Susana González, "En China explotan mejor el nopal; en México, productores apenas sobreviven," *La Jornada*, 21 de marzo, 2010, <http://www.jornada.unam.mx/2010/03/21/economia/022n1eco>.

⁴⁵ Yadira Llaven, "En la Feria del Nopal participarán más de 120 productores con 150 platillos diferentes," *La Jornada de Oriente, Puebla*, 2007, <http://www.lajornadadeoriente.com.mx/2007/06/01/puebla/cul113.php>.

⁴⁶ Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial y Dirección Ejecutiva de Análisis

Sectorial, *Monografía del Nopal y la Tuna*, (México: Financiera Rural, 2011), 3.

⁴⁷ SAGARPA, "Cultivo de nopal y tuna detiene la migración," Video de YouTube, 1:56, 28 de julio, 2011, http://www.youtube.com/watch?v=NxKrON4DSJA&feature=youtuve_gdata_player.

⁴⁸ Verónica Martínez, "Desplaza China a México... en el nopal," *Info Rural*, 23 de marzo, 2010, <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article56230>.

⁴⁹ *Ibid.*

⁵⁰ Patricia Muñoz, "Pretenden extranjeros patentar el nopal y el magüey," *La Jornada*, 27 de diciembre, 2012,

Por lo tanto, resulta necesario generar proyectos que incentiven su producción y el óptimo aprovechamiento para ayudar a la preservación de este patrimonio natural y cultural.

A continuación se analizarán las diferentes clasificaciones de nopal en México y sus características para determinar cuál de ellas es la más susceptible a ser aprovechada para la elaboración de materiales biocompuestos.

Clasificación de variedades de nopal en México

Las variedades de nopal en México están clasificadas de acuerdo al tipo de consumo y se dividen en tres grupos: nopal verdura, nopal tunero y nopal forrajero.

Los diferentes tipos de nopal se producen bajo tres sistemas en nuestro país:

Nopaleras silvestres: Son usadas como forraje para ganado y para ser procesado industrialmente. Éstas se encuentran distribuidas en la zona centro y norte del país.

Nopaleras en huertos familiares: Son usadas para autoconsumo y venta en mercados locales.

Plantaciones comerciales: Tienen una extensión total de 210 mil hectáreas en todo el territorio nacional, de las cuales 50 mil se destinan a producción de tuna; 10,000 a producción de nopalitos [sic], 150 mil a producción de forraje y 100 para producir grana cochinilla.⁵¹

La mayor parte de los cultivos de nopal son de temporal que no emplean alta tecnología y la verdura se cultiva de forma artesanal a cielo abierto.⁵²

Nopal Verdura

De acuerdo con datos de SAGARPA, la superficie aproximada cultivada de nopal para verdura en México es de 4,000 ha. EL 85% de ésta se encuentra en Milpa Alta en el DF, municipio que en el año de 2009 produjo el 43.3% del volumen total nacional con un valor de 775 millones de pesos.

<http://www.jornada.unam.mx/2012/12/27/sociedad/030n2soc>.

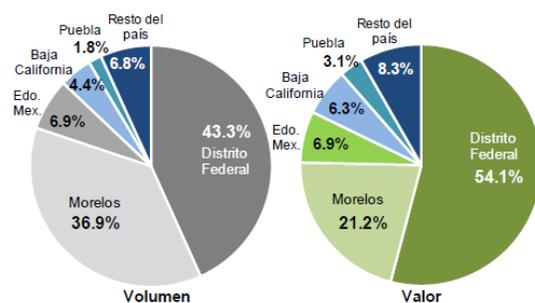
⁵¹ Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial y Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial, *Monografía del Nopal y la Tuna*, (México: Financiera Rural, 2011), 2.

⁵² Asociación Mexicana de Secretarios de Desarrollo, *Plan Rector del Sistema Productivo Nopal Verdura*, (México: AMSDA, s.f.), 4.
<http://www.amsda.com.mx/PREstatales/Estatales/DF/PRENopal.pdf>.

En ese mismo año, el estado de Morelos produjo el 36.9% del volumen nacional con un valor de 304 millones de pesos.

Otros estados con producción importante de nopal verdura en México son Puebla, Baja California y el estado de México.⁵³

Principales estados productores de nopal verdura en México



Fuente: Con base en datos de SIAP- SAGARPA. Nota: La producción en 2009 se realizó en 26 entidades del país.

Fig. 7: Estados productores de nopal verdura en México

Comercialización de nopal verdura en México

Los primeros eslabones de comercialización de nopal son la Central de Abastos de Iztapalapa donde se encuentra el 70% de la producción total nacional, el Centro de Acopio de Milpa Alta, la Central de Abastos de Iztapalapa, la Central de Abastos de Ecatepec, el Mercado de la Merced y la Central de Abastos de Toluca. De

⁵³ Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial y Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial, *Monografía del Nopal y la Tuna*, (México: Financiera Rural, 2011), 6.

ahí se redistribuye a otras centrales de abasto, mercados, tianguis, etc.⁵⁴ Debido a que los productores no tienen permiso para vender directamente en dichos puntos, los intermediarios los han acaparado y elevan los precios de este producto hasta en un 3 mil por ciento.⁵⁵

El nopal se vende con espinas para conservarlo por mayor tiempo. Esto se debe a que al retirarlas de los cladodios⁵⁶, se libera el mucílago que oxida las zonas laceradas.⁵⁷ Por lo tanto, son los detallistas quienes los limpian y des-espinan antes de venderlos al menudeo.⁵⁸

Agroindustria del nopal verdura en México

La agroindustria del nopal representa el 3% del consumo total del nopal y lo utiliza para elaborar diferentes productos como champús, cremas, suplementos dietéticos, jugos,

⁵⁴ Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial y Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial, *Monografía del Nopal y la Tuna*, (México: Financiera Rural, 2011), 3.

⁵⁵ Matilde Pérez, "Productores de nopal son víctimas de la voracidad de intermediarios," *La Jornada*, 17 de marzo, 2008.
<http://www.jornada.unam.mx/2008/03/17/index.php?section=sociedad&article=042n1soc>.

⁵⁶ Tallo aplanado de algunas plantas que tiene funciones de hoja.

⁵⁷ Editorial, "Crea IPN máquina láser para quitar las espinas de los nopales," *El Universal*, 9 de abril, 2007.
<http://www.eluniversal.com.mx/articulos/39192.html>.

⁵⁸ Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial y Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial, *Monografía del Nopal y la Tuna*, (México: Financiera Rural, 2011), 3.

mermeladas, harinas y nopales en salmuera o escabeche. Esta agroindustria está conformada por pequeñas empresas familiares.⁵⁹

Por otro lado, se están desarrollando también proyectos más tecnificados para utilizar este recurso, tales como la obtención de biodiesel y biogás como combustibles renovables;⁶⁰ y el uso del mucílago para proyectos de purificación de aguas contaminadas.⁶¹

Problemática identificada en la cadena productiva de nopal verdura en México

El Plan Rector para el Sistema de Producto Nacional de Nopal, la SAGARPA, identifica la problemática en la cadena productiva del nopal, donde se destacan los siguientes puntos:⁶²

1. El nivel de organización de los productores, la capacitación y los créditos otorgados resultan insuficientes para enfrentar los problemas de la cadena productiva.
2. No existe suficiente investigación y desarrollo de tecnologías aplicadas en la

producción, transformación y comercialización del producto.

3. Altos niveles de migración de recolectores de nopal hacia EE. UU.

Nopal tunero

En la región centro norte de México se produce la mayor cantidad de tuna del país. Los estados productores de tuna se agrupan en dos regiones: La centro Norte comprendida por Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y Jalisco; y la región centro que está comprendida por el Estado de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo.⁶³ Los tres principales estados productores de tuna son el Estado de México, Zacatecas y Puebla, y juntos representan el 80% de la producción nacional.

En la zona noroeste del estado de México, los municipios de Acolman, Axapusco, Otumba, San Martín de las Pirámides, Nopaltepec y San Juan Teotihuacán se encuentran distribuidas 15,786 hectáreas de tuna de temporal y 832 hectáreas de xoconostle.⁶⁴

⁵⁹ *Ibid.*

⁶⁰ S. de Jesús Méndez-Gallegos et.al. "El Nopal en la producción de biocombustibles," *Revista Salud Pública y Nutrición* (2010): 70-84.

⁶¹ Laura Plitt, "Mexicana purifica el agua con un cactus," *BBC Mundo*, 19 de mayo, 2010, http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia_tecnologia/2010/05/100510_1500_agua_purificacion_lp.shtml.

⁶² Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, *Plan Rector Sistema Producto Nacional Nopal Segunda Fase: Base Conceptual de Referencia, Base de Referencia, Estructura Estratégica*. (México: SAGARPA, 2004), 47-49.

⁶³ Clemente Gallegos, Joel Cervantes, Santiago de Jesús Méndez, "Producción de tuna en el Centro Norte de México," *Revista de Geografía Agrícola*, abril 2003, 147.

⁶⁴ Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, *Predomina cultivo de nopal, tuna y xoconostle en la región noreste del Estado de México*. (México: SAGARPA, 2012), <http://www.sagarpa.gob.mx/delegaciones/edomex/boletines/2012/octubre/Documents/B0642012.pdf>.

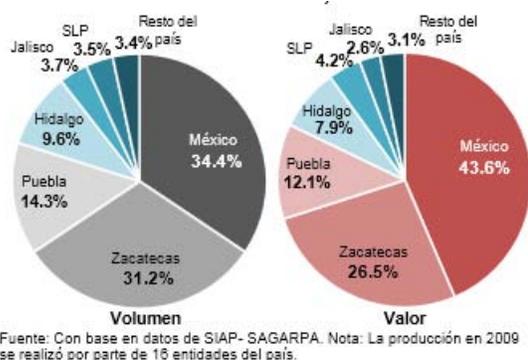


Fig. 8: Estados productores de tuna en México en 2009

Métodos de poda de pencas de nopal tunero

Dentro de la agroindustria de la tuna, las pencas de nopal no son cosechadas ni aprovechadas de ninguna forma, pero en algunas plantaciones se practican métodos de poda que ayudan a mejorar la productividad de los frutos en las nopaleras y facilitar las labores de cultivo de los mismos.

Uno de estos métodos es la poda de formación o despunte que elimina del 40 al 60% del volumen de la planta para facilitar las labores de cosecha, la poda de sanidad es realizada para desechar las pencas deformes o afectadas por plagas y la poda de producción uniforma el tamaño y la calidad de la fruta.⁶⁵

⁶⁵ Asociación Mexicana de Secretarios de Desarrollo. (s.f.) *Plan Rector del Sistema Productivo Nopal Verdura*. México: AMSDA. <http://www.amsda.com.mx/PREEstatales/Estatales/DF/PREnopal.pdf>.

El método de despunte consiste en eliminar solamente un porcentaje del cladodio a través de un corte transversal y el otro método utilizado es el aclareo, que consiste en eliminarlo desde su base.⁶⁶

Estos métodos de poda se realizan cuando la distancia entre las hileras de nopaleras se reduce dificultando el paso, cuando se observa una competencia entre los brotes fructíferos y vegetativos en la planta, cuando las pencas están pegadas al suelo o cuando éstas se encuentran dañadas y sombreadas.⁶⁷

Desgraciadamente a pesar de los beneficios que representa la práctica de poda a la producción de frutos, es considerada una actividad costosa en términos de la cantidad de mano de obra que se requiere para realizarla, por lo que en muchos casos no se lleva a cabo o es efectuada cada dos años.

Nopal silvestre

En México se estima una superficie de 3 millones de hectáreas de nopaleras silvestres distribuidas en el centro y norte de la república mexicana, y los estados que poseen la riqueza

⁶⁶ José C. Martínez et. al, "Poda y época de despunte en Cladodios de Nopal Tunero," *Agrociencia* 35, (marzo-abril, 2001): 159–167.

⁶⁷ Fernando L. Ortíz et. al, *Tecnología de producción de nopal tunero en Aguascalientes* (México: COFUPRO, 2000), 10.

más alta en cuanto a especies son San Luis Potosí, Jalisco, Querétaro, Hidalgo y Zacatecas.⁶⁸

Las nopaleras silvestres son utilizadas principalmente como forraje en la zona centro y norte del país por ganaderos que buscan alternativas de alimento para sus animales debido a las sequías que provocan la escasez de otros productos agrícolas.⁶⁹



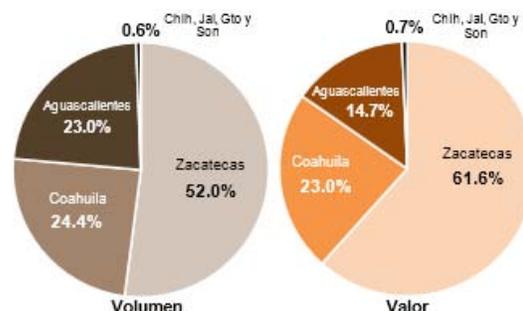
Fig. 9: Cabras alimentándose con nopal

En nuestro país existen muy pocas áreas destinadas al cultivo de nopal para forraje debido al uso extensivo de material silvestre que resulta prácticamente gratuito, lo que ha provocado su uso indiscriminado. Estas áreas de cultivo se encuentran distribuidas

⁶⁸ Gaytan-Villafuerte A., Scheinvar L., Olalde-Parra G., Olvera-Sule D., Gutierrez-Chávez A., Martínez C., Espinosa-Organista D., Velázquez-Rentería C. Diversidad y Riqueza de los nopales silvestres en la República Mexicana, Géneros *Opuntia* Mill y *Nopalea* Salm. Dyck, Cactaceae. VII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas.

⁶⁹ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, *El nopal (Opuntia spp.) como forraje*, (México: INIFAP, 2003).

principalmente en Zacatecas, Coahuila y Aguascalientes⁷⁰.



Fuente: Con base en datos de SIAP- SAGARPA. Nota: La producción en 2009 se realizó por parte de 7 entidades del país.

Fig. 10: Estados productores de nopal forrajero en México en 2009

Métodos de cosecha de nopal para forraje

Una forma de cosecha de nopal para forraje es a través del consumo directo, en donde los cladodios son consumidos enteros por el ganado directamente de la planta y sin retirar las espinas, lo que ocasiona heridas a los animales e incluso la muerte.

Otra forma de cosecharlo es a través del despunte, en donde la parte superior de la penca -donde se concentra la mayor cantidad de espinas- es removida con un cuchillo y posteriormente se le permite al ganado alimentarse directamente de la planta. Sin embargo, esto genera un gran desperdicio de cladodios.

⁷⁰ Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial y Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial, *Monografía del Nopal y la Tuna*, (México: Financiera Rural, 2011), 11.

El chamuscado en pie es un sistema que se combina con el pastoreo de ovejas y cabras que consiste en utilizar quemadores de gas o keroseno directamente en las pencas para quemar las espinas y posteriormente permitir a los animales que se alimenten de ellas, pero esta técnica suele provocar daños extensivos a la planta, por lo que en algunos casos se practica ya una variante menos agresiva de este sistema que consiste en cosechar los cladodios, quemar las espinas con leña o gas y después picarlos de forma manual para ofrecerlos al ganado. Existen también casos en los que los nopales son cosechados y llevados a establos suburbanos donde se chamuscan y pican ya sea manual o mecánicamente.⁷¹

Otras formas de aprovechamiento de nopal silvestre

Algunas variedades de nopal silvestre son aprovechadas para consumo como nopal verdura, como la *Opuntia robusta* o nopal tapón, que es envasado en salmuera o escabeche por plantas de grandes empresas como Herdez-Doña María, La Costeña y

Coronado, que se encuentran ubicadas en San Luis Potosí.⁷²

Otras variedades de nopal silvestre son aprovechadas por sus frutos como la *Opuntia streptacantha*, que prolifera abundantemente en el altiplano potosino-zacatecano y de la cual se describirá un proyecto de aprovechamiento de su fruto -la tuna Cardona- más adelante.

Problemática en el aprovechamiento de nopal silvestre en México

- Algunos de los sistemas de cosecha de nopal silvestre que se practican resultan invasivos y poco eficientes.
- Las espinas en los cladodios dificulta las tareas de cultivo y procesamiento.
- Algunas especies silvestres están siendo sobreexplotadas por ganaderos.
- Los campesinos y ganaderos eliminan variedades de nopal silvestre y lo sustituyen por nopal cultivado de diferente variedad, lo que modifica los ecosistemas.⁷³

⁷¹ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, *El nopal (Opuntia spp.) como forraje*, (México: INIFAP, 2003), 15.

⁷² Claudio A. Flores, Juan M. de Luna y Pedro P. Ramírez, *Mercado Mundial del Nopalito* (México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1995), 80.

⁷³ M.I Díaz et al., "Rescate y regeneración de tecnología para el aprovechamiento industrial de la tuna" (conferencia presentada en las "5as. Jornadas de Investigación Universidad Autónoma de Zacatecas", Zacatecas, Zacatecas, 25 al 29 de junio, 2001).

Cuadro comparativo de oportunidades y amenazas en el aprovechamiento de las diferentes especies de nopal para la elaboración de materiales biocompuestos

Clasificación	Oportunidades	Amenazas
Nopal verdura	Existe una sobreoferta en el mercado que ocasiona un excedente de producción	Utilizar el nopal con fines industriales en vez de fines alimentarios podría generar polémica
	Su cultivo se facilita por la poca cantidad de espinas	La UAM Azcapotzalco está patentando un material elaborado con fibra de <i>Opuntia ficus indica</i>
	Algunas variedades como <i>Opuntia ficus indica</i> presentan grandes porcentajes de celulosa en su fibra	Su cultivo presenta poca resistencia a las heladas
	Existe infraestructura para la deshidratación de su fibra en plantas procesadoras	La deshidratación de su fibra implica un alto consumo energético
Nopal tunero	En la agroindustria tunera las pencas de nopal no son aprovechadas	Solo se cortan las pencas de nopal al cosechar las tunas y podas de rejuvenecimiento, formación y sanidad
	El alto costo y utilización de mano de obra para efectuar las podas de mantenimiento de cultivo de tuna podrían justificarse con el aprovechamiento de las pencas	La práctica de poda en cultivos de tuna en México no está difundida debido a falta de información y a la dificultad y costo que representa
	Existen grandes extensiones de cultivo en México	Su cultivo presenta poca resistencia a las heladas
	La utilización de nopal tunero ofrece la posibilidad de aprovechar también subproductos del procesado industrial de la tuna	
Nopal silvestre	Diferentes estudios han determinado la pertinencia de cultivar y aprovechar variedades de nopal silvestre para regenerar áreas de cultivo erosionadas	Algunas variedades de nopal silvestre están siendo sobreexplotadas
	Algunas variedades de nopal silvestre presentan una gran cantidad de espinas ricas en celulosa	La abundancia de espinas de estas variedades de nopal dificultan su cultivo y manejo
	En México existen ya algunos proyectos de organización comunitaria para el cultivo y aprovechamiento de nopal silvestre	No existe infraestructura para el procesado industrial de subproductos de nopal silvestre. Son procesos artesanales
	Las variedades de nopal silvestre resisten mejor los climas extremos	Las espinas de nopal son fuente de fibra celulósica que no requiere deshidratación previa

Tabla 1

Métodos de obtención de fibra de celulosa a partir de nopal

Para seleccionar el proceso de obtención de la fibra de nopal más adecuado para este proyecto, se tomaron en cuenta distintos métodos, los cuales se explican a continuación.

Aprovechamiento de cladodios desecados y lignificados de forma natural

El primer método consiste en aprovechar las pencas de nopal desecadas y completamente lignificadas⁷⁴ que se encuentran de forma natural en las nopaleras silvestres. Sin embargo, de acuerdo a la opinión de algunos productores de nopal entrevistados, una penca de nopal tarda mucho tiempo en desecarse naturalmente por lo que el considerar este método para una producción a gran escala no resultaría viable. Por otro lado, los campesinos de la región utilizan esas pencas como leña, particularmente en la temporada de heladas por lo que es un material en demanda.



Fig. 11: *Fibra de nopal lignificada*

Separación de fibras de celulosa a través de medios químicos y mecánicos

Otro método de obtención de fibra es propuesto por investigadores del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-IPN-Unidad Oaxaca, quienes separan la fibra del pericarpio y parénquima⁷⁵ de los cladodios escaldándolos en soluciones de hidróxido de potasio y sosa caustica a diferentes temperaturas. Posteriormente los prensan y purifican con ácido acético⁷⁶ y peróxido de hidrógeno.⁷⁷

⁷⁴ Cuando en una planta leñosa aumenta la cantidad de lignina que contiene por proceso de maduración, hasta hacerla endurecer completamente.

⁷⁵ Tejido esponjoso de las plantas cuyas funciones son la fotosíntesis, la regeneración de tejidos y la producción y almacenamiento de sustancias.

⁷⁶ Ácido débil y amigable con el medio ambiente que se encuentra en el vinagre.

De igual manera en el estado de Aguascalientes se desarrolló la patente de un proceso de obtención de alfa celulosa a partir de la cáscara de tuna y de la penca de nopal que consiste en cortar la materia vegetal en trozos pequeños y sumergirla en una solución de sulfito de calcio durante cinco horas con variaciones de temperatura. Posteriormente el licor se decanta y las fibras se separan de forma mecánica.⁷⁸

Estos métodos presentan la desventaja de que requieren grandes cantidades de agua para la preparación de las soluciones, misma que es muy escasa en la región. Además, el manejo de aguas residuales que resulten de la producción en masa podría resultar problemático puesto que resultan tóxicas o contaminantes en alguna medida.

Aprovechamiento de espinas de nopal

En diferentes análisis que se han hecho a nivel mundial, se ha determinado que las espinas de la especie *Opuntia ficus-indica* están conformadas por microfibras de celulosa cristalina en una matriz de arabinosa.⁷⁹ Pero a

pesar de su interesante composición química, este subproducto de la industria nopalera aún sigue sin encontrar algún uso industrial e incluso representa un problema en la producción de nopal.



Fig. 12: La especie *Opuntia leucotricha* posee numerosas espinas en sus cladodios

Estas espinas podrían representar una alternativa interesante para la obtención de fibras de celulosa como refuerzo en materiales biocompuestos debido a que algunas especies de nopal, las contienen en grandes cantidades. Por lo tanto, se consultó a investigadores del Laboratorio de Cactología del Jardín Botánico de la UNAM en la Ciudad de México para analizar la factibilidad de aprovechar algunas especies silvestres de nopal para los fines de

⁷⁷ Laura V. Aquino et al., "Extracción y Caracterización de fibra de nopal (*Opuntia ficus indica*)," *Naturaleza y Desarrollo*, enero/junio 2012, 46.

⁷⁸ Lira, Juan José, Proceso de obtención de alfa celulosa a partir de la cáscara de tuna y penca de nopal. PA/a/1996/001641, solicitud 3 de mayo, 1996 y concesión 22 de febrero, 2001.

⁷⁹ M.R. Vignon et al., "Arabinan-cellulose composite in *Opuntia ficus-indica* prickly pear spines," *Carbohydrate*

Research, 339 (2003): 123-131. doi:10.1016/j.carres.2003.09.023.

esta investigación. Sin embargo, éstos señalaron que las especies de nopal silvestre no son tan productivas como las especies comerciales, puesto que su crecimiento es excesivamente lento. Por lo tanto, el considerar las espigas de nopal como fuente única de celulosa no resultaría viable, aunque éstas podrían ser aprovechadas a la par de la fibra de los cladodios que las contengan. Incluso, tal vez podría aprovecharse el residuo del proceso de desespinado en la industria nopalera.

Partiendo de esta idea, se efectuó entonces una búsqueda en internet para encontrar el nombre de alguna empresa productora de nopal localizada dentro del altiplano potosino; y se encontró en un directorio de producciones orgánicas certificadas, los datos de un rancho productor de maguey y nopal en la zona.⁸⁰

Se contactó entonces al dueño del rancho para preguntar si se aprovechaban de alguna manera las espigas del nopal y comentó que en realidad ellos las queman y no utilizan desespinaadora. Señaló además que el nopal que ellos procesan es aquel que se cosecha como resultado de las prácticas de poda, además se deshidrata para

comercializarse como fibra dietética y no en fresco.

El entrevistado agregó que debido a la ubicación de su rancho, no cuenta con un suministro de gas natural para el proceso de deshidratado por lo que utiliza gas LP, mismo que encarece la producción de dicho producto, pero él comenta que está considerando desarrollar un sistema de secado con energía solar a partir del año entrante. Asimismo, añadió que su empresa se encuentra desarrollando actualmente un sistema de producción y envasado de jugo de tuna, con lo cual él espera aprovechar la gran cantidad de frutos que las nopales de su rancho producen. Por lo tanto, él se vería beneficiado por el desarrollo de productos que aprovechen el desecho industrial de la producción de jugo de tuna, como las cáscaras y las semillas.

El entrevistado señaló que durante un período de dos años, casi no había llovido en esa región. A pesar de este hecho, el nopal tunero -a diferencia de otros cultivos- se ha mantenido altamente productivo en cuanto a frutos durante la temporada de tuna que abarca los meses de junio hasta principios de noviembre.

⁸⁰ Bioagricoop México A.C, "Directorio Producciones Orgánicas Certificadas (Orgánico y transición) Bioagricoop. 'Cultivos Diversos y Cosechas Silvestres,'" Bioagricoop, consultada el 1 de mayo, 2014, <http://bioagricoop.mx.tripod.com/pestado.html>.

Por lo tanto, desde su punto de vista el producto con mayor potencial de rentabilidad en la zona del altiplano es la tuna. Sin embargo, su comercialización en fresco presenta el inconveniente de que posee una corta vida después de ser cosechada. Por esta razón, los productores de la región se han enfocado al desarrollo de productos derivados de la misma que se conserven mejor por más tiempo como por ejemplo el queso de tuna, el colonche⁸¹, melcocha, mermeladas, etc.,⁸² pero estas formas de aprovechamiento no resultan suficientes. El mismo entrevistado comentó que en su rancho solo se produce el 10% de su potencial de explotación que le es permitido por la SEMARNAT, aunque no ofreció datos sobre su volumen de producción ni qué porcentaje de desechos se generan.

Harina de nopal

Después de la entrevista con el productor, se analizó la posibilidad de utilizar la fibra de nopal en forma de harina. El proceso para obtenerla se describe a continuación.

⁸¹ Bebida alcohólica que se elabora a través de un proceso de fermentación de tuna cardona.

⁸² Felipe Guízar, "Desde la semilla hasta la cáscara: Tuna Cardona, alternativa de desarrollo," *Info Rural*, 30 de abril, 2009, consultada el 13 de abril, 2013, <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article41360>.

La elaboración de harina de nopal comienza con la selección de cladodios, donde se descartan aquellos que se encuentran en mal estado; posteriormente se procede a quemar las espinas con soplete y después se lavan en un tanque con agua clorada.

A continuación se cortan manual o mecánicamente y se llevan a un túnel u horno deshidratador. Una vez deshidratados se trituran con un molino de cuchillas o muelas y finalmente se pulverizan con diferentes tamaños de partícula dependiendo el uso final.⁸³ De acuerdo con un productor de nopal entrevistado en Aguascalientes, el costo en el mercado de harina de nopal varía de los 30 a los 40 pesos, pero este precio podría reducirse debido a la simplificación de procesos y el uso de energías renovables.

Ventajas del uso de harina de nopal para la elaboración de materiales biocompuestos

Las ventajas de utilizar la fibra deshidratada bajo este esquema son que diferentes productores de nopal ya poseen la maquinaria y no necesitan invertir en nueva tecnología. Por otro lado, algunos pasos del sistema de

⁸³ Carmen Sáenz y Horst Berger, *Utilización agroindustrial del nopal*. (Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2006), 15.

producción de harina de nopal podrán ser evitados como por ejemplo la selección de cladodios y el quemado de las espinas, ya que se propone que las pencas sean deshidratadas y posteriormente molidas en su totalidad. Esto tiene también el propósito de enriquecer la formulación del material con la celulosa que aportan las espinas.

Finalmente, el uso de este esquema en la región del altiplano posee la ventaja de que es factible aprovechar la alta incidencia solar en la zona para el proceso de deshidratación. Además, la humedad relativa en el ambiente es muy baja por lo que la fibra almacenada no presentaría problemas de moho, hongos, malos olores, absorción de agua, etc. Este punto resulta especialmente relevante al momento de la producción del material ya que la fibra debe encontrarse perfectamente seca al momento de ser mezclada con el polímero.

Antecedentes del uso de polvo de fibra para la elaboración de materiales biocompuestos

El polvo de fibras de celulosa ya ha sido utilizado con éxito en diferentes formulaciones de materiales biocompuestos a nivel global. Una de ellas fue desarrollada en la Universidad de Tokushima en Japón, donde los investigadores transformaron polvos de fibra de bambú en una

matriz al someterla a un método de explosión de vapor para plastificar su parénquima y convertirla en un medio aglutinante para otras fibras.⁸⁴

Por otro lado, hay algunas empresas que fabrican madera plástica al mezclar polvos de bambú con algún polímero llegando a resultados interesantes. Un ejemplo de esto, es un material compuesto de polietileno de alta densidad con polvo de bambú que es comercializado por la empresa mexicana Greendeck, Maderas ecológicas.⁸⁵ A nivel global existen también otras empresas que elaboran este mismo tipo de material pero con polvo de madera.⁸⁶

En entrevista, el D.I. Leonardo Echeverría Arjonilla –quien en el año 2012 desarrolló la tesis de posgrado en Diseño Industrial llamada *Materiales Biocompuestos Aprovechando Residuos Agroindustriales del Agave Tequilana* en la UNAM- comentó que de acuerdo a su

⁸⁴ Hitoshi Takagi y Goshi Takeichi, “Bamboo Fiber Reinforced Binderless Green Composites from Steam-exploded Bamboo Powder,” *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, 06, (2012): 739-744 doi: 10.1142/S2010194512004072.

⁸⁵ “GreenDeck, Maderas Ecológicas,” modificada por última vez el 12 de febrero, 2013, consultada el 21 de agosto, 2013, <http://www.greendeck.mx/>.

⁸⁶ Salah M. El-Haggar, Salah M. y Mokhtar A. Kamel, “Wood Plastic Composites,” *Intech*, (2011): 325-344. doi: 10.5772/18172.

experiencia, entre menor es el tamaño de partícula de la fibra, mejores son los resultados.

Estudio de caso: Aprovechamiento de nopal cardón para la elaboración de materiales biocompuestos

A través de la investigación previa, se ha determinado analizar como estudio de caso el aprovechamiento del nopal cardón para la elaboración de materiales biocompuestos.

El nopal cardón (*Opuntia Streptacantha*) es una especie silvestre que crece naturalmente en el altiplano Potosino. La razón por la que se ha elegido esta especie de *Opuntia* en particular es porque al haber contactado a algunos productores de nopal de esta región, resulta pertinente para ellos el desarrollo de proyectos que fomenten el aprovechamiento industrial de especies vegetales que por las características de clima y suelo, proliferen en abundancia naturalmente; siendo el caso de esta planta en particular.

Evaluación del nopal

De acuerdo a la información obtenida, a continuación se elabora una evaluación para determinar la factibilidad del uso del nopal para elaborar biocompuestos.

Características físico-químicas	El nopal y la tuna poseen altos niveles de fibra de celulosa.
Disponibilidad	El nopal crece de forma abundante en la zona del altiplano y no es aprovechado actualmente
Factibilidad técnica de extracción y purificación	El nopal como especie es ampliamente cosechado y procesado actualmente de forma eficiente
Impacto ambiental	El nopal tiene el potencial de ser industrializado con procesos limpios y sustentables y su cultivo genera beneficios ambientales como regeneración de suelos
Impacto social	La poda de nopal y la recolección de tuna cardona son actividades que podrían generar empleo en esa región

Tabla 2

Gracias a esta evaluación del nopal cardón, se determinó que presenta buenas perspectivas de un aprovechamiento sostenible; por lo tanto será una de las especies utilizadas en la fase de experimentación.

A continuación se procederá a analizar otra especie vegetal ampliamente disponible en zonas áridas y semiáridas del norte del país con alto contenido de fibra: el agave lechuguilla.

1.1.2 Factibilidad de aprovechamiento de fibra de agave lechuguilla

La lechuguilla es una especie vegetal perteneciente a la familia de las agaváceas que también se localiza en zonas áridas y semiáridas del norte de México y el sur de Estados Unidos⁸⁷.

En nuestro país la lechuguilla se encuentra distribuida en los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Hidalgo, Querétaro, Oaxaca y el Estado de México⁸⁸, cubriendo una superficie total de 58.5 millones de hectáreas, las cuales representan el 30% del territorio nacional⁸⁹.

⁸⁷ David Castillo et al., "Recolección, extracción y uso de la fibra de lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.) en el estado de Coahuila," Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Publicación especial Núm. 6, (noviembre 2005).

⁸⁸ Dirección General de Normas, *Proyecto de Norma Mexicana PROY-NMX-FF-113-SCFI-2008 Productos de Origen Vegetal-Fibra (ixtle) de Agave de Lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.) - Especificaciones y Métodos de Prueba*, (México, D.F: Secretaría de Economía, 2008).

⁸⁹ Efraín Velasco et al., *Modelos Predictivos para la Producción de Productos Forestales No Maderales: Lechuguilla. Manual Técnico Núm. 2*, (México, D.F: INIFAP, 2009), 9.

Características físicas de la lechuguilla

La lechuguilla es una especie perennifolia que posee hojas dispuestas en roseta que pueden llegar a medir 65 cm de alto y cuyo color va desde el verde blanquecino al amarillo verdoso⁹⁰. En su eje central se forma un cono apretado de hojas jóvenes enrolladas al que se le llama "cogollo" el cual es cosechado y tallado para la obtención de fibra⁹¹.

Importancia económica de la fibra de lechuguilla

A la fibra de lechuguilla se le conoce comúnmente como *ixtle* y ha sido usada desde tiempos precolombinos por los pobladores de estas zonas áridas y semiáridas para la elaboración de huaraches, reatas, redes y cordeles⁹². Actualmente la explotación de este recurso se efectúa en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí, siendo este último estado en el que el volumen de producción es mayor⁹³.

⁹⁰ *Ibid.*

⁹¹ Pilar Bautista y Martín Martínez, "Aprovechamiento, Rendimiento en Fibra y Regeneración del Cogollo de Agave lechuguilla Torr. en el Altiplano Mexicano" (tesis profesional, Universidad Autónoma de Chapingo, 2012), 11-13.

⁹² Brigida Von Mentz, *La relación hombre-naturaleza*, (México, D.F: Siglo XXI, 2012), 79.

⁹³ Integradora de Ixtleros de Zacatecas S.A. de C.V. y Kalan Kaash S.C., *Estudio Orientado a Identificar los Mercados y Canales de Comercialización Internacionales para la Oferta de Productos de Ixtle con Valor Agregado*, (México, D.F: SAGARPA, 2009), 1.

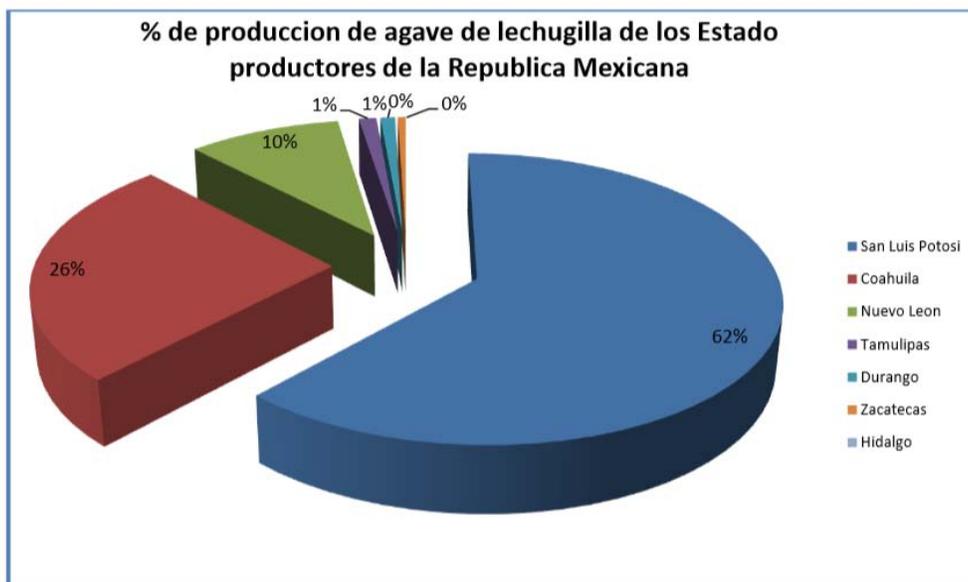


Fig. 13: Porcentaje de producción de agave lechuguilla de los estados productores en México

México es el único productor de ixtle en el mundo⁹⁴; y el 93% de la producción total nacional de esta fibra se exporta a Estados Unidos, Canadá, Centroamérica, Japón y algunos países europeos, siendo usada en la industria para la fabricación de productos de jarcería, costales, cordeles, brochas, tapetes, cepillos, etc.⁹⁵

Formas de extracción de la fibra de lechuguilla

El proceso de extracción de fibra de ixtle comienza con el corte de cogollos que poseen

una altura mínima de 25 cm con un instrumento llamado *cogollera*⁹⁶. Esta herramienta se compone de un anillo de metal unido a una vara de madera, la cual se inserta en las hojas del cogollo para jalarlas y empujarlas desde la base para aflojarlas y arrancarlas. Posteriormente éstas son depositadas en un recipiente de mimbre llamado *huajaca* para ser transportadas a los centros de tallado⁹⁷.

⁹⁴ Departamento de Estudios y Difusión, "Ixtle de Lechuguilla," *Revista de Comercio Exterior*, <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/751/11/RCE11.pdf>.

⁹⁵ Pilar Bautista y Martín Martínez, "Aprovechamiento, Rendimiento en Fibra y Regeneración del Cogollo de Agave lechuguilla Torr. en el Altiplano Mexicano" (tesis profesional, Universidad Autónoma de Chapingo, 2012), 11-13.

⁹⁶ Efraín Velasco et al., *Modelos Predictivos para la Producción de Productos Forestales No Maderales: Lechuguilla. Manual Técnico Núm. 2*, (México, D.F: INIFAP, 2009), 9.

⁹⁷ Pilar Bautista y Martín Martínez, "Aprovechamiento, Rendimiento en Fibra y Regeneración del Cogollo de Agave lechuguilla Torr. en el Altiplano Mexicano" (tesis profesional, Universidad Autónoma de Chapingo, 2012), 15.

El tallado de la fibra puede realizarse de forma manual o mecánica, aunque es más común hacerlo manualmente. Para tal efecto se utiliza un cuchillo sin filo que desprende la pulpa de las hojas llamado *tallador*, un trozo de madera llamado *banco* contra el cual se talla, y un *bolillo* que funge como un mango en el que se enreda un extremo de las fibras de manera que se asegure un buen agarre al momento de tallarlas⁹⁸.

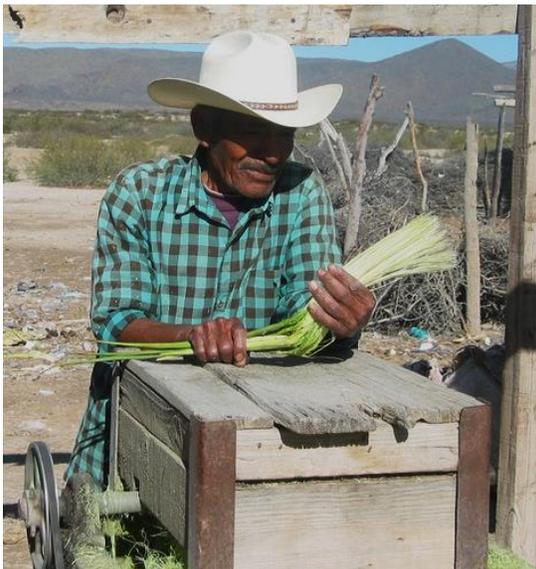


Fig. 14: Máquina para tallado mecánico de ixtle

El proceso mecánico de tallado consiste en el peinado de las pencas a través de clavos dispuestos alrededor de un rodillo metálico que gira al ser accionado por un motor. Sin embargo, a través de este método el bagazo de las hojas no es eliminado completamente por lo

que la coloración de la fibra se afecta, reduciendo así su calidad y precio⁹⁹.

Una vez que se ha terminado de tallar la fibra, se procede a tenderla al sol durante 2 o 3 días hasta que ha perdido la humedad¹⁰⁰. Una vez que la fibra se encuentra seca, está lista para ser comercializada y utilizada.

Comercialización de fibra de lechuguilla

En los canales de comercialización de lechuguilla prevalecen prácticas de coyotaje y los productores son los menos beneficiados por la venta de la fibra. A éstos actualmente se les paga \$16.00 MXN por kilo, pero el precio se castiga dependiendo de factores como la longitud de la fibra, su grado de humedad, textura y tipo de tallado¹⁰¹. Y las empresas exportadoras o transformadoras son las que obtienen mayores ganancias, ya que re-venden el producto en el mercado internacional.

⁹⁹ Elesban Mayorga et al., "Análisis comparativo en la calidad de fibra de Agave lechuguilla Torr., procesada manual y mecánicamente," *Agrociencia*, 2004.

¹⁰⁰ Efraín Velasco et al., *Modelos Predictivos para la Producción de Productos Forestales No Maderales: Lechuguilla. Manual Técnico Núm. 2*, (México, D.F: INIFAP, 2009), 14.

¹⁰¹ Integradora de Ixtleros de Zacatecas S.A. de C.V. y Kalan Kaash S.C., *Estudio Orientado a Identificar los Mercados y Canales de Comercialización Internacionales para la Oferta de Productos de Ixtle con Valor Agregado*, (México, D.F: SAGARPA, 2009), 271.

⁹⁸ *Ibid.* 11-13

Por otro lado, el gobierno implementó un programa en supuesto apoyo al productor de lechuguilla de toda la región del Desierto Chihuahuense, en el que se le intercambia su fibra producida por vales de despensa en las tiendas Diconsa. Sin embargo, productores en el estado de Tamaulipas, han denunciado dicha práctica como monopólica, pues mientras a ellos se les paga con vales, Diconsa recibe dinero en efectivo por la venta de dicha fibra a empresas transformadoras¹⁰².

Para varias comunidades productoras de fibra de ixtle en San Luis Potosí que se encuentran marginadas, ésta representa su único sustento¹⁰³; y en general no se cuenta con el conocimiento del mercado o la infraestructura adecuada para realizar una transformación del producto y darle así mayor valor agregado.

Perspectivas de aprovechamiento de fibra de ixtle en la elaboración de materiales biocompuestos

En la Universidad Autónoma de Zacatecas se han realizado investigaciones para la

¹⁰² Víctor Molina, "Denuncian talladores monopolio por parte de Diconsa en compra de lechuguilla," *El Espectador de Tamaulipas*, noviembre 25, 2011.

¹⁰³ Santiago Cano, "La talla de Lechuguilla; símbolo de olvido y marginación en el semidesierto potosino," *Antorcha Campesina*, diciembre 6, 2010. <http://www.antorchacampesina.org.mx/noticias/2010/slp061210.html>

elaboración de materiales compuestos de fibra de ixtle tejida y no tejida, aglutinada con resina epóxica¹⁰⁴, así como el diseño de un laminador para dicho material compuesto, con el objetivo de dar valor agregado a la fibra de ixtle e incorporar a los habitantes de la zona del semidesierto a una cadena productiva¹⁰⁵. Sin embargo, estos productos no se encuentran aún disponibles en el mercado.



Fig. 15: Material compuesto con arreglo al azar de fibras¹⁰⁶

El uso de textiles tejidos de fibras naturales para reforzar materiales compuestos ha sido usado en la industria durante muchos años con resultados satisfactorios.

¹⁰⁴ C. Caldera, D. Miramontes, A. Hernández, and M. Trujillo-Barragán, "Caracterización de materiales compuestos de matrix polimérica con fibra de ixtle," presentada en el Congreso Internacional Anual de la SOMIM, Salamanca, Guanajuato, 2012.

¹⁰⁵ Consuelo Caldera et al., "Laminador para Fabricar Compósitos de Fibra de Ixtle-Polímero," (conferencia presentada en las 5as. Jornadas de Investigación, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México, 2001).

¹⁰⁶ *Ibid.*

Uno de los primeros ejemplos de esto podemos encontrarlo en la elaboración del linóleo, el cual es un material para recubrimientos de pisos y mobiliario elaborado a partir de aceite de linaza oxidado, resina de pino, harina de corcho y madera con refuerzo de fibra de yute tejida, que fue patentado por el inventor inglés Frederick Walton en 1863¹⁰⁷, pero que a pesar de su antigüedad se mantiene más vigente que nunca en el mercado americano y europeo debido a que es un material versátil completamente biodegradable que está elaborado con recursos renovables¹⁰⁸.

Evaluación de la lechuguilla

De acuerdo a la información obtenida, a continuación se elabora una evaluación para determinar la factibilidad de la fibra de lechuguilla o ixtle para elaborar biocompuestos.

Características físico-químicas	La fibra de ixtle tiene buenas propiedades mecánicas debido a su longitud y resistencia
Disponibilidad	La lechuguilla crece de forma abundante en el desierto chihuahuense y la oferta actual de fibra ya tallada, supera la demanda en el mercado
Factibilidad técnica de extracción y procesamiento	Los procesos de cosecha y tallado de fibra de ixtle se han ido refinando a lo largo de varios siglos
Impacto ambiental	Su extracción se encuentra actualmente regulada por permisos de aprovechamiento. Sus procesos de producción no requieren de sustancias peligrosas ni alta tecnología
Impacto social	Es necesario promover el comercio justo de la fibra de ixtle a través de esquemas de distribución y venta de los productos elaborados a partir de ésta para que tengan un impacto social positivo

Tabla 3

Gracias a los resultados obtenidos en la evaluación de la fibra de lechuguilla, se determinó que su fibra presenta buenas perspectivas de aprovechamiento sustentable en la elaboración de materiales.

¹⁰⁷ Jane Powell and Linda Svendsen, *Linoleum* (Layton: Gibbs Smith, 2003), 22.

¹⁰⁸ Sam Kubba, *Handbook of Green Building Design and Construction: LEED, BREEAM, and Green Globes*. (Massachusetts: Butterworth-Heinemann, 2012), 296.

A continuación se procederá a realizar una prospección de diferentes matrices aglutinantes que pudieran utilizarse en la elaboración de materiales biocompuestos al mezclarse con las fibras seleccionadas. En principio se analizarán diferentes alternativas de bioplásticos comerciales y posteriormente se analizarán las perspectivas de producir bioplásticos y otros aglutinantes con especies vegetales de las zonas objeto de estudio.

1.2 Bioplásticos

Como se señaló con anterioridad, la matriz aglutinante de los materiales biocompuestos comerciales está elaborada a partir de bioplásticos. Éstos son materiales que se producen a partir de la modificación de *biopolímeros*, los cuales son en realidad carbohidratos y proteínas que se encuentran de forma abundante en la biomasa de la tierra.

Algunos ejemplos de biopolímeros son la celulosa, el almidón¹⁰⁹, la quitina¹¹⁰, la lignina, el

¹⁰⁹ Es un carbohidrato que se encuentra de forma abundante en la naturaleza. Este polisacárido sirve como reserva de energía para las plantas y se almacena en los frutos, semillas, raíces y tallos de algunas de ellas.

¹¹⁰ Uno de los biopolímeros más abundantes sobre la tierra, el cual se encuentra en exoesqueletos de insectos, caparazones de crustáceos, paredes celulares de hongos, etc.

agar,¹¹¹ la carragenina¹¹², el ácido láctico¹¹³ y la caseína^{114, 115}. Estos elementos, mezclados con plastificantes¹¹⁶ y aditivos pueden formar materiales con buenas características estructurales, permitiéndoles competir con algunos plásticos derivados del petróleo.

En la industria de los materiales, los bioplásticos¹¹⁷ se han ido posicionando como una alternativa tecnológicamente viable que genera un menor impacto en el medio ambiente con respecto a los plásticos convencionales. Esto se debe a que provienen de recursos renovables y pueden ser biodegradables o reciclables, lo cual se traduce en procesos productivos sostenibles y menor contaminación en la atmósfera, suelos y cuerpos de agua.

A continuación se enlistarán los bioplásticos más representativos que se encuentran actualmente disponibles en el mercado.

¹¹¹ Sustancia gelatinosa que se obtiene de algas marinas de los géneros *Gelidium*, *Euchema* y *Gracilaria*

¹¹² Sustancia gelatinosa que se obtiene de algas marinas rojas que es usado como aditivo en la industria alimenticia.

¹¹³ Ácido encontrado en productos lácteos fermentados.

¹¹⁴ Es una proteína que se le encuentra en la leche.

¹¹⁵ E. Chiellini, *Environmentally Compatible Food Packaging*. (Cambridge: Elsevier, 2008), 504.

¹¹⁶ Aditivo que al ser agregado a un material, le confiere suavidad, flexibilidad y resistencia.

¹¹⁷ En la industria, a los *bioplásticos* en algunas ocasiones también se les suele llamar *biopolímeros*; pero para evitar confusiones, en este trabajo se les llamará *biopolímeros* a aquellas sustancias que aún no contienen aditivos para transformarlas y *bioplásticos* a aquellos materiales que ya han sido procesados.

Ácido poliláctico

El ácido poliláctico (PLA) es un plástico de origen renovable, pues está elaborado a partir de azúcares simples como almidones y glucosas. El uso de este biomaterial está ya muy extendido en la industria ya que tiene buenas ventajas como biocompatibilidad, renovabilidad y degradabilidad. Además, no es tóxico o carcinógeno¹¹⁸ y puede ser procesado de diferentes maneras como extrusión, inyección, películas, rotomoldeo¹¹⁹, además consume de 25 a 55% menos energía fósil que los polímeros derivados del petróleo.¹²⁰

Este material se comercializa bajo diferentes marcas en nuestro país en presentación de pellets¹²¹ con diferentes pesos moleculares para diferentes aplicaciones. Sin embargo, recientemente surgió una alternativa interesante desarrollada por jóvenes emprendedores del Tecnológico de Monterrey, la cual está elaborada a partir de hueso de aguacate.

¹¹⁸ Sustancia que al entrar en contacto con tejido vivo, provoca la proliferación de células cancerosas.

¹¹⁹ Proceso de moldeo de piezas huecas que consiste en introducir un polímero líquido o en polvo dentro de un molde, el cual a través de un movimiento giratorio permite que sus paredes se impregnen de dicho material de forma uniforme.

¹²⁰ Lin Xiao et al., "Poly(Lactic Acid)-Based Biomaterials: Synthesis, Modification and Applications," *Biomedical Science, Engineering and Technology* (enero 2012): 247-275. doi: 10.5772/23927.

¹²¹ Partículas pequeñas de un material comprimido.

La empresa que lo comercializa tiene el nombre de Biofase. Ellos afirman que el uso de subproductos del procesado de esta fruta, evita la polémica de destinar productos de consumo humano como el maíz para otros fines que no sean alimentarios.¹²²

El PLA presenta la desventaja de que para que su proceso de biodegradación sea eficiente, éste debe tener lugar en plantas de compostaje¹²³ controlado a más de 60° C de temperatura en un ambiente microbiano¹²⁴ para que se descomponga óptimamente en un período aproximado de tres meses. Si este es desechado en un relleno sanitario¹²⁵, podría tardar en degradarse de 100 a 1,000 años.¹²⁶

Plástico híbrido Biosolutions

Otra alternativa que surgió recientemente en el mercado nacional, es un polímero elaborado a partir de subproductos de agave, resultado de la producción de tequila en México y mezclados

¹²² "BioFase," modificada por última vez el 3 de marzo, consultada el 12 de septiembre, 2012, <http://www.biofase.com.mx/>.

¹²³ Un proceso mediante el cual la materia orgánica se degrada por acción microbacteriana hasta formar una especie de abono natural llamado composta.

¹²⁴ Relativo a los microbios.

¹²⁵ Fosa donde se confinan los residuos sólidos, la cual está diseñada para evitar que los líquidos y gases se filtren hacia el exterior.

¹²⁶ Elizabeth Royte, "Corn Plastic to the Rescue," *Smithsonian.com*, agosto 2006, <http://www.smithsonianmag.com/science-nature/corn-plastic-to-the-rescue-126404720/?no-ist>.

con polietileno. Este material es producido por una empresa llamada Biosolutions, creada por un grupo de jóvenes emprendedores del Tecnológico de Monterrey. Ellos afirman que este plástico que puede ser usado para producir botellas, cubiertos, charolas, etc. y se biodegrada en un año. Este producto cuenta con la certificación USDA Biobased Product Certification.¹²⁷

Polihidroxibutirato

El Biopol o polihidroxibutirato es un plástico elaborado a partir de recursos renovables ya que es el resultado de un proceso de fermentación de carbohidratos como jarabe de maíz o melaza¹²⁸ a través de diferentes tipos de bacterias como la *Alcaligenes eutrophus*, las cuales forman gránulos de PHB con dichos azúcares. El resultado es un termoplástico completamente biodegradable con características similares a las del polipropileno,¹²⁹ siendo además biocompatible¹³⁰. Es insoluble en agua y tiene

buena resistencia a rayos UV pero es poco resistente a ácidos y bases. Su punto de fusión es de 175° C.

Algunas de sus aplicaciones en el ramo médico son para fabricar tornillos ortopédicos, implantes oculares y placas óseas. Se usa también para fabricar cubiertas resistentes al agua, productos desechables, empaques, películas, fibras e incluso cascos para ciclistas.

Lignina plastificada

La lignina plastificada es un material innovador desarrollado por la empresa alemana Tecnar y su nombre comercial es Arboform.

Arboform es un material elaborado a partir de lignina residual de procesos industriales como la producción de papel. Ésta se mezcla con resinas y fibras naturales dando como resultado un material termoplástico extremadamente estable y completamente biodegradable.

Arboform puede ser usado en procesos de inyección o compresión, extrusión y rotomoldeo para elaborar interiores de automóviles, mobiliario, instrumentos

¹²⁷ "Biosolutions," Recuperado el 11 de septiembre de 2012, de <http://www.biosolutions.mx/>.

¹²⁸ Sustancia viscosa y oscura que es el residuo del proceso de cristalización del azúcar.

¹²⁹ "What is polyhydroxybutyrate (PBH) and is it eco-friendly?," *Curiosity.com*, modificado por última vez el 23 de junio de 2012, consultado el 12 de septiembre de 2012,

<http://curiosity.discovery.com/question/what-polyhydroxybutyrate-pbh-eco-friendly>.

¹³⁰ Que no tiene efectos tóxicos, por lo que es compatible con el medio biológico.

musicales, joyería, juguetes, electrónicos y dentro de la industria de la construcción.¹³¹

Este material posee la desventaja de que no se comercializa de forma directa en nuestro país por lo que el costo de su envío lo encarece.

Succinato de polibutileno

Bionolle es el nombre comercial de un tipo de succinato de polibutileno biodegradable elaborado a partir de ácido succínico de azúcares y almidones, con el cual se pueden producir hojas, botellas, películas, láminas extruidas, piezas de inyección y extrusión de fibras. Este material cristalino tiene propiedades similares al PET, tiene buena resistencia al agua y a algunos aceites pero no es tan resistente a los ácidos.

Su temperatura de procesamiento varía de los 160° C a los 230° C.

Acetato de celulosa

El acetato de celulosa es un plástico que se obtiene a partir de la esterificación de celulosa que proviene de recursos renovables como la pulpa de madera, papel reciclado, caña de azúcar, algodón, etc.

Este material tiene ya una larga historia de uso dentro de la industria textil, fotográfica, papelería y se utiliza también para elaborar filtros de cigarrillos, herramientas, anteojos y productos higiénicos. Posee además propiedades como buena dureza, brillo, alta transparencia y textura natural.¹³²

Un estudio publicado por la revista *Polymer Engineer and Science*, sugiere que el acetato de celulosa tiene un buen potencial para reemplazar poliolefinas de origen fósil como matriz polimérica dentro de materiales biocompuestos ya que algunos acetatos de celulosa son biodegradables y compostables. Además, al mezclarlos con plastificantes amigables con el medio ambiente basados en citratos¹³³ y derivados de aceite vegetal, se logra reducir el punto de fusión de este plástico de 233° C a 170° C.¹³⁴

La desventaja ambiental que presenta este plástico es la contaminación derivada de su fabricación industrial, debido a que para obtenerlo se emplea anhídrido acético y ácido

¹³¹ "TECNARO," consultado el 12 marzo, 2013, <http://www.tecnaro.de/english/arboform.htm>.

¹³² "Cellulose Acetate," *Azom.com, The A to Z of Materials*, consultado el 11 de marzo, 2013. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1461>.

¹³³ Sales derivadas del ácido cítrico.

¹³⁴ A.K. Mohanty et al., "Development of renewable resource-based cellulose acetate bioplastic: Effect of process engineering on the performance of cellulosic plastics," *Polymer Engineering & Science*, 43(5), (abril 2004): 1151–1161. doi: 10.1002/pen.10097.

sulfúrico,¹³⁵ compuestos químicos que son corrosivos y tóxicos.

Polihidroxicanoato

El polihidroxicanoato es un biopolímero producido por la fermentación de sustratos de glucosa como el metanol y melazas a través de diferentes especies de bacterias. Este proceso de producción es amigable con el medio ambiente ya que no se emplean solventes peligrosos en el mismo.

El PHC es un material es bioabsorbible, hidrofóbico, resistente a rayos UV, al calor y a químicos, posee una amplia gama de aplicaciones en campos como la biomédica y cosmetológica gracias a su biocompatibilidad.¹³⁶

Una desventaja que presenta el PHC es su costo elevado con respecto a otros plásticos, ya que el costo de una libra de este material ronda entre los \$8 y los \$10 USD. Por otro lado, este no se distribuye de forma comercial en nuestro país por lo que su costo se elevaría mucho más.

¹³⁵ Carl J. Malm y Leo J. Tanghe, "Chemical Reactions in the Making of Cellulose Acetate," *Industrial & Engineering Chemistry* 47, no.2 (mayo 1955): 995-999, doi: 10.1021/ie50545a034.

¹³⁶ "Biopolímeros, Polihidroxicanoatos (PHAs)", *Desarrollos Tecnológicos e innovadores, Biotecnología Industrial*, consultada el 13 de marzo, 2013, <http://biotecnologia1tecnoparque.blogspot.mx/2010/05/biopolimeros-polihidroxicanoatos-phas.html>.

Biopolímeros 100% de celulosa

En años recientes se han comenzado a desarrollar compuestos poliméricos elaborados enteramente con fibra de celulosa. Varios estudios han reportado la manufactura de este tipo de compuestos diluyendo parcialmente las fibras para formar la matriz aglutinante de los compuestos mientras que los núcleos fibrosos restantes mantienen su orientación molecular inicial, dándole fuerza y rigidez al compuesto.

Para obtener materiales 100% reciclables y biodegradables, no se adicionan agentes aglutinantes o resinas a los compuestos.¹³⁷ Un ejemplo de éste tipo de materiales es la marca comercial ZELFO.

ZELFO es un material fabricado con tecnología patentada llamada CORE (Cellulose Optimization Resource Efficient), que consiste en un método de procesamiento de fibras de celulosa extremadamente eficiente en términos de ahorro de agua y energía que disuelve la cubierta externa de celulosa a través de vibraciones mecánicas, la cual actúa como autoaglutinante para el material.

¹³⁷ Raquel Arevalo et al., "All-Cellulose Composites", *School of Engineering and Materials Science Research*, consultada el 3 de noviembre de 2012, <https://www.sems.qmul.ac.uk/research/researchdetail.php?rid=394>.

ZELFO puede aplicarse en productos de consumo, empaques, diseño de interiores y construcción y su ciclo de vida varía de acuerdo a cada aplicación, sin embargo genera una baja huella de carbono y un bajo impacto ambiental. Puede ser usado como aditivo o matriz para plásticos convencionales o biocompuestos para reducir el contenido de material no-renovable.¹³⁸

La tecnología CORE puede ser utilizada para investigación y desarrollo de nuevos materiales ZELFO obteniendo una licencia por parte de la empresa.

Polímeros biodegradables de origen fósil

En el mercado existen formulaciones plásticas elaboradas a partir de derivados del petróleo cuyo impacto en el entorno se reduce al momento de su disposición debido a que son biodegradables.

Un ejemplo de éstos es la policaprolactona, la cual es un plástico semicristalino que posee un punto de fusión de 58-60° y que se asemeja al polietileno por su textura blanca y cerosa. Este plástico tiene diferentes aplicaciones en el mercado. Es comúnmente empleado en el

campo médico en forma de hilo para suturas y para fabricar implantes y suministros de fármacos subcutáneos. También es usado como pasta para modelado con la que se fabrican piezas y prototipos gracias a la facilidad que tiene de ser manipulada y deformada cuando se encuentra caliente, semejándose a la plastilina. También puede ser utilizada como aditivo para otros plásticos y bioplásticos, mejorando su biodegradabilidad y resistencia al impacto, al agua, a los solventes y aceites.¹³⁹

Existen diferentes marcas comerciales de este producto como InstaMorph, Friendly Plastic, ShapeLock, PolyMorph, Plastimake, Plaast, etc.

Ventajas: Posee un bajo punto de fusión, lo cual evitaría la degradación de fibras naturales al ser mezclados con éste y podría conferirle buena impermeabilidad a las mismas.

Desventajas: La policaprolactona es un derivado del petróleo, el cual es un recurso no renovable. Además de ello, no se comercializa de forma directa en nuestro país por lo que el costo de su envío lo encarece.

¹³⁸ "Zelfo Technology," consultada el 20 de octubre de 2012, <http://www.zelfo-technology.com/>.

¹³⁹ "Policaprolactona," Tecnología de los Plásticos, consultada el 10 de marzo, 2013, <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2012/11/policaprolactona-pcl.html>.

1.2.2 Bioplásticos de producción local

Los bioplásticos comerciales anteriormente mencionados presentan el inconveniente de que no son producidos en México, por lo que su utilización fomenta la dependencia tecnológica con otros países, privilegiando las economías extranjeras por encima de las locales. Por lo tanto, se procederá a analizar la factibilidad de elaborar matrices aglutinantes elaborados con especies vegetales de la región estudiada.

El punto de partida para el desarrollo de esta fase de experimentación, es el libro Green Plastics de E.S. Stevens, así como la página web <http://green-plastics.net> que administra dicho autor, donde detalla información sobre diferentes bioplásticos y donde propone algunos ejercicios prácticos para desarrollar algunos de ellos a partir de la plastificación de carbohidratos¹⁴⁰ polisacáridos y proteínas; como por ejemplo grenetina, pectina, goma agar-agar, carragenina, almidón, caseína, etc.

A partir de esta información consultada, se decidió analizar la factibilidad de utilizar biopolímeros de especies vegetales que se encuentren disponibles en la zona de caso de

¹⁴⁰ Son los compuestos más abundantes en organismos vivos. Estos incluyen azúcares, celulosas, almidones y gomas.

estudio para la elaboración de matrices aglutinantes.

1.2.2.1 Factibilidad de aprovechamiento de biopolímeros de nopal

En primer lugar se analizó la posibilidad de aprovechar el nopal mismo para la obtención de algún biopolímero citado en la literatura ya mencionada, pues se encontró que el nopal posee una gran cantidad de pectina en su composición química¹⁴¹. Este biopolímero ya está siendo utilizado por investigadores del Grupo de Investigación de Sistemas Productivos de la Universidad Autónoma Metropolitana, campus Azcapotzalco, para el desarrollo de una matriz que aglutina residuos sólidos urbanos.

Con el material resultante se han fabricado señalizaciones y mobiliario urbano, los cuales son resistentes a rayos UV, lluvia ácida y 100% biodegradables¹⁴².

¹⁴¹ Antimio Cruz, "Aprovecha la UAM propiedad industrial del nopal," Investigación y Desarrollo, consultada el 2 de mayo, 2014, <http://www.invdes.com.mx/suplemento-mobil/1788-aprovecha-la-uam-propiedad-industrial-del-nopal>.

¹⁴² Dirección de Comunicación Social, "Desarrollan académicos de la UAM sistema de reutilización de residuos sólidos para la fabricación de objetos utilitarios," Universidad Autónoma Metropolitana, consultada el 19 de octubre de 2012 <http://www.uam.mx/comunicacionuniversitaria/boletines/anteriores08/indice/jul-24-08a.html>.



Fig. 16 : Contenedor de basura fabricado con pectina de nopal y residuos urbanos

En una visita que se les hizo al Departamento de Sistemas Productivos de dicha institución, los investigadores señalaron que están desarrollando también un material elaborado a partir de la fibra de nopal aglutinada con dicha matriz biopolimérica. Sin embargo, las muestras del material presentaban el problema que se desmoronaba al rasparse, así que ellos proponían recubrirlo con otros materiales para evitar esto.

Debido a que los investigadores de la UAM Azcapotzalco están patentando sus materiales a partir de pectina de nopal, se decidió descartar dicho biopolímero para el desarrollo de matrices aglutinantes en el presente trabajo para evitar algún conflicto de tipo legal.

1.2.2.2 Factibilidad de aprovechamiento de biopolímeros de tuna

Las diferentes variedades de tuna que se encuentran en nuestro país, presentan en su composición un porcentaje aproximado de un 65% de glucosa, por lo cual esta fruta es usada para la elaboración de mermeladas, melcochas, dulces como el queso de tuna e incluso etanol en pruebas de laboratorio¹⁴³.

Este alto contenido de glucosa representa la oportunidad de aprovechar este fruto para la elaboración de polihidroxialcanoato, polihidroxibutirato y ácido poliláctico, los cuales como se explicó anteriormente, se elaboran a partir de carbohidratos simples como melazas o almidones. Sin embargo, los procesos para fabricar esos bioplásticos son altamente tecnificados, por lo que se ha descartado también esa posibilidad.

Se procedió entonces a investigar acerca de otras especies vegetales que proliferaran en la zona del altiplano potosino y que contuvieran alguna sustancia biopolimérica en su

¹⁴³ Redacción, "Investigadora mexicana obtiene bioetanol a partir de jugo de tuna," 2000 Agro Revista Industrial del Campo, 12 de julio, 2011, <http://www.2000agro.com.mx/tecnologia/investigador-a-mexicana-obtiene-bioetanol-a-partir-de-jugo-de-tuna/>.

composición química, y se encontraron características interesantes en el mezquite que podrían aprovecharse para la producción de bioplásticos. Por lo tanto, se analiza dicha especie a continuación.

1.2.2.3 Factibilidad de aprovechamiento de biopolímeros de mezquite

El mezquite es un árbol o arbusto de hojas perennes, que cuenta con 44 especies diferentes a nivel mundial, 42 de ellas se encuentran en el continente americano y 9 de ellas en nuestro país.¹⁴⁴ Algunas de ellas se encuentran bien adaptadas a ambientes áridos y semiáridos donde crecen de forma abundante debido a la amplitud y profundidad de sus raíces.¹⁴⁵



Fig. 17: Árbol del mezquite en flor

¹⁴⁴ Martha Cervantes, *Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México*, (México: Instituto de Geografía, UNAM, 2002), 55.

¹⁴⁵ *Ibid.* 56.

Importancia ecológica del mezquite

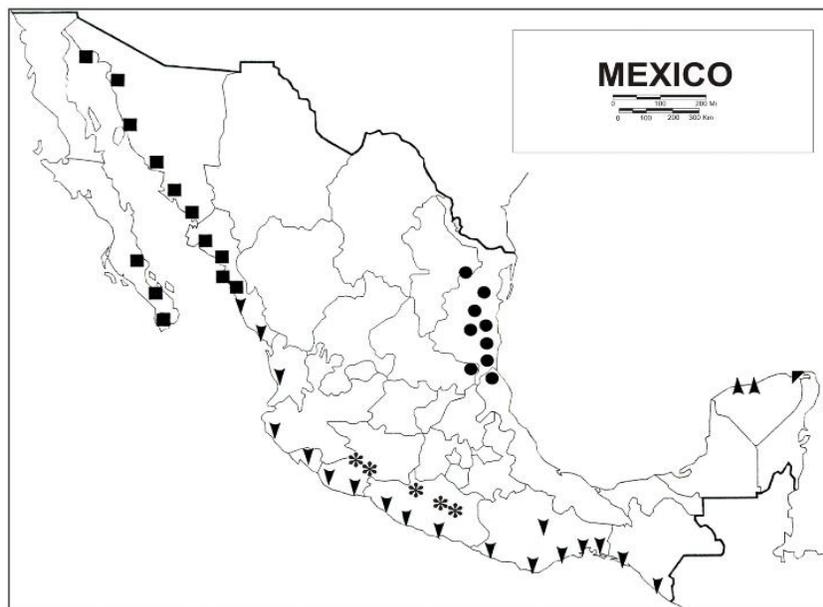
El mezquite tiene una gran importancia ecológica en los ecosistemas áridos y semiáridos en los que interactúa, ya que favorece la biodiversidad proveyendo recursos tales como alimento, cobijo y sombra a diferentes especies de aves, reptiles, insectos y mamíferos; así como a cactus y pastos cuyo crecimiento se ve favorecido tanto por el carbono y nitrógeno que fijan las raíces de este árbol, como por la fresca temperatura y humedad que se genera bajo sus copas.¹⁴⁶

Distribución geográfica del mezquite

En la siguiente página se presentan dos mapas que muestran la distribución geográfica de las diferentes especies de mezquite en México.¹⁴⁷

¹⁴⁶ Jordan Golubov, María C. Mandujano y Luis E. Eguiarte, "The Paradox of Mesquites (*Prosopis* spp.): Invading Species or Biodiversity Enhancers," *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 69 (2001): 23-30.

¹⁴⁷ Ramón Palacios, "Los Mezquites Mexicanos: Biodiversidad y Distribución Geográfica," *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 41 (julio 2006): 99–121.



Distribución geográfica: ▲ *P. mayana*; ▼ *P. juliflora*; ● *P. tamaulipana*; ▼ *P. vidalana*; ■ *P. yaquiana*; * *P. mezcaltana*.



Distribución geográfica: ● *P. odorata*; ■ *P. glandulosa*; ▲ *P. laevigata*; ▲ *P. velutina*; * *P. articulata*.

Figs. 18 y 19: Distribución de especies de mezquite en México

Formas de aprovechamiento del mezquite en México

Debido a la dureza y resistencia de la madera de mezquite, suele ser aprovechada para la elaboración de mobiliario, duela, parquet, tablas, tablonés, etc. Además, es utilizada también como leña y para la elaboración de carbón.¹⁴⁸

Por su parte, las vainas del mezquite son utilizadas como forraje para ganado bovino, caprino y porcino. Éstas son recolectadas en los meses de julio a septiembre por familias de campesinos en las zonas áridas y semiáridas, llegando a recolectar hasta 250 kg de vaina diarios por familia.¹⁴⁹

Gomas de mezquite

La corteza del árbol del mezquite presenta la peculiaridad de que exuda una sustancia gomosa para evitar el ingreso de agentes patógenos en el árbol y previene la desecación del tejido.¹⁵⁰ Esta sustancia es un polisacárido de la familia de las arabinogalactanas, y tiene

una estructura molecular comparable a la goma arábica por lo que algunos estudios la sugieren como sustituto de esta última en aplicaciones industriales.¹⁵¹ Uno de esos estudios es aquel realizado por el Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo, A.C y CONAFOR que presenta también los pasos que conforman el proceso para purificar la goma de mezquite después de ser recolectada:¹⁵²

1. Almacenamiento
2. Recepción
3. Pesado
4. Selección y limpieza manual
5. Disolución en agua
6. Filtrado de impurezas
7. Ultrafiltrado 10 kDa 25% sólidos (FC=2.5)
8. Secado por aspersión
9. Envasado

Dicho estudio calculó un rendimiento estimado de 40 kg por hectárea de goma de mezquite en áreas cultivadas del estado de Sonora, con lo cual se podría satisfacer la demanda de goma arábica en el mercado nacional.¹⁵³

¹⁴⁸ Martha Cervantes, *Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México*, (México: Instituto de Geografía, UNAM, 2002), 59.

¹⁴⁹ Instituto de Ecología y Cambio Climático, "Usos y Propiedades del Mezquite," SEMARNAT, consultada el 13 de noviembre, 2013, <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/72/uso.html>.

¹⁵⁰ *Ibid.*

¹⁵¹ Yolanda López-Franco et al., "Goma de mezquite: una alternativa de uso industrial," *Asociación Interciencia*, vol. 31, no. 3, (marzo 2006): 183–189.

¹⁵² *Ibid.*

¹⁵³ *Ibid.*



Fig. 20: Goma de corteza de mezquite

Las semillas del árbol del mezquite contienen un polisacárido de la familia de las galactomananas¹⁵⁴ de estructura química similar a las de la goma guar (*Cyamopsis tetragonoloba*); sustancia que es ampliamente utilizada a nivel mundial como surfactante¹⁵⁵ y espesante¹⁵⁶ en la industria alimenticia. Por lo tanto, el estudio del CIAD A.C. y CONAFOR propone a las galactomananas de las semillas como un sustituto de la goma guar en la industria alimenticia.¹⁵⁷

¹⁵⁴ Son carbohidratos polisacáridos contenidos en las semillas de algunas especies de plantas leguminosas.

¹⁵⁵ También llamados tensoactivos, son compuestos que reducen la tensión superficial en sustancias que no son solubles entre sí, permitiendo que se mezclen. Por ejemplo, el agua y el aceite. Un ejemplo de surfactante es el detergente.

¹⁵⁶ Sustancia que al ser mezclada con otra, incrementa su viscosidad.

¹⁵⁷ Yolanda L. López, *Uso del mezquite como fuente de polisacáridos de alto valor agregado*, (México: CONAFOR, julio 2009) 31.

De acuerdo al estudio, la purificación de las galactomananas se realiza a través del siguiente procedimiento en laboratorio:¹⁵⁸

1. Se dispersan las galactomananas en agua
2. Se someten a calentamiento presurizado en autoclave durante 20 minutos a 120°C
3. Se centrifugan para clarificar
4. Se filtran a través de membranas de 3, 1.2, 0.8 y 0.45 μm
5. Se precipitan con etanol hasta obtener una concentración de 50% v/v del mismo
6. Se centrifugan nuevamente
7. Se lavan con mezclas de etanol/H₂O (70, 80, 90, 95, y 100% v/v)
8. Se secan al vacío a temperatura ambiente



Fig. 21: Vainas de mezquite

¹⁵⁸ *Ibid.* 25.

Esta investigación calcula también que el rendimiento por hectárea cultivada de mezquite es de cuatro toneladas de goma en el estado de Sonora.¹⁵⁹

Para analizar la factibilidad de implementar un sistema de aprovechamiento sustentable de productos del mezquite en la zona del altiplano potosino, se buscaron estudios que calcularan el rendimiento por hectárea de dicha especie, mas no se encontró información específica al respecto. Por lo tanto, la investigación anteriormente citada que muestra las cifras del estado de Sonora podría funcionar como parámetro preliminar para analizar la viabilidad de dicho proyecto.

Evaluación de la especie del mezquite

De acuerdo a la información obtenida, a continuación se elabora una evaluación para determinar la factibilidad del uso del mezquite para elaborar biocompuestos.

Características físico-químicas	El árbol del mezquite produce biopolímeros polisacáridos los cuales se encuentran en el exudado de la corteza y las semillas en sus vainas
Disponibilidad	Diferentes especies de mezquite crecen de forma abundante en la República Mexicana, por lo que este recurso se encuentra ampliamente disponible
Factibilidad técnica de extracción y purificación	Es posible procesar los subproductos del árbol del mezquite para obtener biopolímeros con tecnología media; sin embargo, estos procesos son laboriosos y un poco complicados.
Impacto ambiental	Actualmente el mezquite no es aprovechado de forma sustentable en México, debido a que se sobreexplota para obtener madera y carbón; por lo tanto es necesario generar proyectos que le den valor agregado a los diferentes productos que se pueden obtener sin dañar el árbol como alternativa de aprovechamiento. Además, la extracción y purificación de las gomas no requieren procesos contaminantes
Impacto social	La recolección de goma y vainas mezquite representa una actividad económica que podría remunerarse, por lo que ésta podría generar fuentes de empleo.

Tabla 4

¹⁵⁹ *Ibid.* 30.

A partir de la literatura consultada y los resultados de la evaluación anterior, se determinó que es factible aprovechar las gomas del mezquite para la elaboración de materiales. Desgraciadamente, éstas no se encuentran en el mercado procesadas y purificadas, ya que actualmente no existe un aprovechamiento industrial a gran escala que amerite explotarlas. Es por esto que la experimentación se realizará con alternativas comerciales de sustancias que poseen una similitud de estructura molecular: la goma arábica y la goma guar.¹⁶⁰

1.2.2.4 Superficies hidrofóbicas para bioplásticos de producción local

Un aspecto importante a tomar en cuenta en el desarrollo de biopolímeros y que E.S. Stevens señala en su foro Greenplastics.net, es que se requieren de procesos altamente tecnificados para lograr que estos materiales sean resistentes al agua.¹⁶¹ Debido a eso, se analizarán a continuación diferentes estrategias tecnológicamente más accesibles para lograr superficies hidrofóbicas¹⁶² en el material que tengan la capacidad de reducir la absorción de líquidos.

¹⁶⁰ Ver páginas 62 y 63.

¹⁶¹ "Q&A: Can I make Waterproof bioplastic?," Green plastics, consultado el 20 de noviembre, 2013, <http://green-plastics.net/posts/70/qaa-can-i-make-waterproof-bioplastic/>

¹⁶² Propiedad de los materiales de repeler el agua.

Estructuras nanométricas en superficies de materiales

Una estrategia para repeler el agua que se encuentra comúnmente en la naturaleza -y recientemente en la industria- son materiales que posean estructuras nanométricas en la topografía de su superficie. Un ejemplo de ello ocurre en las hojas y en los pétalos de la flor de loto.

El loto es una planta que crece en medios acuáticos e incluso lodosos, y tanto sus hojas como los pétalos de sus flores tienen la capacidad de repeler el agua a través de una micro y nano-estructura jerárquica en su superficie. La cutícula de esta planta está conformada por lípidos solubles dentro de una matriz de poliéster¹⁶³, y poseen células epidermales papilosas y cristales de cera epicuticular que sobresalen de la superficie, lo que resulta en una superficie rugosa en una microescala¹⁶⁴.

Estas superficies reducen la fuerza de adhesión de las gotas de agua ya que el aire atrapado en los espacios vacíos de esta estructura reduce el

¹⁶³ "Hydrophobic surface allows self-cleaning: sacred lotus," Ask Nature - the Biomimicry Design Portal, consultado el 23 de noviembre, 2013, <http://www.asknature.org/strategy/714e970954253ace485abf1cee376ad8>.

¹⁶⁴ Ibid.

área de contacto entre el líquido y el sólido. Por lo tanto la auto-atracción de las moléculas de agua provoca que ésta forme esferas¹⁶⁵.

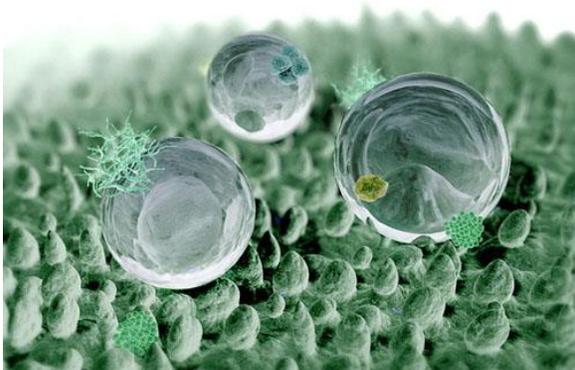


Fig. 22: Las nanoestructuras provocan que las gotas de agua formen esferas, evitando su absorción¹⁶⁶

Nano-recubrimientos hidrofóbicos comerciales

En la industria existen recubrimientos con base en silicón que son aplicados y al secar dejan en su superficie estructuras de cristales que debido a su disposición y forma, repelen el agua tal y como lo hacen los pétalos y hojas de loto.

A continuación se presentan algunos ejemplos: NeverWet es un recubrimiento superhidrofóbico y oleofóbico con base en silicón que al aplicarlo, crea un ángulo de contacto de 160 a 175° entre las gotas de agua y

¹⁶⁵ Ibid.

¹⁶⁶ "Self cleaning glass; a myth or a reality," Balcony, consultado el 25 de noviembre, 2013, <http://www.balconette.co.uk/articles/self-cleaning-glasses.aspx>

la superficie, la cual no solo quedan protegida de este elemento, sino que repele hielo, corrosión e incluso bacterias. La presentación comercial es en aerosol.



Fig.23: Neverwet puede ser usado en cualquier superficie

Hydrobead es un aerosol que forma un recubrimiento superhidrofóbico al ser aplicado en diferentes superficies. No solo repele el agua, sino que previene la formación de hielo, óxido y es antibacterial.



Fig. 24: La presentación de Hydrobead es en aerosol

Estos productos que se encuentran en el mercado no son una alternativa viable para ser aplicados en el material desarrollado debido a su costo económico y ambiental. Sin embargo, se consideró que en lugar de utilizar algún nanorecubrimiento, pudiera generarse alguna nanoestructura hidrofóbica directamente en el material a través de una impresión en el molde. Por lo tanto se consideró la posibilidad de someter las muestras del material a un proceso de nano impresión litográfica; el cual consiste en aplicar una textura a la superficie del material a través de un sello.

Se encontró entonces una empresa sueca llamada NIL Technology que elabora sellos de nanoimpresión para aplicaciones diversas, incluida la fabricación de superficies

hidrofóbicas; y se le contactó para solicitar una cotización de uno de éstos sellos. Sin embargo, su costo es muy alto, pues el más pequeño que fabrican mide 20x20 mm y tiene un precio de 1500 Euros. Por lo tanto, la opción de producir una superficie hidrofóbica en el material a través de un sello de nanolitografía, quedó descartada.

Recubrimientos resistentes al agua

En diferentes publicaciones tanto de técnicas de arte como de laudería y carpintería, se encontraron referencias a varias sustancias de origen natural que al ser mezcladas entre sí, producen barnices a prueba de agua resistentes y durables.

A continuación se describen algunas de ellas.

Aceites secantes



Este tipo de aceites tienen la propiedad de absorber oxígeno del aire y al oxidarse se polimerizan, transformándose en sustancias elásticas que al ser aplicadas en superficies, se adhieren a ésta formando películas resistentes al agua¹⁶⁷. Los aceites secantes más utilizados en la industria son el aceite de linaza, el aceite de tung, cáñamo, cártamo, nogal y amapola.

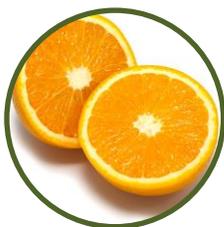
¹⁶⁷ C.L. Alsberg and A.E. Taylor, *The Fats and Oils: A General View* (EUA: Stanford University Press, 1928), 5.

Gomas y resinas



Algunas de las gomas y resinas naturales que se utilizan para la elaboración de barnices son la goma laca, copal, kauri, trementina de Venecia, benzoína, almáciga, sandáraca, elemi, damar y colofonia¹⁶⁸.

Solventes de terpenos



Los terpenos son compuestos orgánicos que se obtienen de aceites esenciales y son los primeros solventes usados por el hombre, ya que se ha encontrado evidencia que estos fueron utilizados en el antiguo Egipto para recubrimientos¹⁶⁹. Sin embargo, en la actualidad no tienen tanta importancia comercial como los solventes de hidrocarburos debido a su precio¹⁷⁰. Los solventes de terpenos más utilizados en la actualidad son la trementina que proviene de la resina de pino y el D-limoneno que proviene de la cáscara de cítricos.

Ceras



Las ceras naturales son de origen animal como la cera de abeja, y vegetal como la cera de carnauba y candelilla¹⁷¹. Estas últimas provienen de la secreción de tallos y hojas de plantas y son más duras y quebradizas que la de abeja¹⁷². Las ceras han sido usadas desde la antigüedad como recubrimientos protectores para muebles y a veces son mezcladas con solventes y resinas para mejorar su resistencia¹⁷³.

¹⁶⁸ Thomas A. Snyder, "A brief essay on historic furniture varnishes and resins," Williamsburg Art Conservation Inc., consultado el 30 de noviembre, 2013, <http://www.williamsburgartconservation.com/historic-varnishes-and-resi.html>.

¹⁶⁹ Joseph. V. Koleske, *Paint and Coating Testing Manual: Fourteenth Edition of the Gardner-Sward Handbook*. (Philadelphia: ASTM International, 1995), 127.

¹⁷⁰ Ibid.

¹⁷¹ Percival J. Fryer and Frank E. Weston, *Technical Handbook of Oils, Fats and Waxes*. (EUA: Cambridge University Press, 2013), 182.

¹⁷² Ibid.

¹⁷³ Franco Bulian and Jon Graystone, *Wood Coatings: Theory and Practice*. (Burlington, MA: Elsevier, 2009), 629.

1.3 Aglutinantes de cera y resina

Durante la investigación sobre las diferentes ceras que se utilizan para elaborar recubrimientos resistentes al agua, se encontró información sobre algunos casos donde éstas también han sido utilizadas para elaborar sustancias adhesivas que podrían utilizarse como aglutinantes. Por ejemplo, la mezcla de cera de abeja con resina de pino ha sido usada desde hace siglos en países europeos como pegamento para mangos de cuchillos, a la que también se le agregan cargas de polvo de carbón.¹⁷⁴

Por otro lado, investigaciones desarrolladas por la *Foundation for the Advancement of Mesoamerican Studies Inc.*, revelan que los aztecas elaboraban adhesivos mezclando cera de abeja con resinas, mismos que eran utilizados para pegar mosaicos de piedras en superficies de hueso y madera.¹⁷⁵ Estas investigaciones demuestran que los aztecas mezclaban las resinas de pino y copal, para

obtener un pegamento mucho más resistente que aquel elaborado con solo una de ellas.¹⁷⁶



Fig. 25: *Serpiente bicéfala de mosaico de turquesa. British Museum. Arte azteca*

Por lo tanto, a partir de esta información se comenzó a hacer una prospección de especies vegetales en la zona de estudio que produjeran alguna sustancia cerosa o resinosa que se pudiera aprovechar para elaborar una matriz aglutinante; y se encontró que en la zona del Desierto Chihuahuense -el cual se extiende entre los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, Durango y San Luis Potosí-¹⁷⁷ crece un arbusto llamado *candelilla* que produce una cera que ya es aprovechada industrialmente para la elaboración de distintos productos.

¹⁷⁴ "El pegamento de la prehistoria," ArqueoEduca, consultado el 23 de marzo, 2014, <http://arqueoeeducablog.blogspot.mx/2014/03/el-pegamento-de-la-prehistoria.html>.

¹⁷⁵ Frances Berdan, *La Tecnología de los Antiguos Mosaicos Mesoamericanos: Una Investigación Experimental de Super Pegamentos Alternativos*, (Los Angeles: Foundation for the Advancement of Mesoamerican Studies, Inc., 2006), p.15.

¹⁷⁶ *Ibid.* p. 18.

¹⁷⁷ Eglantina Canales, Verónica Canales y Elsa M. Zamarrón, "Candelilla, del desierto mexicano hacia el mundo," *Biodiversitas* 69, (diciembre 2006): 1-5.

A partir de la información encontrada, se consideró como una perspectiva interesante experimentar con esta cera para desarrollar una nueva alternativa de matriz aglutinante, a pesar no se tengan antecedentes de que ya haya sido usada para estos fines. Sin embargo, resulta necesario aclarar que este producto presenta ciertas ventajas por encima de la cera de abeja para la aplicación que se le pretende dar; como por ejemplo, mayor dureza y un punto de fusión más elevado: la cera de abeja se derrite a 64°C,¹⁷⁸ y la cera de candelilla se derrite a temperaturas entre 67°C y 79°C.¹⁷⁹ Por lo tanto, a continuación se procederá a desarrollar un análisis de la industria de la candelilla para determinar su factibilidad de aprovechamiento para los fines que esta investigación persigue.

1.3.1 Factibilidad de aprovechamiento de cera de candelilla

La candelilla es un arbusto perene que crece en zonas de temperaturas elevadas; por lo tanto, sus tallos se revisten de una capa de cera para prevenir la excesiva evaporación de agua,¹⁸⁰

Esta especie vegetal actualmente es considerada como uno de los recursos naturales económicamente más importantes del norte de México debido a la industrialización de dicha cera, la cual es exportada a algunos países de Europa, Estados Unidos y Japón; donde es utilizada para la elaboración de diversos productos, tales como: cosméticos, adhesivos, hules, golosinas, velas, pinturas, etc.¹⁸¹



Fig. 26: Tallos de candelilla recubiertos con cera

Se estima que en 33 municipios del noroeste rural de México existen 3,500 pequeños productores de candelilla, quienes en el año de 2009 produjeron 1,071 toneladas de cera.¹⁸²

¹⁷⁸ Joon Park y R. S. Lakes, *Biomaterials: An Introduction*, (New York: Springer, 2007), 64.

¹⁷⁹ "Propiedades", Instituto de la Candelilla, consultada el 25 de marzo, 2014,

http://www.candelilla.org/?page_id=85&lang=es

¹⁸⁰ "La planta de Candelilla", Instituto de la Candelilla, consultada el 12 de febrero, 2014,

http://www.candelilla.org/?page_id=85&lang=es

¹⁸¹ *Ibid.*

¹⁸² José Ojeda, "Producción de cera en el desierto," *El Economista*, 30 de agosto, 2012.

<http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2012/08/30/produccion-cera-desierto>.



Fig. 27: Distribución geográfica de candelilla en México

Desgraciadamente, estos productores no reciben buena paga a pesar de la dificultad que representa la extracción de este recurso, pues son víctimas del intermediarismo^{183,184} y las compañías que refinan, distribuyen y exportan el producto son las que más ganancias obtienen.¹⁸⁵ Por lo mismo, los campesinos buscan nuevas maneras de darle valor agregado

a la cera y ofrecer un producto terminado para poder comercializarlo a precios justos.¹⁸⁶ Por otro lado, la sobreexplotación de este recurso y el uso de técnicas obsoletas para su cosecha, han ido diezmando las poblaciones naturales de estos arbustos. Por lo tanto, la explotación de candelilla se regula ahora por la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, así como por la norma NOM-018-RECNAT-1999, lo cual obliga al productor a obtener un permiso para cosechar donde se explique qué método se utilizará y qué cantidad se producirá.¹⁸⁷

¹⁸³ Práctica en la que el intermediario entre el productor de algún bien de consumo y el consumidor, eleva excesivamente el precio del producto sin beneficio alguno para el productor.

¹⁸⁴ Héctor López y Sofía Noriega, "Acabará el 'coyotaje' contra candelilleros e ixtleros: Verduzco," *El Diario de Coahuila*, 25 de julio, 2013, <http://www.eldiariodecoahuila.com.mx/notas/2013/7/25/acabara-coyotaje-contra-candelilleros-ixtleros-verduzco-377802.asp>.

¹⁸⁵ Redacción, "Productores zacatecanos conocen nuevas tecnologías para extraer cera de candelilla," *Zacatecas Hoy*, 23 de noviembre, 2012, <http://zacatecashoy.com/productores-zacatecanos-conocen-nuevas-tecnologias-para-extraer-cera-de-candelilla/>.

¹⁸⁶ Esmeralda Barrera, "Se asocian candelilleros del desierto," *Zócalo Saltillo*, 25 de mayo, 2014, <http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/se-asocian-candelilleros-del-desierto>.

¹⁸⁷ "Legislación aplicable", Instituto de la Candelilla, consultada el 12 de febrero, 2014, http://www.candelilla.org/?page_id=1321&lang=es

Método de cosecha de la candelilla

El método más usado para la cosecha de candelilla es arrancar el arbusto de raíz, lo que provoca la lenta recuperación de las poblaciones de plantas o incluso su destrucción total. Por lo tanto, los productores deben desplazarse cada vez a regiones más lejanas para encontrarla.¹⁸⁸ Sin embargo, las técnicas de cultivo de esta planta continúan perfeccionándose para mejorar la producción sin degradar más el entorno. Un ejemplo de esto es un método desarrollado por una empresa productora de ceras en el estado de Coahuila llamada Ceras Coahuiltecas S.A. de C.V., que permitió el cultivo exitoso de tres mil hectáreas de candelilla. Por tal motivo, la empresa obtuvo el Reconocimiento Nacional al Mérito Forestal en el año 2010 dentro de la categoría de Empresas en Plantación Comercial.¹⁸⁹

Método de extracción de la cera de candelilla

Otra problemática ambiental asociada a la producción de esta cera que ya también se está atacando, ocurre en la etapa de extracción, ya

que una vez que han recolectado suficientes bultos de este arbusto, son transportados a los lugares de procesamiento donde son hervidos en agua y ácido sulfúrico dentro de grandes tinas de hierro llamadas *pailas*. De este proceso se forma una especie de espuma en la superficie que es separada del resto y a la que se le conoce como *cerote*, que es en realidad la cera sin purificar. Posteriormente ésta es calentada nuevamente para separar el agua e impurezas. Al producto final de esta operación se le llama *tejo* y es lo que se vende a las empresas que lo refinan.¹⁹⁰

El ácido sulfúrico ha sido usado desde hace más de 105 años para separar la cera de los tallos de la planta, pero su alto grado de corrosividad y toxicidad es incuestionable y a pesar de esto, es desechado sin ningún control.¹⁹¹ Sin embargo, la producción de cera de candelilla tiene buen potencial para mejorar su competitividad dentro del mercado y asegurar su producción sustentable.

Un ejemplo de esto es la empresa mexicana Multiceras S.A. de C.V., quien desarrolló

¹⁸⁸ Emilio Ochoa-Reyes et al., "Extracción Tradicional de Cera de *Euphorbia antisyphilitica*," *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, vol. 2 (3), (2010): 1-13.

¹⁸⁹ Sofía Noriega, "Lucha contra el semidesierto," *El Diario de Coahuila*, 29 de septiembre, 2010, <http://www.eldiariodecoahuila.com.mx/notas/2010/9/29/locales-197419.asp>.

¹⁹⁰ Eglantina Canales, Verónica Canales y Elsa M. Zamarrón, "Candelilla, del desierto mexicano hacia el mundo," *Biodiversitas* 69, (diciembre 2006): 1-5.

¹⁹¹ Emilio Ochoa-Reyes et al., "Extracción Tradicional de Cera de *Euphorbia antisyphilitica*," *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, vol. 2 (3), (2010): 1-13.

recientemente un proceso para extraer el cerote utilizando ácido cítrico con excelentes resultados, ya que no es tóxico y es amigable con el medio ambiente.¹⁹²

Además, la CONAFOR está promoviendo este método de extracción de cera entre candelilleros de distintos estados a través de foros, de manera que éstos puedan certificar su producto como orgánico; aunque este hecho podría elevar su costo hasta alcanzar los \$130.00 o \$140.00.¹⁹³

Evaluación del arbusto de candelilla

De acuerdo con la información obtenida, a continuación se elabora una evaluación para determinar la factibilidad del uso de la candelilla para elaborar biocompuestos.

Características físico-químicas	La cera de candelilla posee cualidades aglutinantes. Además es dura y tiene un punto de fusión relativamente alto.
Disponibilidad	La candelilla crece de forma abundante en el desierto Chihuahuense.
Factibilidad técnica de extracción y purificación	Actualmente existen procesos desarrollados de extracción y purificación de cera de candelilla.
Impacto ambiental	Actualmente la extracción de cera de candelilla utiliza procesos contaminantes como el uso de ácido sulfúrico; sin embargo, se ha desarrollado una técnica donde se utiliza ácido cítrico que no contamina y ahorra agua, aunque provocará que se eleve el costo de la cera.
Impacto social	Es necesario promover el comercio justo de la cera de candelilla a través de esquemas de distribución y venta de los productos elaborados a partir de ésta para que tengan un impacto social positivo.

Tabla 5

¹⁹² "Multiceras – Nuevo Método de Extracción," Instituto de la Candelilla, consultado el 13 de marzo, 2014, <http://www.candelilla.org/?p=1721&lang=es>

¹⁹³ Redacción, "Productores zacatecanos conocen nuevas tecnologías para extraer cera de candelilla" *Zacatecas Hoy*, 23 de noviembre, 2012, <http://zacatecashoy.com/productores-zacatecanos-conocen-nuevas-tecnologias-para-extraer-cera-de-candelilla/>.

Gracias a los resultados obtenidos en la evaluación de la candelilla, se determinó que su cera presenta buenas perspectivas de aprovechamiento sustentable en la elaboración de materiales.

1.3.2 Aditivos naturales para ceras

A pesar de que la cera de candelilla tiene características prometedoras para la

elaboración de aglutinantes, se consultó bibliografía sobre artes y manualidades para identificar algunas sustancias de origen natural que fungieran como aditivos para mejorar algunas de las propiedades de esta cera; y se identificaron dos sustancias interesantes: la goma damar y el ácido esteárico; mismas que podrían modificar favorablemente algunas propiedades como la resistencia mecánica y el punto de fusión.

Goma damar



La goma damar es una goma natural de color blanquizco amarillento que se obtiene de la planta *shorea wiesneri* y que debido a sus propiedades estabilizantes¹⁹⁴ y emulsificantes,¹⁹⁵ es usada en la industria para fabricar tintas, pinturas, barnices, papel, maderas, etc.¹⁹⁶ Esta goma tiene un punto de reblandecimiento entre 86° y 90° C¹⁹⁷ y un punto de fusión entre 90° y 110° C;¹⁹⁸ y al mezclarla con cera de abeja, provoca que el punto de fusión de ésta se eleve por lo menos diez grados más.¹⁹⁹ Sin embargo, estas temperaturas presentan variaciones debido a la proporción en que los componentes de la fórmula son mezclados, ya que a mayor cantidad de goma damar, mayor es el punto de fusión de la mezcla pero también se vuelve más quebradizo el material resultante.

¹⁹⁴ Aditivo que evita la modificación de las características físicas de alguna sustancia.

¹⁹⁵ Sustancia que permite mezclar de forma casi homogénea dos líquidos no miscibles. Esto es, no mezclables.

¹⁹⁶ Sabu Thomas et al., *Polymer Composites, Biocomposites*. (Weinheim: John Wiley & Sons, 2013), 42.

¹⁹⁷ George A. Burdock, *Encyclopedia of Food and Color Additives, Volume 1, A-E*. (Florida: CRC Press, 1997), 763.

¹⁹⁸ Friberg Stig, Kare Larsson, and Johan Sjoblom, *Food Emulsions*. (New York: CRC Press, 2003), 492.

¹⁹⁹ Joanne Mattera, *The art of encaustic painting: contemporary expression in the ancient medium of pigmented wax*. (New York: Watson-Guptill Publications, 2001), 95.



Ácido esteárico

El ácido esteárico o estearina es un ácido graso que se obtiene de grasas y aceites tanto animales como vegetales y es utilizado en la industria de las velas para elevar su punto de fusión y hacerlas más duras y resistentes.²⁰⁰ Sin embargo, el punto de fusión de la estearina es de 65°C,²⁰¹ por lo que no aumentará el punto de fusión de la cera de candelilla, aunque posiblemente podría darle mayor dureza.

Capítulo 2. Fase de experimentación

En esta fase de experimentación se intentarán desarrollar dos alternativas de materiales utilizando matrices aglutinantes distintas. La primera se elaborará a partir de los biopolímeros del mezquite y la segunda a partir de una mezcla de cera de candelilla y resinas.

Es necesario señalar como antecedente al primer experimento, que una característica que determina la capacidad de los biopolímeros de transformarse en bioplásticos, es su capacidad de gelificar al ser combinados con agua y sometidos a temperaturas elevadas. Por lo tanto, se comenzarán los módulos de experimentación realizando algunas pruebas para determinar la capacidad gelificante de las gomas del mezquite -sustituidas por goma arábiga y goma damar- para identificar si es posible producir bioplásticos con ellas.

Nota: Por consideraciones a la propiedad intelectual de este documento, los módulos de experimentación no contienen detalles precisos sobre los procesos aplicados al desarrollo de los materiales ni tampoco datos exactos sobre fórmulas y proporciones en sus componentes. Sin embargo, estos datos se encuentran en un anexo que puede ser consultado por los lectores de esta investigación.

²⁰⁰ Nicole LeBoeuf-Little, "Using stearic acid or stearin in candlemaking," *Happy Living Magazine*, vol. 2, no. 1, 2009,

²⁰¹ *Ibid.*

2.1 Material 1

Módulo de experimentación 1	Material 1
Objetivo: Determinar la capacidad de la goma arábica de gelificar añadiendo aditivos plastificantes.	
INGREDIENTES	 <p data-bbox="581 800 716 835">Goma arábica</p> <p data-bbox="862 800 938 835">Aditivos</p>
Procedimiento Se mezclan los ingredientes en diferentes proporciones y diferentes temperaturas.	
Resultados La goma arábica no cuaja o gelifica en ninguna de las diferentes proporciones o temperaturas probadas.	

Debido a que la goma arábica no logró gelificar, se procedió a consultar bibliografía para identificar algún otro método para llevar esto a cabo, y se encontró que la goma arábica al mezclarse con algunas sustancias como bórax, puede formar geles o precipitados.²⁰²

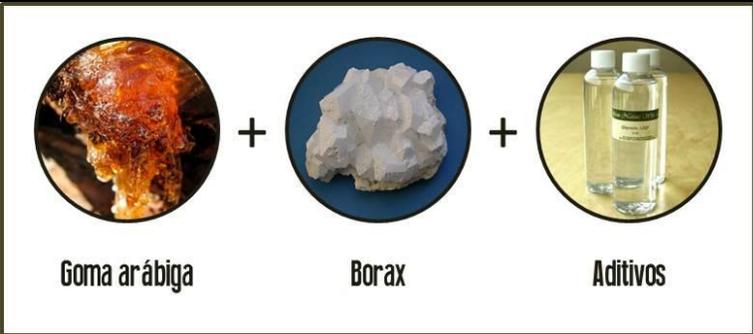
El bórax es un polvo mineral que se encuentra de forma natural en depósitos de lagos estacionales y ha sido usado por el hombre por más de 4,000 años como ingrediente en vidrios y cerámicas, así como desodorizante, fungicida y herbicida²⁰³. A este producto se le considera seguro para la salud humana aunque la exposición directa al mismo puede generar síntomas a corto plazo como vómito, irritación de ojos, alergias y problemas respiratorios.²⁰⁴

²⁰² David Blackley, *Polymer Latices*. (London: Springer, 1997), 127.

²⁰³ Joseph Castro, "What Is Borax?," *LiveScience.com*, 2013, <http://www.livescience.com/41980-what-is-borax-boron.html>.

²⁰⁴ *Ibid.*

De acuerdo con esta información, se consideró entonces realizar una prueba agregando bórax a la mezcla de goma arábica y aditivos plastificantes, la cual se detalla a continuación.

Módulo de experimentación 2	Material 1
<p>Objetivo Determinar la capacidad del bórax para gelificar la goma arábica y formar una matriz aglutinante para la fibra de nopal.</p>	
<p>INGREDIENTES</p>	 <p style="text-align: center;">Goma arábica Borax Aditivos</p>
<p>Procedimiento Se mezclan el agua, la goma arábica y el bórax hasta homogenizar la mezcla.</p>	
<p>Resultados Al añadir el bórax a la mezcla, se forma un gel muy débil, el cual al ser mezclado con los aditivos plastificantes, pierde la consistencia gelatinosa y regresa nuevamente a su estado líquido.</p>	

Conclusiones de experimentación con goma arábica

Debido a que no se encontró algún método para gelificar la goma arábica de manera que funja como aglutinante, no se le ha identificado una utilidad real en la producción de materiales biocompuestos; por lo que se procederá a experimentar con galactomananas que serán obtenidas de goma guar en sustitución de las vainas del mezquite.

Módulo de experimentación 3	Material 1
Objetivo Analizar el comportamiento de las galactomananas al mezclarlas con aditivos plastificantes.	
INGREDIENTES	 <p>The diagram consists of two circular images. The left image shows green peas on a vine, labeled 'Galactomananas'. The right image shows two clear plastic bottles containing liquids, labeled 'Aditivos'. A plus sign (+) is placed between the two images.</p>
Procedimiento Se mezclan en diferentes proporciones y temperaturas los ingredientes para analizar los efectos de los aditivos en las galactomananas	
Resultados <ul style="list-style-type: none"> • Se forma una masa con consistencia de engrudo difícil de vaciar • Es difícil homogenizar la mezcla debido a que cuaja muy rápidamente, por lo que permanecen grumos en ella difíciles de deshacer • Las muestras tardan varias semanas en secar • El material se encoje • La resistencia y dureza de las muestras aumenta conforme éstas secan • La flexibilidad de las muestras disminuye conforme éstas secan • El punto de fusión de las muestras se incrementa conforme éstas secan • A mayor cantidad de plastificantes, las muestras se vuelven más flexibles y a menor cantidad más rígidas • Las muestras absorben agua del ambiente • Al sumergir el material plastificado y completamente deshidratado en agua durante algunos minutos, provoca que éste se reblandezca. • Si la muestra se deja sumergida en el agua por varias horas, comienza a deshacerse • Después de varios meses, el plastificante también se evapora y las muestras se quiebran. 	

Módulo de experimentación 4	Material 1
Objetivo: Analizar las características de la mezcla de goma guar y fibra de nopal.	
INGREDIENTES	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Harina de nopal</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Galactomananas</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Aditivos</p> </div> </div>
Procedimiento Se mezclan los ingredientes a diferentes proporciones y diferentes temperaturas.	
Resultados <ul style="list-style-type: none"> • Se forma una masa muy espesa similar al migajón que es muy difícil de mezclar • Es difícil homogenizar la mezcla debido a que cuaja muy rápidamente, por lo que permanecen grumos en ella difíciles de deshacer • Las muestras que contienen mayor porcentaje de plastificantes, al secar presentan una consistencia esponjosa y flexible. • Las muestras que contienen menor cantidad de plastificantes, presentan buen grado de dureza y resistencia a la flexión, presión e impacto 	

Debido a que la goma guar cuaja el agua muy rápidamente y dificulta la integración adecuada de los ingredientes, se analizó la posibilidad de mezclarla con otro biopolímero de manera que su poder gelificante se reduzca un poco.

Por lo tanto, se procedió a realizar pruebas con algunos de ellos como el almidón y la grenetina, los cuales fueron elegidos entre algunos otros biopolímeros por tener amplia disponibilidad en el mercado y menor costo que los demás.

Módulo de experimentación 5	Material 1
<p>Objetivo Analizar la interacción del almidón y la grenetina con las galactomananas del mezquite y fibras de nopal.</p>	
INGREDIENTES	 <p style="text-align: center;"> Biopolímeros + Harina de nopal + Galactomanana de mezquite + Aditivos </p>
<p>Procedimiento Se mezclan los componentes en diferentes proporciones y a diferentes temperaturas.</p>	
<p>Resultados</p> <ul style="list-style-type: none"> • Algunas mezclas no fueron manejables pues potenciaban el efecto de la goma guar, pero otras mezclas retrasaban el efecto del cuajado, permitiendo que las galactomananas se disolvieran bien en la mezcla. • Las muestras del material resultante –independientemente de sus proporciones- tenían en común que tardaban varias semanas en llegar al punto de equilibrio de humedad y se iban encogiendo y deformando durante este proceso, sin embargo, presentaban gran dureza y resistencia • Aquellas muestras que tenían una gran cantidad de plastificante, se volvían muy flexibles; pero con el paso del tiempo, el plastificante se iba evaporando hasta que éstas se volvían quebradizas al aplicar tensión. Sin embargo, las que tenían poco plastificante presentaron gran dureza • Las muestras al contacto con el agua se reblandecían y terminaban por disolverse al permanecer varias horas sumergidas en ella <p>Las proporciones de los ingredientes de la formulación elegida, fueron determinadas por los siguientes criterios:</p> <p>Criterios de evaluación de muestras:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Que se mezclaran los ingredientes de forma homogénea 2. Que la mezcla fuera manejable y susceptible a ser procesada por métodos tradicionales como vaciado, extruido o inyección. 3. Que tuviera una velocidad de cuajado moderada que facilite su manejo 4. Que tuviera la menor cantidad de agua posible para acelerar el secado y ahorrar recursos 5. Que utilizara la mayor cantidad de recursos locales y la menor cantidad de aditivos y elementos externos 6. Que se deformara lo menos posible al secar 7. Que al secar tuviera una consistencia firme y resistente 8. Que sus propiedades se modificaran lo menos posible con el transcurso del tiempo 9. Que fuera visualmente atractiva 	

Una vez que se eligió una formulación con base en los criterios de evaluación anteriores, se procedió a sustituir la harina de nopal por cáscara y semillas de tuna pulverizadas para analizar si las muestras obtenidas presentaban alguna diferencia en las características físicas y mecánicas del material.

Módulo de experimentación 6	Material 1
<p>Objetivo</p> <p>Analizar el comportamiento del material sustituyendo la harina de nopal con la cáscara y semillas de tuna pulverizadas y comparar ambas muestras.</p>	
<p>INGREDIENTES</p>	 <p>Biopolímero + Cáscara y semillas de tuna pulverizadas + Galactomanana de mezquite + Aditivos</p>
<p>Procedimiento</p> <p>Se mezclaron los componentes siguiendo el mismo procedimiento de la muestra mejor calificada del módulo de experimentación anterior y se hizo un análisis comparativo de ambas para determinar si la cáscara y semillas de tuna le daban características diferentes al material, tomando en cuenta los siguientes parámetros de comparación.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La integración homogénea de los ingredientes 2. Consistencia de la masa durante el mezclado 3. Velocidad de cuajado 4. Velocidad de secado 5. Deformación al secar 6. Dureza 7. Resistencia 8. Color 	
<p>Resultados</p> <p>Las propiedades físicas de la muestra elaborada con cáscara de tuna deshidratada no presentaron alguna diferencia significativa con respecto a las muestras elaboradas con harina de nopal, excepto por su color. Por lo tanto, ambas alternativas podrían utilizarse indistintamente en los experimentos, o incluso combinadas.</p>	

Debido a que las muestras del material elaborado no son resistentes al agua, se analizó la posibilidad de aplicar una estrategia de hidrofobicidad presente tanto en la industria como en la naturaleza, la cual consiste en recubrir la superficie de los materiales con sustancias cerosas o aceitosas para volverlos impermeables.

Módulo de experimentación 7	Recubrimiento resistente al agua
<p>Objetivo Probar algunas sustancias de origen natural identificadas como hidrofóbicas y combinaciones de las mismas como recubrimientos en algunas muestras del material; para determinar cuál o cuáles de ellas tienen mejor desempeño.</p>	
<p>Procedimiento Se elaboraron algunas combinaciones encontradas en literatura especializada de aceites, gomas, resinas, terpenos y ceras de origen natural. Después de desarrollar las mezclas, éstas fueron aplicadas en diferentes muestras y se esperó a que secan completamente para evaluarlas:</p> <p>Los criterios para evaluar el desempeño de las mezclas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de disolverse y mezclarse homogéneamente: que no queden grumos ni partículas suspendidas • Facilidad de aplicación en el material: Los acabados se aplicaron con pincel y se tomó en cuenta que no fueran muy viscosos, que no escurrieran después de ser aplicados y que el pincel no dejara marcas • Rapidez en el secado: Debido a la naturaleza aceitosa de los materiales, se considera que un secado rápido tarda una semana en secar completamente. Se sabe que un acabado ha secado cuando al tocarlo no quedan huellas dactilares ni se siente pegajoso. • Calidad del acabado: Que tenga una apariencia uniforme en cuanto a color, brillo y grosor • Impermeabilidad: Que tenga la propiedad de evitar que las fibras se humedezcan cuando la muestra se sumerja en agua • Adhesión al material base: Que no se separe el recubrimiento del material al aplicar fricción • Textura táctil agradable: Que no sea pegajoso al secar completamente • Dureza: que tenga resistencia a las rayaduras y a los impactos. Que no se rompa al caer al piso o al ser golpeado con un martillo 	
<p>Resultados Prácticamente todas las combinaciones realizadas en este módulo de experimentación presentaron un secado bastante lento. Esto se debe en parte a la naturaleza aceitosa de los solventes utilizados, los cuales se utilizan por la capacidad de adelgazar las mezclas facilitando su aplicación.</p>	

Algunos de los recubrimientos aplicados no se adhirieron adecuadamente al material, pues al momento de aplicar un poco de fricción, se descarapelaban. Algunos otros se rayaban fácilmente, y al mojarse se filtraba el agua a través de esas rayaduras ocasionando manchas blancas. Otros más no resistían bien los impactos y se desportillaban y algunos se fueron opacando y haciéndose cada vez más pegajosos, por lo que atraían polvo a su superficie.

Sin embargo, después de varias pruebas se desarrolló una formulación que cumple con los criterios establecidos.



Fig. 28: Muestras de propuesta de material 1 con diferentes acabados

2.2 Material 2

Como se señaló anteriormente, durante la investigación sobre recubrimientos se detectó en la cera de candelilla un buen potencial de aprovechamiento para la elaboración de aglutinantes debido a sus características físicas; por lo tanto se analizó la posibilidad de desarrollar una nueva propuesta de matriz con base en la cera de candelilla y diferentes resinas naturales. Los experimentos se describen a continuación.

Módulo de experimentación 8	Material 2
<p>Objetivo</p> <p>Analizar las características físicas de la cera de candelilla mezclada con resinas y harina de nopal en diferentes proporciones para determinar si presenta posibilidades para ser utilizada en la elaboración de materiales biocompuestos.</p>	
<p>INGREDIENTES</p>	 <p>Cera de candelilla + Harina de nopal + Resinas</p>
<p>Procedimiento</p> <p>Se realizaron distintas mezclas variando las proporciones de los componentes.</p>	
<p>Resultados</p> <p>La mezcla de fibra con cera y resinas resultó en una mezcla homogénea fácil de manejar y al fraguar presentaba las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Facilidad para desmoldar • Precisión en moldeado • Bajo índice de encogimiento • Textura firme pero un poco pegajosa al tacto • Consistencia dura pero muy quebradiza. las muestras se rompen con facilidad al ser golpeadas con un martillo o al aplicarles fuerzas de tensión o compresión, independientemente de las proporciones de los componentes • Alto brillo 	

A pesar de lo quebradizo de la muestra resultante, el aglutinante elaborado a partir de cera y resina tiene buenas características que podrían ser aprovechadas para la elaboración de un material biocompuesto. Por lo tanto, las pruebas subsecuentes estarán encaminadas a mejorar la resistencia de la matriz través de la incorporación de los aditivos para ceras que se identificaron en la literatura consultada.

Módulo de experimentación 9	Material 2
<p>Objetivo Analizar el efecto en el material de los aditivos propuestos al añadirlos en diferentes proporciones a la mezcla de cera de candelilla, harina de nopal y resinas.</p>	
<p>INGREDIENTES</p>	 <p>The diagram illustrates the ingredients used in the experiment. It consists of four circular images arranged horizontally, separated by plus signs. From left to right: 1. 'Cera de candelilla' (candelilla wax) showing a close-up of the wax on a plant. 2. 'Harina de nopal' (nopales flour) showing a green, textured powder. 3. 'Resinas' (resins) showing a yellowish, translucent substance. 4. 'Aditivos' (additives) showing a white, powdery substance in a small white bowl.</p>
<p>Procedimiento Se realizaron diferentes experimentos variando las proporciones de los componentes para producir distintas muestras que serían evaluadas de acuerdo a los siguientes criterios con el fin de determinar qué fórmula tiene las mejores características.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Que la mezcla contuviera la mayor proporción posible de insumos locales sin comprometer las propiedades mecánicas 2. Que se mezclaran los ingredientes de forma homogénea con facilidad 3. Que la mezcla fuera manejable y susceptible a ser procesada por algunos de los métodos tradicionales para plásticos como vaciado, extruido o inyección 4. Que tuviera una consistencia firme y resistente al fraguar 5. Que sus propiedades se modificaran lo menos posible con el transcurso del tiempo 6. Que la muestra fuera visualmente atractiva 7. Que la muestra tuviera una textura agradable 8. Que tuviera el punto de fusión más alto posible 	
<p>Resultados El ácido esteárico le confiere flexibilidad al material y lo vuelve menos pegajoso al tacto, pero también lo vuelve chicloso y reduce su punto de fusión; y la goma damar lo eleva pero también vuelve muy quebradizo el material. Por lo tanto, fue necesario realizar un gran número de pruebas diferentes variando las proporciones de estos elementos para obtener un material relativamente más resistente y con un punto de fusión más elevado. Sin embargo, la adición de estos elementos no logró resolver el problema de la baja resistencia del material a los impactos.</p>	

Debido a que las muestras de material siguen siendo quebradizas, se concluyó que posiblemente la fibra de nopal en polvo actuaba solamente como carga para la mezcla aportando ligereza y volumen, pero no aportaba elementos estructurales para mejorar las propiedades mecánicas del material. Por lo tanto, se analizó la posibilidad de agregar a la mezcla base (la mezcla desarrollada previamente) fibra de agave lechuguilla de manera que esta pueda brindarle un mayor refuerzo a su estructura.

Módulo de experimentación 10	Material 2
Objetivo Determinar la capacidad de la fibra de ixtle de mejorar las propiedades mecánicas del material.	
COMPONENTES	 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="540 737 748 947" style="text-align: center;">  <p>Mezcla base</p> </div> <div data-bbox="808 737 1016 947" style="text-align: center;">  <p>Fibra de ixtle</p> </div> </div>
Procedimiento Se mezclan los componentes en diferentes proporciones. Posteriormente, se someten las muestras a fuerzas de tensión manual.	
Resultados <ol style="list-style-type: none"> 1. La mezcla obtenida es difícil de vaciar por la gran cantidad de fibra. 2. No es una mezcla homogénea; por lo tanto, será necesario desarrollar un sistema para distribuir la fibra de ixtle de forma uniforme en el molde. 3. La fibra de ixtle le confiere al material mayor resistencia a la tensión. 	

Una vez que se demostró que la incorporación de fibra de ixtle a la mezcla base mejora su resistencia, se procedió a experimentar con diferentes variables para determinar cómo potenciar esta característica.

Módulo de experimentación 11	Material 2
Objetivo Experimentar con diferentes variables en la incorporación de fibra de ixtle.	
Procedimiento Se realizaron muestras del material variando la forma en la que se incorporan las fibras de ixtle a la mezcla, así como su proporción y su longitud. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a fuerzas de tensión manual.	
Resultados Las proporciones, longitudes de fibra y la manera en la que estas se incorporan a la mezcla tienen efectos significativos en el material, y una vez que se comprendieron los mismos, se llegó a una formulación en la que la muestra no se quiebra por efecto de la tensión aplicada.	
	
<p>Fig. 29: <i>Algunas muestras con variabilidad en la incorporación de fibra de ixtle en su composición</i></p>	

A continuación, se procedió a analizar el comportamiento de algunas muestras al contacto con el agua para determinar su grado de repelencia a la misma.

Módulo de experimentación 12	Material 2
<p>Objetivo Analizar el comportamiento de la muestra al contacto con este elemento para determinar su grado de repelencia al agua.</p>	
<p>Procedimiento</p> <p>Se sumergieron tres muestras en agua durante ocho horas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una con la cantidad de fibra de nopal propuesta • Una con la mitad de esa fibra de nopal • Una sin fibra de nopal 	
<p>Resultados</p> <p>Al término de las ocho horas, las dos primeras muestras comenzaron a deshacerse en el agua, y al ser removidas de ésta y vueltas a secar, adquirieron una textura rugosa, blancuzca y dura de aspecto irregular que resulta muy quebradiza.</p> <p>La muestra que no contenía fibra de nopal presentó manchas blancuzcas pero en menor medida (solamente donde la fibra de ixtle se encontraba más expuesta). Sin embargo, esta muestra resultó menos resistente a fuerzas de tensión que las demás.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>Fig. 30: <i>Muestra con mayor cantidad de fibra de nopal</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Fig. 31: <i>Muestra con menor cantidad de fibra de nopal</i></p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>Fig. 32: <i>La muestra que no contenía fibra de nopal no es tan resistente</i></p> </div>	

Debido a que la alternativa de material 2 tampoco es resistente al agua por su contenido de fibra, se realizaron también pruebas con el recubrimiento antes desarrollado en el módulo 7 para el material 1 con el mismo procedimiento y los mismos resultados satisfactorios.

Módulo de experimentación 7 (Continuación)	Recubrimiento resistente al agua
Objetivo Probar algunas sustancias de origen natural identificadas como hidrofóbicas y combinaciones de las mismas como recubrimientos en algunas muestras del material; para determinar cuál o cuáles de ellas tienen mejor desempeño.	
Resultados  <p>The image shows seven cylindrical samples of material 2, arranged horizontally. From left to right, the samples exhibit different finishes: the first is a rough, fibrous, light brown material; the second is a smooth, dark brown material; the third is a smooth, dark brown material with a slightly different texture; the fourth is a smooth, dark brown material; the fifth is a smooth, dark red material; the sixth is a smooth, dark brown material; and the seventh is a smooth, dark brown material. The samples are set against a plain white background.</p>	

Fig. 33: Muestras de propuesta de material 2 con diferentes acabados

Capítulo 3.

Análisis de materiales desarrollados

A continuación se elaborará un análisis de los materiales desarrollados; el cual comenzará con la realización de pruebas de caracterización mecánica a ambas propuestas, de modo que sea posible determinar qué aplicaciones prácticas se les podrían dar en el ámbito del diseño. Posteriormente se enlistarán los métodos de control de variables en la producción de los mismos para uniformar su calidad y finalmente se realizará una evaluación final de sus características generales.

3.1 Pruebas de caracterización mecánica

Las pruebas de caracterización mecánica se realizaron en el Instituto de Investigación de Materiales (IIM) de la UNAM. Las pruebas que se solicitaron para cada alternativa de material se especifican a continuación, así como la cantidad de probetas que se fabricaron para tal fin y sus características.

Probetas de alternativa de material 1

Tipo de prueba	Cantidad de probetas	Características de probetas
Compresión	5	Muestras cilíndricas de 1" de diámetro x 2" de largo
Flexión	5	Muestras rectangulares de ½" de largo, 1" de ancho y 1/8" de espesor
Impacto	5	Muestras rectangulares de 1x1 cm y 5 cm de largo
Punto de fusión	1	Muestra cuadrada de 1 x1 cm y 3 mm de espesor

Tabla 6

Probetas de alternativa de material 2

Tipo de prueba	Cantidad de probetas	Características de probetas
Compresión	5	Muestras cilíndricas de 1" de diámetro x 2" de largo
Flexión	5	Muestras rectangulares de ½" de largo, 1" de ancho y 1/8" de espesor
Impacto	5	Muestras rectangulares de 1x1 cm y 5 cm de largo
Punto de fusión	1	Muestra cuadrada de 1 x1 cm y 3 mm de espesor

Tabla 7

Recubrimiento

Tipo de prueba	Cantidad de probetas	Características de probetas
Dureza	1	Disco de 2" de diámetro y 1/8" de espesor
Absorción de agua	5	Discos de 2" de diámetro y 1/8" de espesor

Tabla 8

Problemáticas en la elaboración de probetas

Debido a que las propuestas de materiales se encuentran en fases tempranas de desarrollo, por el momento no se cuenta con un sistema de producción de los mismos que facilite una completa uniformidad en las piezas elaboradas, por lo que se tuvieron que idear algunos métodos para minimizar las variaciones dimensionales entre las probetas.

Material 1

Las probetas se fabricaron vaciándolas en moldes de silicón, excepto en las piezas cilíndricas que se elaboraron vaciándolas en tubos de PVC.



Fig. 34: Molde de PVC para piezas cilíndricas de material 1

Debido a que este material tiene un gran porcentaje de agua en su composición, las probetas se encojen durante el secado.



Fig. 35: Comparación entre las dimensiones finales de las piezas con respecto al molde después de su secado

Por lo tanto, éstas se elaboraron al doble del tamaño que deberían tener según las especificaciones de los laboratorios, con el fin de dar un margen adecuado de encogimiento y que tras un maquinado posterior, quedaran del tamaño preciso.



Fig. 36: *Se cortará el exceso de material (pieza de la izquierda) para alcanzar el tamaño especificado (pieza de la derecha)*

Las muestras se presionaron entre dos rejillas con las que se contaba previamente para evitar que se pandearan al momento de secar. Sin embargo, estas rejillas no resultaron del todo adecuadas porque dejaban marcas en las muestras por la presión ejercida. Debido también al gran tamaño de la cuadrícula, ésta presión no era del todo uniforme en las piezas; por lo que ocasionaba también cierta deformación.

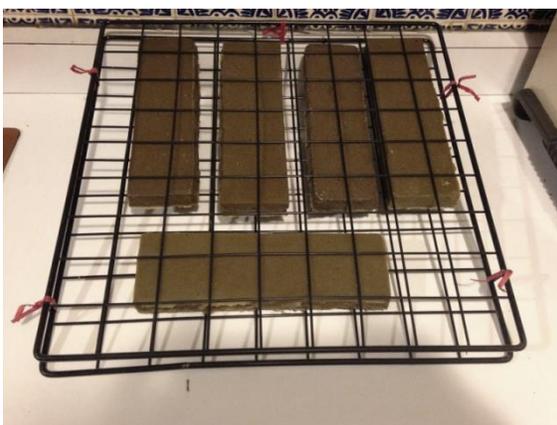


Fig. 37: *A través de alambres se iba graduando la presión de las rejillas*



Fig. 38: *Las probetas presentan cierta deformación al secar*

El material presenta otro inconveniente, pues al dejarlo secar en lugares húmedos, fríos y encerrados, llega a formar moho. Por lo tanto es necesario asegurar que su secado se realice en lugares cálidos, iluminados y ventilados para evitar esto.



Fig. 39: *Las probetas de llenaron de moho al secar en un lugar encerrado, frío y húmedo*

Material 2

El material No. 2 no contiene agua, por lo que su encogimiento es prácticamente nulo. Además, su contenido de cera le confiere la capacidad de ser moldeada y maquinada fácilmente, presentando además gran detalle en la impresión de texturas.



Fig. 40: Comparativo de encogimiento con respecto al molde entre el material 1 (pieza superior) y el material 2 (pieza inferior)

La problemática que se encontró al realizar las probetas de este material, es que es muy complicado calcular la cantidad de fibra que cabe dentro de un molde, ya que la fibra de ixtle debe estar muy bien distribuida en éste.

Por lo tanto, lo que se hizo fue compactar la fibra lo más posible dentro de los moldes y los remanentes dejarlos por fuera para posteriormente cortarlos con alguna sierra.



Fig. 41: Remanentes de fibra de ixtle

Posteriormente será necesario desarrollar sistemas para calcular la cantidad de fibra exacta para cada molde y que estos puedan cerrarse para que el acabado sea el mismo en todos sus lados.

Resultados de pruebas de caracterización mecánica

Material 1

1. Prueba de resistencia a la compresión

Tipo de prueba: ASTM D695

Condiciones de operación:

- Velocidad de separación entre las mordazas: 5mm/min.
- Temperatura: 22°C.
- % de humedad: 65.

Resultado: 0.375kN



Fig. 42: Prueba de resistencia a la compresión $M1^{205}$

2. Prueba de resistencia a la flexión

Tipo de prueba: ASTM D790

Condiciones de operación:

- Velocidad de separación entre las mordazas: 1mm/min.
- Temperatura: 21°C.
- % de humedad: 50

Resultado: 0.180kN

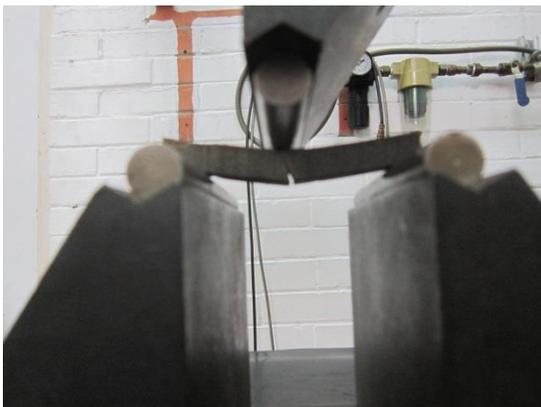


Fig. 43: Prueba de resistencia a la flexión $M1$

3. Prueba de resistencia al impacto

Tipo de prueba: IZOD ASTM D256.

Se muestran los resultados obtenidos:

²⁰⁵ Material 1

Pieza No.1	47.9 J/m
Pieza No.2	39.2 J/m
Pieza No.3	16.6 J/m
Pieza No.4	28.9 J/m
Pieza No.5	21.6 J/m



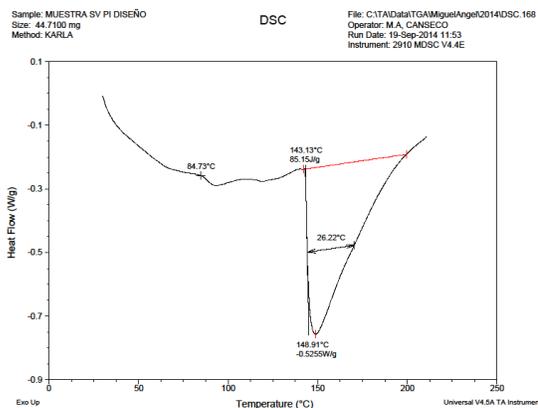
Fig. 44: Prueba de resistencia al impacto $M1$

4. Prueba de punto de fusión

Tipo de prueba: ASTM D3418

Resultado:

El material se empieza a reblandecer a los 84.73°C y se funde a los 143.13°C, esta transición está acompañada del inicio de la descomposición del material.



Material 2

1. Prueba de resistencia a la compresión

Tipo de prueba: ASTM D695

Condiciones de operación:

- Velocidad de separación entre las mordazas: 5mm/min.
- Temperatura: 22°C
- % de humedad: 65.

Resultado: 0.263kN.



Fig. 45: Prueba de resistencia a la presión Mz^{206}

2. Resistencia a la flexión

Tipo de prueba: ASTM D790.

Condiciones de operación:

- Velocidad de separación entre las mordazas: 1mm/min.
- Temperatura: 21°C.
- % de humedad: 50

Resultado: 0.280kN.



Fig. 46: Prueba de resistencia a la flexión

3. Prueba de resistencia al impacto

Tipo de prueba: IZOD ASTM D256.

Se presentan todos los resultados obtenidos.

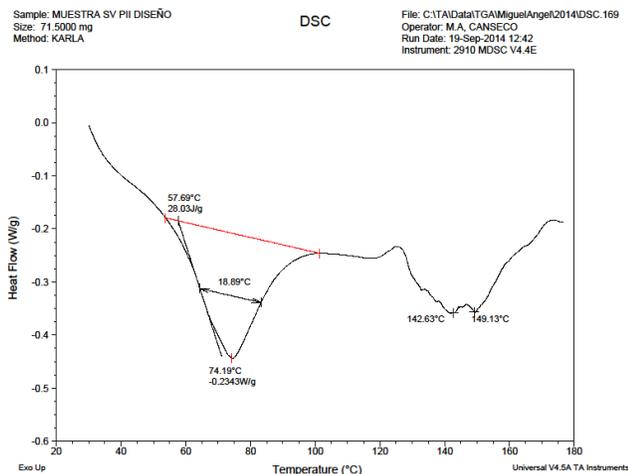
Pieza No.1	14.5 J/m
Pieza No.2	16.9 J/m
Pieza No.3	41.0 J/m
Pieza No.4	10.8 J/m
Pieza No.5	21.8 J/m



Fig. 47: Prueba de resistencia al impacto

4. Prueba de punto de fusión

Tipo de prueba: ASTM D3418.



Este material presenta su punto de fusión a los 57.69°C. Posteriormente se observa la descomposición del material.

5. Dureza del recubrimiento

Tipo de prueba: ASTM D785

Resultado: Dureza Shore A: 94 ± 2

6. Absorción de agua del recubrimiento

Tipo de prueba: ASTM D570

Las muestras se someten por 24 horas dentro de un baño con agua destilada, se pesan al principio de la prueba y al final, una vez secas las piezas.

Resultado: % de absorción de agua: 4.31%.



Fig. 48: Las manchas blancas son las zonas donde penetró el agua en la pieza

El agua penetró el recubrimiento, pero no en toda la superficie de la muestra. Esto podría deberse a que el grosor de las capas del acabado posiblemente no fueron perfectamente uniformes. Esto resulta evidente de forma particular en la orilla de las muestras, pues pareciera que parte de la humedad que penetró en las piezas, lo hizo en esas zonas donde el acabado no recubría perfectamente la pieza. Posiblemente esto se deba a la superficie lisa y cerosa de las piezas utilizadas que ocasiona que al ser aplicado el acabado con brocha, éste se disperse. Esto podría solucionarse aplicando el acabado por capas mediante una compresora.



Fig. 49: En algunas áreas de las piezas el agua no logró penetrar

3.2 Análisis de resultados de pruebas de caracterización mecánica

Para el análisis de los resultados se elaboraron tablas comparativas de los materiales elaborados con otros disponibles en el mercado para tener algunos parámetros de evaluación de desempeño en las pruebas de resistencia a la compresión, flexión e impacto.

1. Tabla comparativa de resistencia a la compresión de diferentes materiales

MATERIALES	Resistencia a la compresión expresada en unidad de presión por área (libras por pulgada cuadrada)
Material 2	540 PSI
Material 1	766 PSI
Acrílico ²⁰⁷	11,000-15,000 PSI
Resina fenólica (Bakelita) ²⁰⁸	12,000-15,000 PSI
Madera ²⁰⁹	Madera 13,510 PSI
Resina epoxi ²¹⁰	15000-25000 PSI
Resina poliuretano ²¹¹	20,000 PSI

Tabla 9

²⁰⁷ Rosalind Juran, *Guide to plastics* (New York: Mc Graw Hill, 1970), 73.

²⁰⁸ *Ibid.*, 82.

²⁰⁹ Eric Meier, "Crushing strength," The Wood Database, consultado el 28 de octubre, 2014. <http://www.wood-database.com/wood-articles/crushing-strength/>

²¹⁰ Rosalind Juran, *Guide to plastics* (New York: Mc Graw Hill, 1970), 76.

Ambas propuestas demostraron tener una resistencia a las fuerzas de compresión muy por debajo de la de los otros materiales con los que se les comparó.

2. Tabla comparativa de resistencia a la flexión de diferentes materiales

MATERIALES	Resistencia a la flexión expresada en unidad de presión por área (libras por pulgada cuadrada)
Material 1	364 PSI
Material 2	582 PSI
Resina de poliuretano ²¹²	700-4500 PSI
Resina fenólica (bakelita) ²¹³	11,000-17000 PSI
Resina epoxi ²¹⁴	13,300-21,000 PSI
Acrílico ²¹⁵	14100-16000 PSI
Madera ²¹⁶	Hasta 20000 PSI

Tabla 10

Ambas propuestas presentan una resistencia a las fuerzas de flexión muy por debajo de la de los otros materiales con los que se les comparó. Aunque es necesario recordar que la propuesta de material 1, no contiene plastificantes; por lo que al contenerlos, los resultados podrán variar.

²¹¹ Rosalind Juran, *Modern Plastics Encyclopedia, Mid-October 1991 Issue, volume 68, number 11* (New York: Mc Graw Hill, 1991), 420.

²¹² *Ibid.*

²¹³ Rosalind Juran, *Guide to plastics* (New York: Mc Graw Hill, 1970), 82.

²¹⁴ *Ibid.*, 76.

²¹⁵ *Ibid.*, 73.

²¹⁶ Anatole A. Klyosov, *Wood-Plastic Composites* (New Jersey: John Wiley & Sons, 2007), 17.

3. Tabla comparativa de resistencia al impacto de diferentes plásticos y resinas

MATERIALES	Resistencia al impacto expresada en fuerza x unidad de área
Resina epoxi ²¹⁷	10.68- 53.4 J/m
Material 2	10.8- 41.0 J/m
Resina fenólica (bakelita) ²¹⁸	13.35- 21.36 J/m
Material 1	16.60 - 47.9 J/m
Acrílico ²¹⁹	18.69 - 26.7 J/m
Resina poliuretano ²²⁰	1335 J/m –flexible

Tabla 11

Se determinó que las diferencias de resultados entre muestra y muestra de cada material en las pruebas de impacto, se deben a ciertas variables como posibles burbujas internas o la distribución no uniforme de fibras. Para fines de este ejercicio de comparación, se tomó en cuenta el valor más bajo y el más alto. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de desarrollar sistemas para uniformar las muestras, incrementando así estos valores y posiblemente lograr superar la resistencia al impacto del acrílico y la bakelita.

²¹⁷ Rosalind Juran, *Guide to plastics* (New York: Mc Graw Hill, 1970), 76.

²¹⁸ *Ibid.*, 82.

²¹⁹ *Ibid.*, 73.

²²⁰ Rosalind Juran, *Modern Plastics Encyclopedia, Mid-October 1991 Issue, volume 68, number 11* (New York: Mc Graw Hill, 1991), 420.

4. Tabla comparativa de punto de fusión o reblandecimiento²²¹

MATERIALES	Punto de fusión o reblandecimiento
Material 2	57.69° C (fusión)
Ácido poliláctico ²²²	60° C (reblandecimiento)
Material 1	84.73° C (reblandecimiento)
Acrílico ²²³	150° C (fusión)

Tabla 12

Debido a que el punto de fusión del material 2 resultó significativamente más bajo de lo que se esperaba con base en la literatura consultada, se solicitaron al IIM pruebas adicionales de esta característica de los componentes aglutinantes por separado para identificar aquel cuyo punto de fusión no correspondiera con los datos obtenidos en la investigación bibliográfica.

²²¹ Un ingeniero del IIM explicó que existen materiales que no se funden por completo a altas temperaturas, sino que solo se reblandecen y posteriormente se degradan. Por lo tanto, los puntos de fusión y reblandecimiento podrían considerarse equivalentes ya que es en estos puntos donde las propiedades del material cambian por efecto de la temperatura.

²²² Bio-plastics.org. Consultada el 28 de octubre, 2014. <http://www.bio-plastics.org/en/information--knowledge-a-market-know-how/bioplactic-types/polyacidacid-pla>

²²³ "Poly(methyl methacrylate) Product description," Chemical Book, consultada el 31 de octubre, 2014. http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_US_CB5169353.aspx

Los resultados de estos análisis indican que ninguno de los componentes aglutinantes tuvo un punto de fusión que correspondiera con aquellos proporcionados por las fuentes consultadas, pues en todos los casos resultaron ser más bajos (ver anexo 2).

5. Análisis de capacidad de absorción de agua de recubrimiento

No se desarrollará un comparativo de absorción de agua con otros materiales debido a que lo que se analizó en esta prueba se trata de un recubrimiento y debido a que se detectaron fallas en el método de aplicación del mismo en las piezas, por lo que los resultados de las pruebas no son concluyentes.

6. Análisis de dureza de recubrimiento

El análisis de este material se basa en la tabla de dureza *Shore*, la cual analiza la equivalencia de valores dados con materiales plásticos disponibles en el mercado.

A través de esta tabla se puede determinar que la dureza Shore A: 94 ± 2 corresponde a la de una llanta de carrito de supermercado. Y de acuerdo a un ingeniero del IIM, esta dureza corresponde a la de un hule vulcanizado duro o un elastómero²²⁴ termoplástico²²⁵.



Fig. 50: Escala de dureza Shore

²²⁴ Tipo de caucho.

²²⁵ Un plástico que cuando se calienta a determinada temperatura, experimenta un reblandecimiento que permite su deformación.

3.3 Métodos de control de variables en la producción de los materiales

Durante el proceso de elaboración de muestras del material, se detectaron algunas variables que pueden alterar su calidad y propiedades. Por lo tanto, a continuación son enumeradas; así como algunas propuestas de métodos para su control.

Material 1

VARIABLES	MÉTODOS DE CONTROL
La temperatura ambiente durante el secado del material	Entre más baja sea la temperatura ambiente, tardará más en secar el material. Por lo tanto, resultaría necesario desarrollar sistemas de secado que procuren una temperatura ideal constante como por ejemplo hornos o deshidratadores solares y/o de gas.
La humedad relativa durante el secado del material	Si la humedad relativa es alta durante el proceso de secado del material, se corre el riesgo de que el material no seque y comiencen a proliferar hongos y bacterias en su superficie. Será necesario entonces desarrollar áreas de secado para evitar el crecimiento de microorganismos como por ejemplo hornos o deshidratadores solares y/o de gas.
El grado de viscosidad de las distintas grenetinas que existen en el mercado	Debe procurarse utilizar el mismo tipo de grenetina, elaborada por el mismo proveedor para evitar variaciones en su desempeño
Las variaciones en las propiedades de las galactomananas debidas a los diferentes tipos de mezquite, proveedores, métodos de obtención	Analizar muestras constantemente de cada producción de galactomananas para garantizar un desempeño uniforme
El grado de deformación de las piezas	Desarrollar sistemas de secado que controlen la deformación del material, como por ejemplo sistemas de prensado de las piezas (aunque este sistema se limitaría a piezas de caras planas).
El grado de encogimiento de las piezas	No es posible evitar el encogimiento del material, pero podrían diseñarse piezas con dimensiones mayores calculando el grado de reducción de tamaño
Las burbujas de aire que puedan quedar dentro de la pieza disminuyendo su resistencia	Será necesario desarrollar un sistema de vaciado en molde que reduzca la formación de burbujas en el material

Tabla 13

Material 2

VARIABLES	MÉTODOS DE CONTROL
La humedad que haya absorbido la fibra antes de mezclarse con la resina y que debilite la matriz aglutinante	Someter la fibra a un proceso de secado previo a su incorporación a la mezcla
Las variaciones en las propiedades de la cera de candelilla y de la goma damar, debidas a los diferentes métodos de obtención, proveedores, etc.	Solicitar fichas técnicas de cada producto adquirido y analizar muestras constantemente de cada producción de cera de candelilla y de goma damar para garantizar un desempeño uniforme
La distribución de la fibra de ixtle en el molde	Elaborar cálculos para determinar la cantidad precisa de fibra de ixtle que quepa en cada molde rellenándolo de forma uniforme. Desarrollar métodos más tecnificados para rellenar el molde con la fibra impregnada a presión manteniéndola a altas temperaturas.

Tabla 14

3.4 Sugerencias de aplicaciones de materiales

Material 1

Debido a que este material se encoge al secar, las aplicaciones que requieren de una gran precisión de forma y dimensiones no podrían desarrollarse con este material, por lo que quedarían descartados algunos métodos de producción como moldeo por vaciado, extrusión²²⁶ e inyección.

Podrían elaborarse piezas por vaciado como tablones, polines, bloques y láminas debido a que estas formas poseen superficies planas y podría desarrollarse un sistema de prensado que evite que estas se deformen al momento de secar, pero debe tomarse en cuenta que el efecto de los aditivos plastificantes tienen un tiempo de vida y al final de esta, el material tiende a volverse quebradizo. Por lo tanto, deberá tomarse en cuenta el valor de la resistencia a la flexión y compresión obtenida en las pruebas que se le hicieron a muestras del material con un porcentaje mínimo de plastificantes para determinar si esa resistencia es adecuada para la aplicación que se le

pretende dar. Por lo pronto, no se considera recomendable la elaboración de mobiliario que soporte un gran peso con tablones de este tipo de material porque podrían perder resistencia a lo largo del tiempo.

Tampoco se recomienda la elaboración de recubrimientos de superficies con las láminas de este material debido a que el acabado tiende a desgastarse con la fricción, por lo que perdería su habilidad de repeler el agua. Sin embargo, podría aprovechar la excelente capacidad de maquinado del material y utilizar diferentes sistemas como torneado y corte con sierras, router, caladora, cepillo, laser, etc., con aplicaciones que no representen una exposición constante al agua, a temperaturas superiores a los 75°C, a fuerzas de compresión, tensión y fricción.

²²⁶ Proceso mecánico mediante el cual un material dentro de un contenedor se hace pasar por una abertura del mismo a través de presión interna.



Fig 51: Buena capacidad de maquinado de material 1 en router CNC

Un ejemplo de estas aplicaciones podrían ser elementos decorativos como molduras, marcos para cuadros y espejos, biombos, relojes, carcasas para electrónicos open source, paneles y puertas para gabinetes.



Fig. 52: Carcasas para aparatos electrónicos open source



Fig. 53: Paneles decorativos



Fig. 54: Carcasas para instrumentos electrónicos open source



Fig. 55: Reloj de pared grabado en CNC



Fig.56: Marcos y molduras cortadas en CNC

Material 2

Una de las características más interesantes de este material es su alta precisión en el moldeado, por lo que puede ser utilizado en métodos de vaciado, siempre y cuando el molde permita la incorporación de fibra de ixtle por compactación como se explicó anteriormente.

Debido a la baja resistencia del material a fuerzas de compresión y tensión y altas temperaturas, no se recomienda en aplicaciones que deban soportar cargas pesadas como en el caso de mobiliario. Tampoco se recomienda la elaboración de recubrimientos de superficies debido a que el acabado tiende a desgastarse con la fricción, por lo que su habilidad de repeler el agua podría reducirse.

No se recomienda maquinar este material; ya que al cortarlo, lijarlo o desbastarlo, la fibra de ixtle queda expuesta y la superficie pierde su textura lisa y uniforme. Por lo tanto, se recomienda que se fabriquen productos de este material solamente a través de moldeado.

Este material podría utilizarse en algunas aplicaciones en sustitución de cerámica decorativa con paredes de un grosor mayor a 1 cm, como sustituto de algunas resinas en piezas

decorativas artesanales, marcos para cuadros y espejos, bases de lámparas, piezas de joyería, algunos juguetes como piezas de tableros de juego, para la elaboración prototipos, esculturas y piezas artísticas.



Fig. 57: Bases de lámparas



Fig. 58: Piezas para tablero de juegos



Fig. 59: *Piezas de joyería*



Fig. 61: Pruebas en material 2 que simulan acabados cerámicos



Fig. 60: *Como sustituto de cerámica decorativa*



Fig. 62: *Marcos para cuadros, espejos, fotografía*

TABLA DE EVALUACIÓN DE MATERIAL 1

Aspectos técnicos		Aspectos sociales		Aspectos ambientales		Aspectos económicos	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Puede llegar a ser más resistente a impactos que el acrílico o bakelita y con plastificantes puede ser muy resistente a la flexión	A lo largo del tiempo, el efecto del plastificante se va reduciendo por lo que el material se vuelve quebradizo	No se utilizan sustancias tóxicas en la elaboración de este material que atenten en contra de la salud de los trabajadores y el público	La grenetina es de origen animal por lo que algunas personas no aceptarían el producto	Promueve el aprovechamiento de productos no maderables del árbol del mezquite	Las vainas del mezquite solo se encuentran disponibles durante tres meses al año	Le da valor agregado a las vainas del mezquite, mismas que actualmente no tienen ningún valor comercial	El costo de la grenetina se ha elevado mucho en los últimos años, por lo que eleva el costo del material
Desmolda fácilmente	No es resistente al agua. Requiere de un recubrimiento	A través de la producción de este material, podría remunerarse la actividad de recolección de vainas de mezquite		Promueve el aprovechamiento del nopal, así como prácticas de poda necesarias para que las plantas sean productivas	La producción de este material requiere de grandes cantidades de agua	Promueve el aprovechamiento de subproductos de la agroindustria del nopal y la tuna	
	Se encoje y deforma al secar, por lo que requiere del desarrollo de sistemas de secado y prensado especiales	A través de la producción de este material, se promueve el empleo en la agroindustria del nopal y tuna		La producción de grenetina aprovecha los desechos de la industria cárnica que son muy contaminantes	La grenetina es un residuo de la industria cárnica, la cual es altamente contaminante		
Es fácil de maquinarse y de lijar	Tarda varias semanas en alcanzar el equilibrio con la humedad relativa						
	Se debe desarrollar un sistema para la extracción de galactomananas						

Tabla 15

TABLA DE EVALUACIÓN DE MATERIAL 2

Aspectos técnicos		Aspectos sociales		Aspectos ambientales		Aspectos económicos	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Visualmente atractivo. Alto brillo	Tiene muy baja resistencia a fuerzas de flexión y compresión, lo cual limita sus aplicaciones	A través de la elaboración de este material se e promovería la producción de candelilla orgánica, reduciendo riesgos a la salud de los trabajadores	Si no se desarrollan alianzas productivas con los proveedores adecuados, se corre el riesgo de perpetuar la producción actual de cera con ácido sulfúrico	Se utilizaría la cera de candelilla "orgánica" que no utiliza sustancias dañinas para el medioambiente en su producción	Si no se desarrollan alianzas con los proveedores adecuados, se corre el riesgo de perpetuar la producción actual de cera con ácido sulfúrico	El 85% del contenido del producto proviene de la región	La cera de candelilla orgánica tiene un alto costo
Gran precisión en el moldeo. No se encoje o deforma	No es resistente al agua. Requiere de un recubrimiento	Se le daría valor agregado al ixtle y la candelilla, eliminando el intermediarismo y promoviendo el comercio justo	Si no se desarrollan alianzas directamente con los productores de fibra y cera, se corre el riesgo de perpetuar el <u>intermediarismo</u> .	Promueve el aprovechamiento del nopal, así como prácticas de poda necesarias para que las plantas sean productivas	Si no se desarrollan alianzas con productores con permisos de aprovechamiento de fibra de ixtle, se promoverá la explotación desmedida	Promueve el aprovechamiento de subproductos de la agroindustria del nopal y la tuna	Posee un gran porcentaje de fibra que abarata costos
Fácil de desmoldar	Tiene un punto de fusión de 70°C	Se promovería el empleo en la agroindustria del nopal y tuna		Se aprovechan 3 especies vegetales distintas en un mismo producto			
Posibilidad de darle diferentes tipos de acabados	Su superficie se abolla con los impactos			Sus aditivos son 100% naturales			
	El recubrimiento se desgasta por efecto de la fricción						
	No se puede maquinar después de moldeado						

Tabla 16

Tabla comparativa de alternativas de materiales

1	Calificación baja
2	Calificación media
3	Calificación alta

MATERIAL 1	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	MATERIAL 2
<ul style="list-style-type: none"> Fibra de nopal Gomas de mezquite 	NÚMERO DE ESPECIES LOCALES APROVECHADAS	<ul style="list-style-type: none"> Fibra de nopal Fibra de ixtle Cera de candelilla
	2 3	
Existe una amplia disponibilidad de fibra de nopal en el mercado ya procesada	DISPONIBILIDAD DE FIBRA EN EL MERCADO	Existe una amplia disponibilidad de fibra de nopal e ixtle en el mercado ya procesada
	3 3	
No existen galactomananas de mezquite disponibles en el mercado.	DISPONIBILIDAD DE AGLUTINANTES EN EL MERCADO	La cera de candelilla orgánica todavía no se encuentra ampliamente disponible pero ya hay proveedores que la fabrican en algunas partes del país.
	1 2	
Al incorporar la goma guar, la mezcla se vuelve muy espesa, dificultando su manejo	FACILIDAD DE MEZCLA DE COMPONENTES	Existe cierta dificultad al agregar fibra de ixtle a la mezcla
	2 2	
Debido a que la mezcla es muy espesa, se dificulta su manejo	FACILIDAD DE VACIADO DE MEZCLA EN MOLDES	Es complicado rellenar de forma uniforme un molde con esta mezcla debido a su contenido de fibra de ixtle
	1 1	
Es muy sencillo desmoldar las piezas elaboradas con este material	FACILIDAD DE DESMOLDAR	Debido a la naturaleza cerosa del material, es fácil desmoldarlo
	3 3	
Este material no tiene precisión debido a que se encoge y deforma al secar	PRECISIÓN EN EL MOLDEO	Este material posee gran precisión en el moldeo
	1 3	
Este material posee una resistencia a fuerzas de compresión de 766 PSI	RESISTENCIA A FUERZAS DE COMPRESIÓN	Este material posee una resistencia a fuerzas de compresión de 540 PSI
	2 1	
Debido a que a este material se le pueden agregar plastificantes, su resistencia es variable	RESISTENCIA A FUERZAS DE FLEXIÓN	Este material posee una resistencia a fuerzas de flexión de 582 PSI
	3 1	
Este material posee una resistencia a impactos de hasta 47.9 J/m	RESISTENCIA A IMPACTOS	Este material posee una resistencia a impactos de hasta 41.0 J/m
	3 2	
Al estar en contacto con el agua, este material se deshace	RESISTENCIA AL AGUA SIN RECUBRIMIENTO	Al estar en contacto con el agua, este material se vuelve quebradizo
	1 1	
Este material resiste temperaturas de hasta 84.73° C	RESISTENCIA A ALTAS TEMPERATURAS	Debe tomarse en cuenta que existen grandes variaciones en el punto de fusión de los aglutinantes de acuerdo al proveedor, pero puede llegar a ser tan bajo como 57.69° C
	3 2	
Se ha estimado un costo de: \$207.00 x kg (ver anexo 5)	PRECIO ACCESIBLE	Se ha estimado un costo de: \$77.20 x kg (ver anexo 5)
	1 2	
PUNTAJE FINAL		
26 puntos		25 puntos

Tabla 17

Conclusiones

A través de un enfoque sistémico y una metodología de diseño, esta investigación logra demostrar la factibilidad técnica de elaborar materiales para el diseño a partir de vegetación desértica de nuestro país, desarrollando dos diferentes propuestas de materiales fabricadas a partir de fibras y aglutinantes extraídos de especies vegetales como nopal, lechuguilla, candelilla y mezquite.

Los materiales desarrollados presentan buenas perspectivas para ser utilizados en el ámbito del diseño. Sin embargo, es necesario aclarar que los resultados a los que se llegaron son meramente preliminares y las formulaciones aún son perfectibles; por lo que será necesario seguir trabajando en ellas para obtener mejores características físicas y reducir su costo de fabricación.

A pesar de esto y de los diferentes retos que se tuvieron que sortear durante la etapa de experimentación y producción de probetas, esta investigación también demuestra que no se requiere de instalaciones con alta tecnología ni equipo especializado de laboratorio para el desarrollo de biocompuestos, ya que éstos pueden ser elaborados utilizando implementos sencillos como estufas, licuadoras, procesadores

de alimentos, etc. Sin embargo, si se busca la producción masiva de los materiales, sí será necesario utilizar algún tipo de maquinaria industrial para el procesado de la materia prima como molinos para la fibra de nopal, así como desarrollar algunos sistemas mecánicos específicamente para resolver aquellas problemáticas identificadas durante su producción; por ejemplo, el vaciado en molde de ambas propuestas y el sistema de secado en la propuesta de material 1.

Sobre el papel de los diseñadores en el desarrollo de nuevos materiales

Este trabajo de investigación logra demostrar también que los diseñadores poseen las herramientas metodológicas necesarias para involucrarse con éxito en el desarrollo de nuevos materiales que requieran una aproximación sistémica; ya que son capaces analizar, integrar y estructurar conocimiento de distintas disciplinas, no solo para lograr detectar problemas y necesidades, sino para proponer distintas soluciones.

Impacto social, ambiental y económico de la producción de materiales propuestos

Gracias a que los materiales desarrollados son tanto reciclables como biodegradables, se podrían perfilar como una alternativa ambientalmente consciente para aquellos diseñadores que busquen reducir la huella ecológica de algunos de los productos que fabriquen. Además, estos materiales presentan buenas perspectivas para detonar el desarrollo local sostenible en las zonas objeto de estudio, ya que al estar elaborados a partir de diferentes especies vegetales de la región, podrían favorecer prácticas de cultivo mixto en las que vegetación variada vuelva a coexistir en un mismo terreno, evitando el monocultivo y mejorando la calidad del ecosistema como una totalidad. Además, esto podría propiciar que los productores de las diferentes especies vegetales aprovechadas, formen alianzas estratégicas o cooperativas para el aprovechamiento de sus recursos que los beneficien a todos por igual.

Estas interrelaciones sociales y ambientales podrían dar como resultado el desarrollo de un sistema productivo complejo y por lo tanto, resiliente.²²⁷

En este punto es importante reiterar que el desarrollo de un sistema productivo para estos materiales no será justo y sustentable a menos que todos los involucrados –incluyendo el medio natural- adquieran la misma relevancia en la estructuración del esquema de producción, y que el beneficio común sea el objetivo final de este planteamiento; pues un sistema productivo no puede crecer de forma sostenida mientras sigan existiendo condiciones de inequidad entre sus partes. Por lo tanto, las necesidades de todos los actores del sistema productivo se deben tomar en cuenta para el desarrollo de este proyecto.

Se debe señalar también que para poder evaluar la factibilidad económica, social y ambiental de este proyecto, será necesario desarrollar a detalle el sistema productivo de estos materiales y analizar variables mucho más específicas, tales como:

1. Particularidades culturales de la comunidad o ejido preciso donde se implementaría el proyecto
2. El tipo de organización social que se generaría en torno a esta actividad económica

²²⁷ Capacidad de recuperación de un ecosistema después de una perturbación.

3. Las alianzas que se generarían entre los diferentes actores
4. Los esquemas de aprovechamiento de especies vegetales en zonas determinadas
5. Aspectos ligados específicamente a la industria y el comercio, tales como la tecnología a usar, los costos de producción, proveedores, compradores, aspectos legales, sistemas de promoción y distribución, etc.

Otras oportunidades para investigaciones subsecuentes

Una de las cuestiones más importantes a señalar sobre esta investigación que no se vio reflejada en el documento final, es la cantidad de alternativas de vegetales de regiones áridas y semiáridas que se encontraron en la literatura y que presentaban algún potencial de aprovechamiento. Muchas de esas especies ya son explotadas con fines industriales como por ejemplo el orégano, la gobernadora, la jojoba, el ixtle y la candelilla; pero otras especies con gran potencial no son explotadas en nuestro país como por ejemplo el guayule, que produce una sustancia muy similar al latex y que es explotada ampliamente en EE. UU.

Desgraciadamente por falta de tiempo no resultó posible analizar a fondo las diferentes alternativas encontradas para determinar la manera en que éstas podrían ser aprovechadas en la elaboración de materiales para el diseño; pero es necesario señalar que la riqueza vegetal que se encuentra en los desiertos mexicanos representa grandes oportunidades para desarrollar diferentes proyectos de esta índole. Sin embargo, si esta riqueza natural no es valorada y aprovechada, las regiones áridas y semiáridas solamente servirán para fines ajenos a ellas como la ganadería, la agricultura de temporal y la minería; degradándose así cada vez más y perdiendo inexorablemente su biodiversidad.

Tristemente, esta problemática de deterioro ambiental por la actividad humana no se solo se circunscribe a las zonas objeto de estudio de esta investigación, sino que tiene lugar en todo el territorio mexicano. Por lo tanto, a los diseñadores se nos abre un nuevo campo de acción con grandes retos y oportunidades para desarrollar sistemas de producción sustentables con especies locales para la fabricación de materiales que le den vida a nuestros proyectos a través de la conservación de la misma.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. C.L. Alsberg, C.L. y Taylor, A.E. Taylor. 1928. *The Fats and Oils: A General View*. EE. UU: Stanford University Press.
2. Aquino, Laura V. et al. 2012. Extracción y Caracterización de fibra de nopal (*Opuntia ficus indica*). *Naturaleza y Desarrollo*, enero/junio.
3. Arevalo, Raquel et al. "All-Cellulose Composites." School of Engineering and Materials Science Research. <https://www.sems.qmul.ac.uk/research/researchdetail.php?rid=394> (consultada el 3 de noviembre de 2012).
4. ArqueoEduca. "El pegamento de la prehistoria." Arqueoeduca.es. <http://arqueoeducablog.blogspot.mx/2014/03/el-pegamento-de-la-prehistoria.html> (consultada el 23 de marzo, 2014).
5. Ask Nature. "Hydrophobic surface allows self-cleaning: sacred lotus," Asknature - the Biomimicry Design Portal. <http://www.asknature.org/strategy/714e970954253ace485abf1cee376ad8> (consultada el 23 de noviembre, 2013).
6. Asociación Mexicana de Secretarios de Desarrollo. (s.f.) *Plan Rector del Sistema Productivo Nopal Verdura. México: AMSDA*. <http://www.amsda.com.mx/PREstatales/Estatales/DF/PREnopal.pdf>
7. Azo Materials. "The A to Z of Materials. Cellulose Acetate." Azom.com. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1461> (consultada el 11 de marzo, 2013).
8. Balcony. "Self cleaning glass; a myth or a reality." Balconnette.co.uk. <http://www.balconette.co.uk/articles/self-cleaning-glasses.aspx> (consultado el 25 de noviembre, 2013),
9. Barrera, Esmeralda. 2014. Se asocian candelilleros del desierto. *Zócalo Saltillo*, 25 de mayo. <http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/se-asocian-candelilleros-del-desierto>.
10. Bautista, Pilar y Martín Martínez. 2012. Aprovechamiento, Rendimiento en Fibra y Regeneración del Cogollo de Agave lechuguilla Torr. en el Altiplano Mexicano. Tesis profesional. *Universidad Autónoma de Chapingo*.

11. Berdan, Frances. 2006. *La Tecnología de los Antiguos Mosaicos Mesoamericanos: Una Investigación Experimental de Super Pegamentos Alternativos*. Los Angeles: Foundation for the Advancement of Mesoamerican Studies.
12. Bioagrícola México A.C. "Directorio Producciones Orgánicas Certificadas (Orgánico y transición) Bioagrícola. Cultivos Diversos y Cosechas Silvestres". Bioagrícola.com. <http://bioagrícola.mx.tripod.com/pestado.html>. (consultada el 1 de mayo, 2014).
13. Bio-plastics.org. <http://www.bio-plastics.org/en/information--knowledge-a-market-know-how/bioplactic-types/polylactidacid-pla> (consultada el 28 de octubre, 2014).
14. BioFase. Biofase.com <http://www.biofase.com.mx/>(consultada el 12 de septiembre, 2012).
15. Blackley, David. 1997. *Polymer Latices*. London: Springer.
16. Bulian, Franco y Graystone, Jon. 2009. *Wood Coatings: Theory and Practice*. Burlington, MA: Elsevier.
17. Burdock, George A. 1997. *Encyclopedia of Food and Color Additives, Volume 1, A-E*. Florida: CRC Press.
18. Canales, Eglantina, Verónica Canales y Elsa M. Zamarrón. 2006. *Candelilla, del desierto mexicano hacia el mundo. Biodiversitas* 69, (diciembre): 1-5.
19. Caldera, Consuelo, Flavio Campos, Martín Luna y José Jaime López. 2001. "Laminador para Fabricar Compósitos de Fibra de Ixtle-Polímero. Conferencia, presentada en las 5as. Jornadas de Investigación Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México.
20. Cano, Santiago. 2010. La talla de Lechuguilla; símbolo de olvido y marginación en el semidesierto potosino," *Antorcha Campesina*, diciembre 6. <http://www.antorchacampesina.org.mx/noticias/2010/slp061210.html>
21. Capra, Fritoj. 1992. *El Punto crucial: ciencia, sociedad y cultura naciente*. México: Editorial Pax.
22. Castillo, David, Berlanga, Carlos, Cano, Antonio. 2005. Recolección, extracción y uso de la fibra de lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.) en el estado de Coahuila. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. Publicación especial Núm. 6.

23. Castro, Joseph. 2013. What Is Borax? *LiveScience.com*. <http://www.livescience.com/41980-what-is-borax-boron.html>.
24. Cervantes, Martha. 2002. *Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
25. Chemical book. "Poly(methyl methacrylate) Product description," Chemicalbook. http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_US_CB5169353.aspx (consultada el 31 de octubre, 2014).
26. Chiellini, E. 2008. *Environmentally Compatible Food Packaging*. Cambridge: Elsevier, 2008.
27. Cotera-Correa, Mauricio. 2000. *Programa Ecorregional de Conservación del Desierto Chihuahuense*. México: Pronatura Noreste. <http://bva.colech.edu.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/HASH013e5b79611bd115d179a580/bio024.pdf?sequence=3>.
28. Cruz, Antimio. Aprovecha la UAM propiedad industrial del nopal. Investigación y Desarrollo. <http://www.invdes.com.mx/suplemento-mobil/1788-aprovecha-la-uam-propiedad-industrial-del-nopal> (consultada el 2 de mayo, 2014).
29. Departamento de Estudios y Difusión. Ixtle de Lechuguilla. *Revista de Comercio Exterior*. <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/751/11/RCE11.pdf>.
30. Díaz, M.I et al. 2001. Rescate y regeneración de tecnología para el aprovechamiento industrial de la tuna. Conferencia presentada en las "5as. Jornadas de Investigación Universidad Autónoma de Zacatecas", 25 al 29 de junio en Zacatecas, Zacatecas.
31. Dirección de Comunicación Social. "Desarrollan académicos de la UAM sistema de reutilización de residuos sólidos para la fabricación de objetos utilitarios". Universidad Autónoma Metropolitana. <http://www.uam.mx/comunicacionuniversitaria/boletines/anteriores08/indice/jul-24-08a.html> (consultada el 19 de octubre de 2012).
32. Dirección General de Normas. 2008. *Proyecto de Norma Mexicana PROY-NMX-FF-113-SCFI-2008 Productos de Origen Vegetal-Fibra (Ixtle) de Agave de Lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.) - Especificaciones y Métodos de Prueba*. México: Secretaría de Economía.
33. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial y Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial. 2011. *Monografía del Nopal y la Tuna*. México: Financiera Rural.

34. Discovery Channel. "What is polyhydroxybutyrate (PBH) and is it eco-friendly?" Curiosity.com. <http://curiosity.discovery.com/question/what-polyhydroxybutyrate-pbh-eco-friendly> (consultado el 12 de septiembre de 2012).
35. Edwards, Andrés. 2010. *Thriving Beyond Sustainability: Pathways to a Resilient Society*. BC, Canada: New Society Publishers.
36. El-Haggar, Salah M. y Mokhtar A. Kamel. 2011. Wood Plastic Composites. *Intech*. (s.f): 325-344. doi: 10.5772/18172
37. Estrada, Emilio. 1996. *Teoría general de sistemas aplicada a la solución integral de problemas*. México: Universidad del Valle, 34.
38. Fisher y Salazar, Jaime. 2010. *El hombre y la técnica*. México: Fondo de Cultura Económica.
39. Fryer Percival J. and Weston, Frank E. 2013. *Technical Handbook of Oils, Fats and Waxes*. EUA: Cambridge University Press.
40. Gallegos, Clemente, Joel Cervantes y Santiago de Jesús Méndez. 2003. Producción de tuna en el Centro Norte de México. *Revista de Geografía Agrícola*.
41. Gille, Bertrand. 1999. *Introducción a la historia de las técnicas*. Barcelona: Crítica.
42. Golubov, Jordan, María C. Mandujano y Luis E. Eguiarte. 2001. The Paradox of Mesquites (Prosopis spp.): Invading Species or Biodiversity Enhancers. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 69 (2001): 23-30.
43. GreenDeck , Maderas Ecológicas. <http://www.greendeck.mx/> (consultada el 21 de agosto, 2013).
44. Green Plastics. "Q&A: Can I make Waterproof bioplastic?" Greenplastics.net. <http://green-plastics.net/posts/70/qaa-can-i-make-waterproof-bioplastic/> (consultado el 20 de noviembre, 2013).
45. Guízar, Felipe. 2009. Desde la semilla hasta la cáscara: Tuna Cardona, alternativa de desarrollo. *Info Rural*, 30 de abril, sección agropecuarias. <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article41360>
46. González, Susana. 2010. En China explotan mejor el nopal; en México, productores apenas sobreviven. *La Jornada*, 21 de marzo, sección economía. <http://www.jornada.unam.mx/2010/03/21/economia/022n1eco>

47. Heimbuch, Jaimy. "Beautiful Wood iPhone Skin Helps with Reforestation". Treehugger. <http://www.treehugger.com/gadgets/beautiful-wood-iphone-skin-helps-with-reforestation.html> (consultada el 13 de febrero de 2014).
48. Instituto de Ecología y Cambio Climático. Usos y Propiedades del Mezquite. SEMARNAT. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/72/usos.html>
49. Instituto de la Candelilla. "La planta de Candelilla". Candelilla.org. http://www.candelilla.org/?page_id=85&lang=es (consultada el 12 de febrero, 2014).
50. Integradora de Ixtleros de Zacatecas S.A. de C.V. y Kalan Kaash S.C. 2009. *Estudio Orientado a Identificar los Mercados y Canales de Comercialización Internacionales para la Oferta de Productos de Ixtle con Valor Agregado*. México, D.F: SAGARPA.
51. Juran, Rosalind. 1970. *Guide to plastics*. New York: Mc Graw Hill.
52. Juran, Rosalind. 1991. *Modern Plastics Encyclopedia, Mid-October, 1991 Issue, volume 68, number 11*. New York: Mc Graw Hill.
53. Klyosov, Anatole A. 2007. *Wood-Plastic Composites*. New Jersey: John Wiley & Sons.
54. Koleske, Joseph V. 1995. *Paint and Coating Testing Manual: Fourteenth Edition of the Gardner-Sward Handbook*. Philadelphia: ASTM International.
55. Krippendorff, Klaus. 2007. The Cybernetics of Design and the Design of Cybernetics. *Kybernetes* 36, (9-10): 1381-1392.
56. Kubba, Sam. 2012. *Handbook of Green Building Design and Construction: LEED, BREEAM, and Green Globes*. Massachusetts: Butterworth-Heinemann.
57. LeBoeuf-Little, Nicole. 2009. Using stearic acid or stearin in candlemaking. *Happy Living Magazine*, vol. 2, no. 1. http://www.howtomakecandles.info/cm_article.asp?ID=ADDIT0003.
58. Llaven, Yadira. 2007. En la Feria del Nopal participarán más de 120 productores con 150 platillos diferentes. *La Jornada de Oriente, Puebla*, 1 de junio, sección cultura. <http://www.lajornadadeoriente.com.mx/2007/06/01/puebla/cul113.php>

59. López, Héctor y Sofía Noriega. 2013. Acabará el 'coyotaje' contra candelilleros e ixtleros: Verduzco. *El Diario de Coahuila*, 25 de julio.
<http://www.eldiariodecoahuila.com.mx/notas/2013/7/25/acabara-coyotaje-contracandelilleros-ixtleros-verduzco-377802.asp>.
60. López, Juan José , Jesús M. Fuentes y Andrés Rodríguez. 1997. Industrialización de la Tuna Cardona (*Opuntia streptacantha*). *Journal of the Professional Association for Cactus Development*.
61. López, Yolanda et al. 2006. Goma de mezquite: una alternativa de uso industrial. *Asociación Interciencia*, vol. 31, no. 3, (marzo): 183–189.
62. López, Yolanda. 2009. *Uso del mezquite como fuente de polisacáridos de alto valor agregado*. México: CONAFOR
63. Malm, Carl J. y Leo J. Tanghe. 1995. Chemical Reactions in the Making of Cellulose Acetate. *Industrial & Engineering Chemistry* 47, no.2 (mayo): 995-999, doi: 10.1021/ie50545a034
64. Martínez, José et. al. 2001. Poda y época de despunte en Cladodios de Nopal Tunero. *Agrociencia* 35, (marzo-abril): 159–167.
65. Martínez, Verónica. 2010. Desplaza China a México... en el nopal. *Info Rural*, 23 de marzo, sección agronegocios. <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article56230>
66. Mattera, Joanne. 2001. *The art of encaustic painting: contemporary expression in the ancient medium of pigmented wax*. New York: Watson-Guption Publications.
67. Mayorga, Elesban, Dietmar Rössel, Hipólito Ortiz, Adrián Quero y Alejandro Amante. 2004. Análisis comparativo en la calidad de fibra de Agave lechuguilla Torr., procesada manual y mecánicamente. *Agrociencia*. 219-225.
68. Mazacalli, Casa del Venado. "Cooperativa la Flor del Desierto". [Mazacalli.org.mx](http://www.mazacalli.org.mx).
<http://www.mazacalli.org.mx/proyectos/proyectos-productivos/cooperativa-la-flor-del-desierto> (consultada el 14 de mayo de 2014).
69. Meier, Eric. "Crushing strength." The Wood Database. <http://www.wood-database.com/wood-articles/crushing-strength/> (consultada el 28 de octubre, 2014).
70. Méndez-Gallegos, S. de Jesús et.al. 2010. El nopal en la producción de biocombustibles. *Revista Salud Pública y Nutrición* (s.f.): 70-84.

71. Miramontes, Pedro. 1999. *El estructuralismo dinámico*. México: UNAM, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades.
72. Mohanty, A.K. et.al. 2004. Development of Renewable Resource–Based Cellulose Acetate Bioplastic: Effect of Process Engineering on the Performance of Cellulosic Plastics. *Polymer Engineering & Science*, 43(5), (abril): 1151–1161. doi:10.1002/pen.10097
73. Molina, Víctor. 2011. Denuncian talladores monopolio por parte de Diconsa en compra de lechuguilla. *El Espectador de Tamaulipas*. noviembre 25.
74. Muñoz, Patricia. 2012. Pretenden extranjeros patentar el nopal y el maguey, *La Jornada*, 27 de diciembre, sección sociedad y justicia.
<http://www.jornada.unam.mx/2012/12/27/sociedad/030n2soc>
75. Noriega, Sofía. 2010. Lucha contra el semidesierto. *El Diario de Coahuila*, 29 de septiembre.
<http://www.eldiariodecoahuila.com.mx/notas/2010/9/29/locales-197419.asp>.
76. Ochoa-Reyes, Emilio, et al. 2010. Extracción Tradicional de Cera de Euphorbia antysiphilitica. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, vol. 2 (3): 1-13.
77. Ojeda, José. 2012. Producción de cera en el desierto. *El Economista*, 30 de agosto.
<http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2012/08/30/produccion-cera-desierto>.
78. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2003. *El nopal (Opuntia spp.) como forraje*. México: INIFAP.
79. Palacios, Ramón. Los Mezquites Mexicanos: Biodiversidad y Distribución Geográfica. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 41 (julio): 99–121.
80. Park, Joon y R. S. Lakes. 2007. *Biomaterials: An Introduction*. New York: Springer.
81. Pérez, Matilde. 2008. Productores de nopal son víctimas de la voracidad de intermediarios. *La Jornada*, 17 de marzo, sección sociedad y justicia.
<http://www.jornada.unam.mx/2008/03/17/index.php?section=sociedad&article=042n1soc>
82. Plitt, Laura. 2010. Mexicana purifica el agua con un cactus. *BBC Mundo*, 19 de mayo, 2010, sección medio ambiente.
http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia_tecnologia/2010/05/100510_1500_agua_purificacion_lp.shtml
83. Powell, Jane and Linda Svendsen. 2003. *Linoleum*. Utah: Gibbs Smith, 2003.

84. Redacción. 2007. Crea IPN máquina láser para quitar las espinas de los nopales. *El Universal*, 9 de abril, sección ciencia. <http://www.eluniversal.com.mx/articulos/39192.html>
85. Redacción. 2009. Fincan esperanzas en riqueza del semidesierto potosino. *Imagen Agropecuaria*. http://imagenagropecuaria.com/2009/fincan_esperanzas_en_riqueza_del_semidesierto_potosino/.
86. Redacción. 2011. Investigadora mexicana obtiene bioetanol a partir de jugo de tuna, "2000 *Agro Revista Industrial del Campo*, julio. <http://www.2000agro.com.mx/tecnologia/investigadora-mexicana-obtiene-bioetanol-a-partir-de-jugo-de-tuna/>
87. Redacción. 2012. Productores zacatecanos conocen nuevas tecnologías para extraer cera de candelilla. *Zacatecas Hoy*, 23 de noviembre. <http://zacatecashoy.com/productores-zacatecanos-conocen-nuevas-tecnologias-para-extraer-cera-de-candelilla/>.
88. Royte, Elizabeth. 2006. Corn Plastic to the Rescue. *Smithsonian.com*, agosto. <http://www.smithsonianmag.com/science-nature/corn-plastic-to-the-rescue-126404720/?no-ist>.
89. SAGARPA. Ver Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2001. Cultivo de nopal y tuna detiene la migración." Video de YouTube, 1:56. Publicado el 28 de julio. Consultado el 14 de noviembre, 2012. http://www.youtube.com/watch?v=NxKrON4DSJA&feature=youtube_gdata_player.
90. SAGARPA. Ver Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2004. *Plan Rector Sistema Producto Nacional Nopal Segunda Fase: Base Conceptual de Referencia, Base de Referencia, Estructura Estratégica*. México: SAGARPA.
91. SAGARPA. Ver Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2012. *Predomina cultivo de nopal, tuna y xoconostle en la región noreste del Estado de México*. México: SAGARPA. <http://www.sagarpa.gob.mx/delegaciones/edomex/boletines/2012/octubre/Documents/B0642012.pdf>.

92. SEMARNAT. *Ver* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2012. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental*. México: SNIARN.
93. Snyder, Thomas A. "A brief essay on historic furniture varnishes and resins," Williamsburg Art Conservation Inc. <http://www.williamsburgartconservation.com/historic-varnishes-and-resi.html> (consultada el 30 de noviembre, 2013).
94. Stig, Friberg, Kare Larsson, and Johan Sjoblom. 2003. *Food Emulsions*. New York: CRC Press.
95. Takagi, Hitoshi y Goshi Takeichi. 2012. Bamboo Fiber Reinforced Binderless Green Composites from Steam-exploded Bamboo Powder. *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, 06, (s.f.): 739-744. doi: 10.1142/S2010194512004072
96. Talentos TecnoParque Nodo Medellín. "Biopolímeros, Polihidroxialcanoatos (PHAs)". *Biotecnología1tecnoparque.blogspot.mx*<http://biotecnologia1tecnoparque.blogspot.mx/2010/05/biopolimeros-polihidroxialcanoatos-phas.html> (consultada el 13 de marzo, 2013).
97. Thomas, Sabu, Kuruvilla, Joseph, Malhotra, S.K., Goda, Koichi, Sreekala, M.S. 2013. *Polymer Composites, Biocomposites*. Weinheim: John Wiley & Sons.
98. TECNARO. Consultado el 12 marzo, 2013. <http://www.tecnaro.de/english/arboform.htm>
99. Tecnología de los Plásticos. "Policaprolactona". *Tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx*. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2012/11/policaprolactona-pcl.html> (consultada el 10 de marzo, 2013).
100. Valente Salinas. 2010. Fibra de lechuguilla, negocio alternativo. *Continental Trading S.A. de C.V.*
101. Velasco, Efraín, Alberto Arredondo, Marisela Zamora-Martínez y Francisco Moreno. 2009. *Modelos Predictivos para la Producción de Productos Forestales No Maderales: Lechuguilla, Manual Técnico Núm. 2*. México, D.F: INIFAP.
102. Vignon, M.R. et al. 2003. Arabinan–cellulose composite in *Opuntia ficus-indica* prickly pear spines. *Carbohydrate Research*, 339 (septiembre): 123–131. doi:10.1016/j.carres.2003.09.023
103. Vilchis, Luz del Carmen. 2002. *Metodología del diseño: fundamentos teóricos*. México: Claves Latinoamericanas.

104. Von Mentz, Brigida. 2012. *La relación hombre-naturaleza*. México, D.F: Siglo XXI.
105. Xiao, Lin et al. Poly(Lactic Acid)-Based Biomaterials: Synthesis, Modification and Applications. *Biomedical Science, Engineering and Technology* (enero): 247-275. doi: 10.5772/23927
106. Zelfo Technology. <http://www.zelfo-technology.com/> (consultada el 20 de octubre de 2012).

BIBLIOGRAFÍA DE FIGURAS

Fig. 1

“Vers Wood Slimline Case For iPhone,” Thinkgeek, Disponible en: <http://www.thinkgeek.com/product/f227/> (consultada el 27 de noviembre de 2014).

Fig. 3

SEMARNAT. “Distribución de las tierras secas en México”. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. México: SNIARN. Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/03_suelos/cap3_3.html (consultada el 3 de octubre de 2014).

Fig. 4

La Jornada Michoacán. “Peregrinación en Wirikuta”. Scriptoriumx Periodismo. Disponible en: <http://scriptoriumx.wordpress.com/2012/08/09/dia-internacional-de-los-pueblos-indigenas-nada-que-celebrar/> (consultada el 3 de mayo de 2014).

Fig. 5

Gahle, Christian. 2007. “Türinnenverkleidung Hanf-PP nova,” Wikimedia commons. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:T%C3%BCrinnenverkleidung_Hanf-PP_nova.jpg (consultada el 27 de noviembre de 2014).

Fig. 6

“Cultivo del nopal,” Botanical Online, Disponible en: http://www.botanical-online.com/higo_chumbera_opuntia_ficus_indica_cultivo.htm (consultada el 27 de noviembre de 2014).

Fig. 7

Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial y Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial, "Principales Estados Productores de Nopalito en México, 2009," *Monografía del Nopal y la Tuna*, (México: Financiera Rural, 2011), 6.

Fig.8

Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial y Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial, "Principales Estados Productores de Tuna en México, 2009," *Monografía del Nopal y la Tuna*, (México: Financiera Rural, 2011), 9.

Fig. 9

"Confían productores en respaldo gubernamental para sortear problemas climáticos," Puro Zacatecas, Disponible en: http://www.purozacatecas.mx/?f_=seccion&_f=main&tipo=politica&idNota=6580 (consultada el 3 de enero de 2014),

Fig.10

Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial y Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial, "Principales Estados Productores de Nopal Forrajero en México, 2009," *Monografía del Nopal y la Tuna*, (México: Financiera Rural, 2011), 11.

Fig. 11

"Textura de nopal seco," Pinterest, Disponible en: <http://www.pinterest.com/pin/150589181264337130/> (consultada el 2 de septiembre de 2013).

Fig. 12

"Opuntia leucotricha," Pépinière Palmaris. Disponible en: <http://www.palmaris.org/html/opleuco.htm>. (consultada el 7 de septiembre de 2013).

Fig. 13

Integradora de Ixtleros de Zacatecas S.A. de C.V. y Kalan Kaash S.C., *Estudio Orientado a Identificar los Mercados y Canales de Comercialización Internacionales para la Oferta de Productos de Ixtle con Valor Agregado*, (México, D.F: SAGARPA, 2009), 21.

Fig. 14

Valente Salinas, "Fibra de lechuguilla, negocio alternativo," Continental Trading S.A. de C.V., 2010.

Fig. 15

Consuelo Caldera et al., "Laminador para Fabricar Compósitos de Fibra de Ixtle-Polímero," (conferencia presentada en las 5as. Jornadas de Investigación, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México, 2001).

Fig. 16

"Proyecto con nopal y trigo," AlReciclar. Disponible en: <http://alreciclar.com/proyecto-con-nopal-y-trigo/>. (consultada el 13 de enero de 2013).

Fig. 17

Liekens, A.P. "Flores de Mezquite, Rancho EL Cajón, SJI". Fotos de San José Iturbide, Guanajuato.

Disponible en:

<http://mexico.postecode.com/municipio.php?estado=guanajuato&municipio=San+Jos%C3%A9+Iturbide> (consultada el 3 de noviembre de 2013).

Figs. 18 y 19

Palacios, Ramón. "Los Mezquites Mexicanos: Biodiversidad y Distribución Geográfica," Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 41 (julio 2006): 99–121.

Fig. 20

"Mesquite amber," The home shop machinist & machinist's workshop forum, Disponible en:

<http://bbs.homeshopmachinist.net/threads/29359-mesquite-amber>. (consultada el 5 de noviembre de 2013).

Fig. 21

"Mesquite bean pods," Texas Jelly Making. Disponible en:

<http://texasjellymaking.wordpress.com/2011/06/20/mesquite-bean-jelly/>. (consultada el 5 de noviembre de 2013).

Fig. 22

"Self-cleaning glass; a myth or a reality," Balcony. Disponible en:

<http://www.balconette.co.uk/articles/self-cleaning-glasses.aspx>. (consultada el 25 de noviembre, 2013).

Fig. 23

"Rustoleum Neverwet, Liquid repellent treatment," Rustoleum. Disponible en:

<http://www.rustoleum.com/product-catalog/consumer-brands/neverwet/neverwet-kit> (consultada el 13 de mayo, 2014).

Fig. 24

“Hydrobead standard,” Hydrobead. Disponible en: <http://www.hydrobead.com/#!shop--cart/c2jl> (consultada el 13 de mayo, 2014).

Fig. 25

De Corselas, Manuel. 2007. “Serpiente bicéfala de mosaico de turquesa,” Wikimedia Commons. Disponible en: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Serpiente_bic%C3%A9fala_de_mosaico_de_turquesa._British_Museum._MPLC_02.jpg (consultada el 13 de febrero de 2014).

Fig. 26

“Candelilla wax plant,” Muse Beauty.pro. Disponible en: <http://www.musebeautyproblog.com/story-of-kohl/euphorbia-antisyphilitica/>. (consultada el 4 de enero de 2014).

Fig. 27

“Chihuahuan Desert,” Candelilla Institute. Disponible en: http://www.candelilla.org/?page_id=530 (consultada el 5 de enero de 2014).

Fig. 50

“Durometer Shore Hardness Scale,” Smooth on. Disponible en: http://www.smooth-on.com/Documents-Duromete/c1351_1370/index.htm (consultada el 1 de noviembre, 2014).

Fig. 52

Mutable Instruments. “Shruthi-1 with acrylic case,” flickr.com. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/mutableinstruments/4927664500/> (consultada el 30 de octubre, 2014).

Fig. 53

“Deco-09,” Export Laser. Disponible en: <http://www.exportlaser.com.br/corte-laser-decoracao/#> (consultada el 31 de octubre, 2014).

Fig. 54

“7400 competition entry: DIY musical keyboard,” Dangerous Prototypes. Disponible en: <http://dangerousprototypes.com/2012/11/02/7400-competition-entry-diy-musical-keyboard/> (consultada el 31 de octubre, 2014).

Fig. 55

“2063 clocks,” Houzz. Disponible en: <http://www.houzz.com/photos/clocks/price--100-to-200> (consultada el 30 de octubre, 2014).

Fig. 56

“Laser cut tropical products,” Houzz. Disponible en:
<http://www.houzz.com/photos/tropical/products/laser-cut> (consultada el 30 de octubre, 2014).

Fig. 57

“Classic beech tall cone lamp base,” Not on the high street. Disponible en:
<http://www.notonthehighstreet.com/helenrawlinson/product/tall-dark-cone-lamp-base> (consultada el 31 de octubre).

Fig. 58

“Isle of Lewis chess set,” Chess Central. Disponible en:
http://www.chesscentral.com/Isle_of_Lewis_Chess_Set_p/2239389.htm (consultada el 31 de octubre, 2014).

Fig. 59

Earth’s stone jewelry. Disponible en: <http://earths-stone-jewelry.com/home> (consultada el 31 de octubre, 2014).

Fig. 60

“Leaf dishes Decorative Ceramic Spoon Rest Georgia Handmade Pottery,” Artfire. Disponible en:
http://www.artfire.com/ext/shop/product_view/rockpottery/722546/leaf_dishes_decorative_ceramic_spoon_rest_georgia_handmade_pottery/fine_art/ceramics___pottery/soap_dishes/clay (consultada el 31 de octubre, 2014).

Fig. 62

Ipop’s fashion cents. Disponible en: <http://ipopdesigns.blogspot.mx/2010/10/brooklyn-flea.html> (consultada el 31 de octubre, 2014).