Artículo de investigación externo-interno
Universidad Nacional Autónoma de México
Universidad Autónoma Metropolitana

Recibido: 23/03/21
Aceptado: 31/05/21
Publicado: 30/12/21

Uso de *Luffa cylindrica* para aplicaciones en el diseño a base de fibras naturales

Luffa cylindrica for design application in design based on natural fibers

David Molina Mora* Licenciado en Biología por la Universidad Autónoma Metropolitana campus Xochimilco desde 2009. En 2016 se gradúa de la Universidad del Valle de México campus Tlalpan con mención honorífica de la licenciatura de Diseño Industrial. En 2019 ingresa al Posgrado de Diseño Industrial y en 2020 obtiene el segundo lugar a nivel Posgrado del Premio BLIS "Buscando líderes en Innovación y sustentabilidad" con el proyecto de investigación de "Biodiseño de *Luffa Cylindrica* para aplicaciones en el diseño".

Erick Iroel Heredia Carrillo** Licenciado en diseño industrial por la Universidad Nacional Autónoma de México desde el 2010 recibiendo el Diploma al Mérito. En el 2013 obtiene el grado de Maestro en Diseño Industrial por la misma institución y actualmente cursa el doctorado en Arquitectura investigando sobre la Preservación del Patrimonio Natural. Su trabajo de diseño ha sido expuesto en certámenes nacionales como el Premio Nacional de la Plata "Hugo Salinas Prize" y la Bienal de Cerámica Utilitaria e internacionales como el Global Grad Show en Dubái. Se desempeña como profesor de licenciatura en la Universidad Iberoamericana, y en el Posgrado en Diseño Industrial de la UNAM y en la Maestría en Creatividad para el Diseño de la Escuela de Diseño del Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura. Actualmente está a cargo de UNAM Fablab, que es parte de los laboratorios de fabricación y conocimiento distribuido certificados por el MIT donde participa en investigaciones utilizando las herramientas de manufactura digital, realidad virtual y visualización científica. Es miembro de la Comisión de Educación y Comunicación de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, así como de la Sociedad Brasileña de Computación.

Claudia Garduño García*** Es doctora en diseño por Aalto University (Finlandia). Actualmente, se desempeña como profesora de tiempo completo en el Posgrado en Diseño Industrial de la UNAM y como directora de investigación en DYA Design Your Action, A.C. Su investigación se enfoca en el desarrollo, la implementación y la observación de métodos colaborativos de diseño aplicados en contextos de alta marginación y/o vulnerabilidad, con el fin de generar comunidades más justas y sostenibles. Es la fundadora y coordinadora del proyecto "Action LAB México (ALM)" y también pertenece a los equipos fundadores de "SUSLA.app", "Diseño Activista" y el "Taller Interuniversitario de Diseño (TIUD)".

María del Carmen Monroy Dosta**** Profesora Investigadora Titular "C" Tiempo completo. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. División Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento el Hombre y su Ambiente. Coordinadora de la Licenciatura en Biología. Miembro de la Comisión Académica de la Maestría en Ecología Aplicada. Área de investigación: Estrategias Biológicas para el aprovechamiento de los Recursos Naturales Acuáticos. Ha recibido distinciones como Miembro del Sistema Nacional de Investigadores: Nivel 2 (2016-2020), Reconocimiento al Perfil Deseable. SEP- PROMEP (2017-2020). Proyectos de investigación vigentes: Selección y aplicación de alimentos funcionales (prebióticos, probióticos y simbióticos), para mejorar la sobrevivencia, crecimiento, reproducción y respuesta inmune de organismos acuáticos." UAM-X (responsable), Unidad de Monitoreo Sanitario del Sistema Producto Pez Ornamental de la Ciudad de México, El efecto de la composición nutricional del alimento, luz, temperatura y la salinidad sobre la supervivencia, crecimiento y reproducción de los organismos planctónicos utilizados como alimento vivo en la acuicultura". UAM-X (participante), Biofloc como una alternativa para el cultivo de organismos acuáticos de agua dulce y marina (participante). Ha publicado más de 30 artículos de investigación en revistas internacionales indexadas, 3 capítulos de libro, 10 artículos de divulgación. Presentaciones en eventos especializados, cursos y talleres a productores acuícolas.

Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de Posgrados s/n, Edificio J, 006. P.B.
Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México, C.P.04510
Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco, Calzada del hueso 1100,
Colonia Villa Quietud, Alcaldía Coyoacán C.P. 04960. Ciudad de México.
* di.davidmolina@gmail.com *** claudiagarduno@posgrado.unam.mx
** iroel.unam@gmail.com **** monroydosta@hotmail.com

Resumen

El aumento del consumo de materiales para satisfacer las necesidades humanas y el uso intensivo de materiales derivados del petróleo originan la búsqueda de nuevas aplicaciones de materiales orgánicos, así como procesos de manufactura acordes a nuevas corrientes de pensamiento en la disciplina del Diseño en pro de la sustentabilidad. El objetivo de este estudio es evaluar el uso de la fibra de *Luffa cylindrica* en un proceso de biofabricación digital para conocer sus posibles aplicaciones en el biodiseño como un material biológico, con una forma diseñada digitalmente. Se cultivaron ejemplares de *L. cylindrica* en un intervalo de temperatura de 6 a 28 °C, en un ciclo de cultivo de 18 meses, se realizó fertilización semanal con formulación de N-P-K de 15-10-10. Los frutos de mayor tamaño fueron insertados en moldes, cuya geometría partió de la construcción de un cilindro de 5 cm de diámetro y 20 de longitud, se construyeron modelos tridimensionales con un espesor de 1.75 mm y fueron impresos en PLA mediante el uso de impresión 3D. Un total de 11 frutos lograron tomar la forma de los distintos moldes diseñados. El molde al que mejor se logró adaptar la fibra fue al molde 1, mientras que el que obtuvo menor adaptación de la forma por las plantas fue el molde número 4. La inserción y uso adecuado del conocimiento de la biología en la praxis del diseño pudiesen cambiar la concepción de la producción industrial hacia un camino ecológicamente amigable.

Palabras clave: Biodiseño, *Luffa*, biofabricación, impresión 3D, sustentabilidad.

Abstract

The augment in the consumption of petroleum derived materials that are destined to satisfy human needs, has originated a search for new applications for organic materials and manufacture processes that suit new currents of thought in Design discipline in the name of sustainability. The objective of this study was to evaluate the use of the fibber of *Luffa cylindrica* in a process of digital Biofabrication in order to seek for the possible applications of this material in biodesign as a biological material with a digital designed shape. Specimens of *L. cylindrica* were grown in a temperature range from 6°C to 28°C, an 18 months culture cycle was made and plants were fertilized every week with a N-P-K formulation of 15-10-10. The largest fruits were selected to be inserted in 3D printed molds. The exploration of the geometry of the molds began with the primitive shape of a cylinder with a diameter of 5 cm and 20 cm long, and the molds were 3D printed with wall thickness of 1.75mm using PLA. A total of 11 fruits copied the shape of the designed molds. The mold that adapts better to the fiber growth was the mold 1, while mold 4 presented no adaptation of the fruit and fibber growth. The insertion and the adequate use of knowledge from Biology in the Design praxis could change the conception of industrial production to a more ecological friendly way.

Key words: Biodesign, *Luffa*, Biofabrication, 3D print, Sustainability.

Introducción

En las últimas décadas los plásticos derivados del petróleo se han convertido en los materiales más usados para generar productos de fabricación industrial. Nieto y Montoto (2017), señalan que en el mundo se consumen anualmente 320 millones de toneladas métricas de plástico, de las cuales se estima que 2.41 millones terminan en los mares, donde son expuestas a condiciones biológicas, químicas y físicas que los deterioran y fragmentan, generando impactos ambientales alarmantes en la biodiversidad acuática por alteración de la calidad del agua y su composición favorece la acumulación de substancias tóxicas como pesticidas y policlorobifenilos (Wu, 2017). Por lo antes mencionado, la selección de materiales naturales para ser integrados en el diseño ha logrado llamar la atención en los últimos años. De tal manera que surge una nueva disciplina, el Biodiseño, definida por Myers (2012) como: "la integración del diseño con sistemas biológicos, usualmente para lograr un mejor desempeño ecológico. En contraste con la biomímesis o el diseño inspirado en la naturaleza, el biodiseño incorpora organismos vivos al diseño como bloques de construcción, fuentes de material, generadores de energía [...] es oportunista y lógico en el reconocimiento del tremendo poder y potencial utilitario de los organismos".

A nivel mundial se han explorado diversos materiales biodegradables de origen natural, algunos con características atractivas para su aplicación en el diseño industrial, pero, a diferencia de las fibras sintéticas, no han sido ampliamente estudiados, tal es el caso de la fibra proveniente del fruto de la planta *Luffa cylindrica*, cuya estructura es similar a materiales espumados y cuenta con capacidades físicas y mecánicas atractivas para la industria; sin embargo, no se conoce un proceso para moldear su geometría sin la adición de agentes cementantes (López, 2017), por tal motivo, esta investigación pretende brindar desde el biodiseño una alternativa sustentable para algunas aplicaciones de materiales sintéticos en el diseño de producto, mediante un proceso de transformación de la fibra de *L. cylindrica* que permita utilizarla en la industria como alternativa a materiales sintéticos espumados tomando inicialmente como inspiración las sandías *Citrullus lanatus* cuadradas y las esculturas modeladas del fruto de *L. ciceraria* (figura 1).

Figura 1. Sandías cuadradas y esculturas del fruto de *L. ciceraria.*

Material y métodos

Obtención de semillas de *L. cylindrica*

El germoplasma utilizado se obtuvo a través de la adquisición de frutos de *L. cylindrica*, en un mercado local. De las pepónides se obtuvieron las semillas con una longitud promedio de 13 mm, las cuales fueron tratadas con una solución de hipoclorito de sodio al 3% durante ocho minutos, posteriormente fueron enjuagadas con agua libre de cloro y se mantuvieron 8 horas más en agua.

Cultivo de *L. cylindrica*

Las semillas fueron sembradas en charolas germinadoras de poliestireno con 36 cavidades utilizando como sustrato turba y tierra en partes iguales. La charola se colocó bajo una luz LED de 6 500 k con un fotoperiodo de 18 horas, la germinación se presentó a los 9 días, y a los 22 fueron trasplantadas en macetas de seis galones expuestas a luz solar en exterior. Se seleccionaron seis ejemplares con mayor desarrollo y fueron colocados en un jardín en la zona sur de la Ciudad de México, Alcaldía Xochimilco, con un rango de temperatura anual mínima de 6 y máxima de 28 °C. Se construyó una estructura de madera y arcos de PVC hidráulico de ¾" para soportar el desarrollo de las plantas (figura 2).

El ciclo de cultivo inició en mayo de 2019 y se realizó fertilización semanal con formulación de N-P-K de 15-10-10 y terminó en noviembre de 2020.

Los parámetros evaluados fueron la longitud total de los frutos, el diámetro mayor y menor.

Figura 2. Estructura de soporte para el cultivo de *L. cylindrica*.

Diseño de moldes mediante el *software* de modelado 3D Rhinoceros 6

Para el diseño de moldes se utilizó el *software* de modelado 3D Rhinoceros 6. Para la configuración inicial de los moldes se utilizó la longitud mayor registrada, y el promedio del diámetro de los frutos producidos por las plantas del experimento. La exploración de la geometría de los moldes partió de la construcción de un cilindro de 5 cm de diámetro y 20 cm de longitud, se construyeron modelos tridimensionales con un espesor de 1.75 mm. Los moldes fueron diseñados en dos mitades en el eje vertical, se diseñó una pestaña paralela al eje vertical, la cual permite la unión de ambas mitades con ayuda de tornillos y tuercas, finalmente, cada mitad fue exportada en formato stl. Los moldes fueron impresos en un filamento de PLA mediante el uso de impresoras 3D con tecnología FDM.

AÑO 10 • NÚM. 16 • JUL. - DIC. 2021
pp 43 - 53

Implementación de los moldes en los frutos de *Luffa*

Se eligió una altura de capa de .4 mm en la impresión 3D de los moldes debido a que mantiene un equilibrio entre la velocidad de impresión y la adhesión de las capas. Para la implementación de los moldes en los frutos de *L. cylindrica* fueron seleccionados aquellos con dos semanas de desarrollo, y de este modo se aseguró que los frutos provenían de flores polinizadas, debido a que sólo los frutos polinizados continúan su desarrollo y maduración al llegar a este periodo de tiempo, permitiendo llenar el interior del molde. Los frutos fueron colocados dentro de los moldes y éstos anclados a la estructura construida para sostener la planta hasta la maduración del fruto, en promedio de 140 días.

Al madurar los frutos y tomar una coloración amarilla fueron retirados de la planta y extraídos de los moldes, la corteza y semillas fueron retiradas y los frutos secados a la sombra durante quince días. Finalmente, con la fibra obtenida de los frutos se registró la longitud, diámetros máximos y si adquirieron la forma del interior del molde (figura 3).

Figura 3. Molde impreso, fruto con corteza y fibra de *L. cylindrica*.

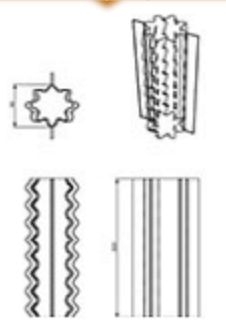
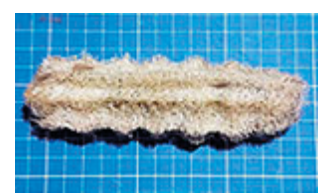
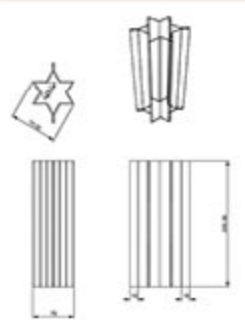
Análisis de resultados

Para el estudio del ciclo de cultivo se dividió en dos periodos, el primer ciclo fue durante el verano-otoño de 2019 y se obtuvieron 7 frutos con una longitud promedio de 165 mm y un diámetro mayor promedio de 51.14 mm, así como un peso promedio de 6.57 g (tabla 1), también se registraron los frutos que copiaron la geometría interior del molde como se aprecia en la tabla 2.

Tabla 1. Fibra obtenida en el primer ciclo de cultivo

Peso gr	Longitud cm	Diámetro mm		Molde	Adoptó la forma
		Máximo	Mínimo		
5	14.5	43	30	11	Sí
9	16	51	30	12	Sí
16	23	48	28	12	Sí
5	18	58	20	13	No
4	17	60	31	13	No
2	13	51	25	1	No
3	14	47	32	0	NA

Tabla 2. Frutos que adquirieron la forma del molde en el primer ciclo de cultivo

Molde	Fruto
	
	

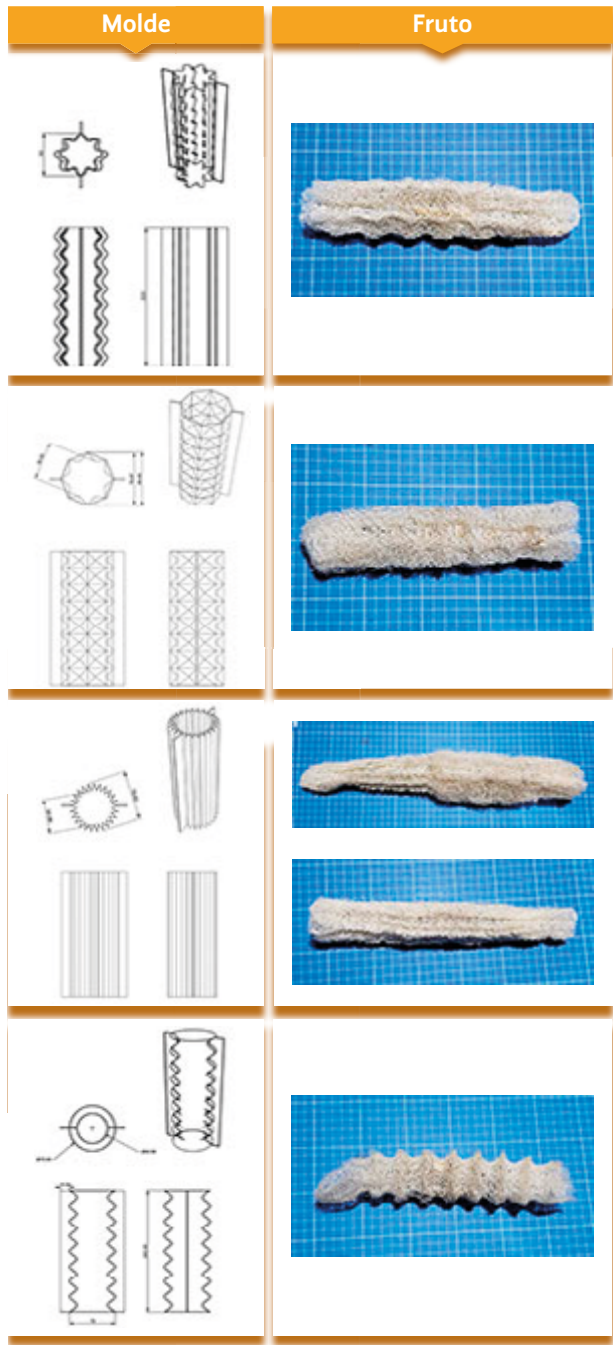
El segundo ciclo de cultivo se realizó durante el verano-otoño de 2020, y se obtuvo un total de 24 frutos con una longitud promedio de 316 mm y un diámetro mayor promedio de 66.6 mm, así como un peso promedio de 20.16 g (tabla 3), también se registraron los frutos que copiaron la geometría interior del molde como se aprecia en la tabla 3.

Tabla 3. Fibra obtenida en el segundo ciclo de cultivo

Peso gr	Longitud cm	Diámetro mm		Molde	Adoptó la forma
		Máximo	Mínimo		
20	24	54	44	11	Sí
18	22	54	44	9	Sí
20	28.5	47	35	6	Sí
21	33	57	34	6	Sí
29	42	68	35	6	Sí
16	25	55	38	1	Sí
19	24	65	35	10	Sí
18	18	45	40	2	No
18	25	64	44	8	No
10	33.5	70	40	8	No
16	25	66	46	8	No
14	30	69	45	5	No
18	28	64	42	5	No
17	43	63	25	7	No
18	40	60	32	7	No
61	63.5	114	56	9	Sí
63	62	140	80	5	No
15	30.5	64	38	3	No
16	24	62	52	3	No
11	23	62	44	4	No
12	29	63	41	4	No
14	29	62	33	4	No
10	29.5	70	39	4	No
10	27	57	37	5	No

Respecto a la implementación de los moldes se observó que la duración de los moldes de PLA es de un ciclo, y al final de éste se vuelven quebradizos. Para el primer ciclo de cultivo se registraron 3 frutos que adquirieron la forma del interior del molde (tabla 2). Para el segundo ciclo de cultivo se registraron 8 frutos que adquirieron la forma del interior del molde, (tabla 3), la forma de los frutos y moldes se puede apreciar en la tabla 4.

Tabla 4. Frutos que adquirieron la forma del molde en el segundo ciclo de cultivo



Discusión

Los resultados obtenidos en este artículo indican que es posible biodiseñar la fibra obtenida de los frutos de *L. cylindrica*. En relación con el diseño de la forma de la fibra es posible aprovechar su estructura natural y darle nuevas aplicaciones maximizando su potencial como material alternativo; por ejemplo, para envases y embalajes (Mazali and Alves, 2005, Shen, 2014).

Respecto a la memoria de forma, López (2017), la identificó como un obstáculo en el desarrollo de aplicaciones para la industria, y la considera como una limitación en aplicaciones del material debido a que al exponerse al agua regresa a su forma original, esto se puede superar modelando el crecimiento de la fibra para recuperar la forma y aprovecharlo para el diseño de objetos con respuesta al agua o materiales inteligentes sujetos a grandes deformaciones (Shen *et al.*, 2014). Por otra parte, de acuerdo con Shen (2012) la columna de la fibra seca de *L. cylindrica* puede tener densidades de 25-65 kg/m³. Dependiendo de su aplicación es posible que sea necesario alcanzar una densidad deseada, una solución a esto es cortar las fibras de mayor densidad y otra es comprimir la fibra. Sin embargo, al forzar el material a obtener una forma se generan grandes vacíos irregulares en la fibra (Wang *et al.*, 2015).

Con respecto a la resistencia al agua y a la colonización por hongos que pudiese ocurrir al contacto con el agua, debe señalarse que la fibra de *L. cylindrica* cuenta con una gran resistencia a la formación de mohos, y algunas investigaciones previas indican que tiene una gran ventaja sobre las fibras comerciales (Sulaiman, 2001).

El biodiseño de este material requiere el entendimiento de las necesidades biológicas del organismo que lo produce, así como de proveer a esta planta las condiciones adecuadas para su desarrollo. Por otra parte, la creación de moldes mediante la manufactura digital es necesaria para formar barreras tridimensionales que condicionen el crecimiento del fruto de acuerdo con formas predefinidas (Zhou *et al.*, 2020). Además, la impresión 3D permite democratizar las pequeñas producciones, y en conjunto con el biodiseño romper las limitaciones de recursos técnico-productivos y de herramientas con la creatividad y él diseño computacional (Melkozernov y Sorensen, 2020).

La investigación del uso de moldes para modificar la forma de frutos anteriormente ha sido limitada a patentes; sin embargo, en la investigación existe el antecedente de Zhou (2020), quien utilizó modelos impresos en 3D combinados con termoformado para crear moldes con el objetivo de realizar biodiseño de objetos mediante la manufactura digital de raíces proporcionando un molde como barrera de contención para dirigir la forma en que crecen las raíces de *Avena sativa,* adicionalmente incluyó en el interior del molde esferas impresas en 3D para reforzar el interior de la estructura de dicho objeto biofabricado con raíces, utilizándolas como agente estructural.

En la implementación de moldes para modificar la geometría de la fibra se puede observar que aquellos moldes cuyo interior presenta superficies planas limitan la expansión del fruto hacia el interior del molde, presentando mejor adaptación a formas orgánicas y radiales (ver tabla 4).

De acuerdo con Finch y Zhang (2006), existe en China desde el 2000 BC la práctica de modificar la forma del fruto de la planta *Langenaria siceraria*, inicialmente esto fue posible mediante el uso de moldes tallados en madera o hechos de cerámica y en la actualidad se puede realizar mediante el uso de moldes hechos de yeso, los cuales son destruidos al desmoldar los frutos, además reporta que los frutos de *L. siceraria* pueden ejercer una presión de hasta 400 libras en el interior de los moldes. Si bien *L. siceraria* y *L. cylindrica* pertenecen a la familia de las cucurbitáceas es necesario realizar más estudios para conocer las posibles similitudes respecto a la presión ejercida en el desarrollo del fruto de *L. cylindrica* en el interior del molde.

Respecto al uso de PLA como material para la fabricación de los moldes, Garlotta (2002) reporta que este termoplástico, al pertenecer a la familia de los poliésteres alifáticos es considerado biodegradable y compostable, con tiempo de degradación en el ambiente de seis meses a dos años comparado con quinientos a mil años para plásticos convencionales como poliestireno o polietileno y puede ser fabricado con recursos renovables para su uso en el campo del empaque industrial.

Estas características apuntan a que el uso de este material para la elaboración de piezas de un solo uso es congruente con el objetivo de realizar investigación de este material biodegradable. Por otra parte, Finch y Zhang (2006), reportan que en los moldes usados para modelar el fruto de *L. ciceraria* pueden ser hechos de yeso, cerámica o madera, siendo este último el único que puede ser usado en más de una ciclo de cultivo. El yeso genera grandes cantidades de CO_2 en su producción, de acuerdo con Fořt y Černý (2018) en la producción de yeso se generan 140.7 kg CO_2/t en comparación con el PLA utilizado para los moldes, el cual proviene de plantas que en su producción consumen 1.833 kg CO_2/kg y tomando en cuenta el carbono de la molécula del PLA se estima que tiene un potencial de calentamiento global (GWP) de 501 kg CO_2 eq/ton PLA (Morão, 2019).

Respecto a los beneficios de utilizar esta fibra, se pueden mencionar, de acuerdo con Toensmeier (2020), los cultivos de plantas perenes que consiguen secuestrar .43 toneladas de carbono por hectárea anualmente, sin embargo, Egbuche (2011) dice que un cultivo con un crecimiento vigoroso consume diariamente 150 kg/ha de carbono, lo cual se traduce en 57.750 toneladas por hectárea anuales. Se requieren estudios que caractericen la cantidad de carbono que puede fijar el cultivo de esta planta.

Finalmente, incrementar la producción de *L. cylindrica* mediante la diversificación de sus aplicaciones puede generar servicios ambientales por su asociación con comunidades de insectos polinizadores, de acuerdo con Mensah y Kudom (2010) esta planta crea asociaciones con la abeja *Apis mellifera*, también Bhattacharyya *et al*., (2014) indican que las plantas de *Luffa* son una fuente importante de néctar y polen para las abejas. Con respecto a la parte social el cultivo puede generar una fuente de trabajo para personas dedicadas a la producción agrícola, de acuerdo con Azeez y Adewumi (2013) el fruto contiene grupos de compuestos como fenoles, flavonoides, ácido oleico, ácido ascórbico, a-tocoferol, carotenoides y en su etapa inmadura es comestible y puede tener potencial en la industria médica por contener componentes con efectos contra reacciones de hipersensibilidad y propiedades antiinflamatorias.

Conclusión

La biomanufactura digital de moldes abre oportunidades al biodiseño, al permitir determinar la geometría de frutos de fibra de *L. cylindrica* y así proveer alternativas al uso de materiales sintéticos como espumas plásticas como la espuma cónica utilizada en el aislamiento acústico y la espuma perfilada empleada en el empaque de productos frágiles. Los cambios en la morfología de la fibra generados desde el diseño parametrizado pueden permitir utilizarlo en aplicaciones donde se requieren formas tridimensionales, que anteriormente eran logradas mediante la inyección de espumas en moldes, lo cual no es posible actualmente con su geometría naturalmente cilíndrica y parcialmente plana al ser laminada, la cual tiene la tendencia a retornar a su forma en presencia de humedad, además, el uso de modelos paramétricos pudiese permitir hacer modificaciones en el diseño del molde para ajustar la geometría de la fibra a modificaciones en productos. La fibra de los frutos de esta planta tiene características que la hacen adecuada para diversas aplicaciones como ser utilizado en condiciones secas, de humedad, resistencia a la proliferación de hongos, a diferencia de sus alternativas sintéticas es biodegradable y su producción puede realizarse de manera local, permitiendo integrar a la sociedad en el desarrollo de nuevos productos con alternativas al uso de materiales derivados del petróleo, facilitando su posible adopción en nuevas aplicaciones en del diseño industrial.

Referencias

Al-sulaiman, F. (2002). "Evaluation of the performance of local fibers in evaporative cooling", en *Energy Conversion and Management*, 43(16), 2267–2273. Disponible en <https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00121-2>.

Amazon (2020). Ilustración Sandía cuadrada, [figura1]. Disponible en <https://www.amazon.com.mx/Large-Watermelon-Mold-Square-Shape/dp/B00S8UCLFG>.

Azeez, M., Olugbenga y A. Adewumi (2013). Traditional And Medicinal Uses Of Luffa cylindrica: A Review. Journal of Medicinal Plants Studies 2320-3862. 1. 102-111. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/260072169_Traditional_And_Medicinal_Uses_Of_Luffa_cylindrica_A_Review>.

Bhattacharyya, M., C. West, , H. Kumar y Susanta K. Chakraborty (2014). *Luffa cylindrica as a host plant for pollinator bees-a study based in West Midnapore*. West Bengal, India. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/326151833_Luffa_cylindrica_as_a_host_plant_for_pollinator_bees-a_study_based_in_West_Midnapore_West_Bengal_India>.

Egbuche, Christian (2018). "Carbon sequestration: how much can forestry sequester CO2?", en *Forestry Research and Engineering: International Journal*. 2. 10.15406/freij.2018.02.00040. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/327471254_Carbon_sequestration_how_much_can_forestry_sequester_CO2>.

Finch, B., y G. Zhang (2006). *The inmortal molded gourds of Mr. Zhang Cairi (Widess J.)*. The Caning Shop.

Fořt, J. y R. Černý (2018). "Carbon footprint analysis of calcined gypsum production in the Czech Republic", en *Journal of Cleaner Production*, 177, pp. 795–802.

Garlotta, D. (2001). "A Literature Review of Poly(Lactic Acid)", *Journal of Polymers and the Environment*. 9. 63-84. 10.1023/A:1020200822435. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/227206624_A_Literature_Review_of_PolyLactic_Acid>.

Los Angeles County Museum of Art (2020). *Snuff Bottle (Biyanhu) with Flower Vases and Inscriptions*. [Figura1]. Disponible en <https://collections.lacma.org/node/228787>.

López, C. (2017). *Propuesta de mobiliario dinámico para la creación de espacios personales*. Universidad Rafael Landívar. Disponible en <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrcd/2017/03/06/Lopez-Claudia.pdf>.

Morão, A. y F. De Bie (2019). "Life Cycle Impact Assessment of Polylactic Acid (PLA) Produced from Sugarcane in Thailand", en *J Polym Environ* 27, 2523–2539. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-019-01525-9>.

Mensah, B. y A. Kudom (2010). "Relating bee activity to pollination of Luffa aegyptiaca Mill. in Ghana", en *Journal of Apicultural Research*. 49. 192-196. 10.3896/IBRA.1.49.2.08. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/237197607_Relating_bee_activity_to_pollination_of_Luffa_aegyptiaca_Mill_in_Ghana>.

Melkozernov, A. y V. Sorensen (2020). "What drives bio-art in the twenty-first century?", en *Sources of innovations and cultural implications in bio-art/biodesign and biotechnology. AI & SOCIETY*. 10.1007/s00146-020-00940-0. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/340267555_What_drives_bio-art_in_the_twenty-first_century_Sources_of_innovations_and_cultural_implications_in_bio-artbiodesign_and_biotechnology>.

Nieto, E. y T. Montoto (2017). *Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global (Marine litter, plastics and microplastic: sources, impacts and consequences of a global threat)*.

Toensmeier E., R. Ferguson y M. Mehra (2020) "Perennial vegetables: A neglected resource for biodiversity, carbon sequestration, and nutrition", en *PLOS ONE* 15(7): e0234611. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7351156/>.

Wang, X. et al. (2015). "Numerical investigation of compressive behaviour of luffa-filled tubes", en *Composites Part B Engineering*. 73. 149-157. 10.1016/j.compositesb.2014.12.017. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/272182132_Numerical_investigation_of_compressive_behaviour_of_luffa-filled_tubes>.

Wu, W. y C. Yang (2017). *Microplastics pollution and reduction strategies. Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 11. 10.1007/s11783-017-0897-7.

Zhou, J., W. Bahar, D. Scherer y E. Karana (2020). "Digital biofabrication to realize the potentials of plant roots for product design", en *Bio-Design and Manufacturing*, 4. 1-12. 10.1007/s42242-020-00088-2. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/344137475_Digital_biofabrication_to_realize_the_potentials_of_plant_roots_for_product_design>