

<https://orcid.org/0000-0002-8687-6868>

MODA Y BIOTECNOLOGÍA: CREACIÓN DE NUEVOS BIOTEXTILES PARA UNA INDUSTRIA TEXTIL SOSTENIBLE

FASHION AND BIOTECHNOLOGY: CREATION OF NEW BIO-TEXTILES FOR A SUSTAINABLE TEXTILE INDUSTRY

Alexia G. Bautista-Flores
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias Biológicas
Licenciatura en Biotecnología
alexia.bautista@alumno.buap.mx

Resumen

La moda y la biotecnología son temas que no solemos relacionar, sin embargo, actualmente se hacen esfuerzos para conjuntar el diseño y la biotecnología emergiendo en la creación de diferentes biotextiles que buscan cambiar las prácticas convencionales en cuanto a producción y consumo en la industria de la moda, las cuales han dejado un impacto negativo en el medio ambiente. Los biotextiles son producidos a partir de microorganismos, lo cual hace que la obtención de los biomateriales sea más sostenible, menos contaminante, y potencialmente escalable. El presente trabajo abarca lo que es un biotextil, sus aplicaciones en la industria de la moda, el trabajo de una de las mujeres pioneras en confección de prendas con celulosa bacteriana y ejemplos de proyectos que ya trabajan con estos biomateriales, así como hablar de sus limitaciones e importancia a futuro.

Palabras clave: *Biotextiles, biotecnología, biomateriales, industria de la moda, celulosa bacteriana, micelio de hongo, cuero de hongo.*

Abstract

Fashion and biotechnology are topics that we do not usually think are related. However, current efforts are being made to combine design and biotechnology, emerging in the creation of different bio-textiles that seek to change conventional practices in terms of production and consumption in the fashion industry, which have harmed the environment. Bio-textiles are produced from microorganisms, making biomaterials more sustainable, less polluting, and potentially scalable. The present work aims to present what a bio-textile is, its applications in the fashion industry, the work of one of the pioneering women in making garments with bacterial cellulose, and examples of projects that already work with these biomaterials, as well as talking about its limitations and importance in the future.

Keywords: *Biotextiles, biotechnology, biomaterials, fashion industry, bacterial cellulose, mushroom mycelium, mushroom leather.*

Introducción

La moda siempre ha sido un tema que parece lejano a la ciencia. Cuando hablamos de la industria de la moda difícilmente relacionamos el tema con laboratorios, investigación y biotecnología. Sin embargo, con la creciente preocupación por el impacto que deja esta industria en el planeta, se ha comenzado a desarrollar tecnología que pueda minimizar la huella ambiental causada por la producción de artículos como ropa, bolsas y zapatos. Las ciencias ambientales, entre ellas la biotecnología ambiental, se han encargado de por ejemplo, encontrar microorganismos o enzimas que sean capaces de degradar los tintes o pigmentos utilizados al teñir diferentes materiales textiles convencionales, tal es el ejemplo de *Trichophyton rubrum*, un hongo de la madera (Yesiladali et al., 2006) o de los consorcios bacterianos formados por diferentes cepas para la remoción de colorantes azoicos en los cuerpos de agua (Sesan y Abraham, 2004). No obstante, esta no es la única manera en la que la biotecnología puede aportar para hacer de la moda una industria más sostenible.

Los textiles más comúnmente usados son producidos a gran escala mediante el cultivo agrícola de algodón o a partir de polímeros derivados del petróleo como el poliéster.

También se obtienen fibras textiles a base de aceites. Todo lo anterior, ha implicado un gran consumo y desperdicio de agua y electricidad. La emisión de gases de efecto invernadero, la deforestación, erosión del suelo y la contaminación de afluentes de agua son otras de las consecuencias negativas de la industria textil tradicional (Ng y Wang, 2016). Esto ha llevado a trabajar actualmente en el desarrollo de nuevos materiales con características textiles deseables que puedan ser obtenidos sin la explotación de los recursos naturales que hasta ahora se siguen utilizando.

El objetivo de este trabajo es dar a conocer qué son los biotextiles y cómo es que la biotecnología interviene en su producción. También se abordarán diferentes ejemplos de biotextiles cuyas materias primas son diversas. Además de establecer por qué el usar estos biomateriales como alternativa hacen que tanto su producción como su consumo tenga el menor impacto sobre el planeta. Impulsando así una industria textil y una industria de la moda más ecológica y sostenible.

¿Qué es un biotextil?

Los textiles han sido definidos como fibras textiles que constituyen una estructura diseñada para ser usada en un entorno biológico específico (Gajjar y King, 2014). Sin embargo, esta definición tiene más que nada un enfoque médico. Los biotextiles han captado la atención en el ámbito médico desde hace años, especialmente en el campo de la ingeniería de tejidos como sustitutos biológicos para la reparación y regeneración de tejidos y órganos (Sumanasinghe y King, 2003).

Por otra parte, cuando hablamos de biotextiles en un sentido industrial podemos decir que estos se tratan de un entramado o maraña de fibras naturales compuesto de una matriz polimérica que van conformando una estructura en forma de manta o tela. La durabilidad y resistencia del biotextil depende de factores como su composición o las condiciones climáticas y ambientales a las que se expone, ya que esto provocará que se degrade con mayor o menor facilidad. Al momento de ser expedida al ambiente, las características del suelo también influyen en la velocidad con las que se desintegre por completo (Costa, 2017).

El trabajo de Suzanne Lee

La diseñadora de moda Suzanne Lee (*Figura 1*) ha sido pionera en la utilización de biotextiles de celulosa bacteriana para la confección de prendas. Fue directora del "BioCouture Research Project" que nació a principios de la década de los 2000's (Dorkenwald, 2019) como una iniciativa para conjuntar el diseño con disciplinas como la biotecnología y la nanotecnología. El proyecto BioCouture trabaja en el desarrollo de prendas sustentables usando ingredientes como la kombucha (té verde), azúcares y microorganismos. BioCouture, con sede en Londres, se convirtió en la consultoría de diseño pionera biomateriales dentro de las áreas de la moda y ropa deportiva (Costa, 2017).

En el año 2014, en la Wearable Futures Conference 2014, Suzzane Lee presentó una colección de piezas elaboradas a partir de biomateriales como la celulosa bacteriana, obtenida a partir del biocultivo en un medio líquido en donde se formaba una película de celulosa con propiedades similares al cuero. Dicha colección estaba constituida por prendas como chaquetas, faldas y zapatos (*Figura 2*) (Costa, 2017).

Ese mismo año, la diseñadora se mudó a Nueva York para ser la directora creativa a tiempo completo de Modern Meadow, empresa de la que antes fue consultora. Esto gracias a su colaboración con Andras Forgacs, cofundador de dicha empresa y a quien había conocido el año anterior gracias a la plataforma TED, en la que Lee, por medio de charlas buscaba dar difusión a este tema. Para el año 2018, Modern Meadow recibió el encargo de fabricar una instalación para una exhibición en el Museo de Arte Moderno de Nueva York a través de su marca Zoa™ (Dorkenwald, 2019).



Figura 1. Suzanne Lee, directora del proyecto BioCouture y actual directora creativa de Modern Meadow. Fotografía tomada de *The Nomad Magazine*, por Sharon Radisch, 2019.



Figura 2. Piezas presentadas por Suzanne Lee para el Wearable Futures Conference 2014.

Modern Meadow se ha convertido en una empresa biotecnológica, que a través de su marca Zoa™ y tras años de investigación lanzó en 2017 la primera piel bioimpresa al mercado internacional. Dicha piel consiste en la modificación de células de levadura aislando pares de DNA. Al realizar la modificación se consigue que las levaduras produzcan una cantidad y un tipo específico de colágeno que se reúne en moléculas que a su vez forman fibras que al ensamblarse forman un material estructurado. Esta especie de cuero es limpiada y encurtida para mejorar su calidad. El método de obtención de este cuero permite jugar con la densidad del material, lo que abre un gran número de posibilidades para los diseñadores al momento de crear y adaptarlo a distintos modelos (Contreras, 2017).

Celulosa Bacteriana

La celulosa bacteriana puede ser producida gracias al proceso de fermentación de diversos microorganismos, entre los que destacan los géneros bacterianos *Gluconobacter*, *Agrobacterium* (Kamiński et al., 2020) y *Acetobacter* (Chao et al.1997). Esta celulosa de origen bacteriano es un “biopolímero poroso que posee un tejido de punto” (Kamiński et al., 2020).

La celulosa, hablando en términos específicos, se compone del homopolímero de D-glucosa unida a β -1,4. Además, posee un carácter cristalino, pues cuando las cadenas lineales largas de glucosa alcanzan un grado de polimerización de hasta 15 000 unidades se forman microfibrillas que otorgan esta identidad cristalina (Kongruang, 2008).

Las ventajas de la celulosa bacteriana son primero que, a diferencia de la de origen vegetal, esta se encuentra casi en estado puro puesto que carece de polisacáridos contaminantes como la lignina y la hemicelulosa. Segundo, derivado de lo anterior, es que su purificación es mucho más fácil, ya que, no requiere de procesos complejos con grandes gastos de energía y agua, o el consumo de compuestos químicos nocivos para el ambiente (Kongruang, 2008).

Cabe destacar que la celulosa bacteriana es biodegradable, no contamina y al ser producida por microorganismos es un material sostenible. Otra característica importante es que puede ser teñida con pigmentos naturales, lo que ofrece una superficie textil atractiva para la industria (da Silva et al., 2021). Para la confección de prendas, la celulosa bacteriana puede ser cultivada para la obtención de capas que luego pueden ser tratadas con las técnicas de costura convencionales o está la opción de ir moldeando la celulosa sobre una base para tener una estructura deseada.

Actualmente están naciendo marcas mexicanas innovadoras como es el caso de CRÍPTICA, que experimentan con la biofabricación de prendas elaboradas con textiles de celulosa bacteriana. Esto nos deja aún más claro el panorama actual de la aplicación de la biocelulosa en la industria de la moda.

Micelio de Hongo

El micelio de hongo se obtiene a partir de hongos filamentosos, y es el conjunto de hifas ramificadas (Contreras et al., 1994). El micelio de este tipo de hongos digiere materiales lignocelulósicos formando redes entrelazadas que les confieren resistencia mecánica entre otras propiedades. Los productos a base de micelio de hongo son biodegradables, sostenibles, y pueden formar parte de la bioeconomía circular. Además la fuente de materia prima es completamente renovable (Cerimi et al. 2019).

Cuando el hongo crece comienza a cementar el sustrato (desechos de plantas o animales), el cual empieza a ser reemplazado por la biomasa del propio hongo. Este tejido es moldeado para producir distintos objetos, como paneles aislantes o ladrillos (Girometta et al., 2019).

Este biomaterial producido por la naturaleza ha inspirado la creación de marcas como Reishi, de origen estadounidense, perteneciente a MycoWorks. La cual logró crear un nuevo material textil denominado Fine Mycelium que hace que el cultivo de micelio tenga un mayor rendimiento. Fine Mycelium, gracias a la biotecnología, “dirige y diseña las células de micelio a medida que crecen para crear estructuras celulares patentadas que están densamente entrelazadas e inherentemente fuertes, comparables a la triple hélice apretada del colágeno”. Este método de obtención permite la modificación durante el proceso de producción para refinar las especificaciones y mejorar los resultados deseados en cuanto a suavidad, caída, grosor, forma, textura, flexibilidad, resistencia, densidad, etc., (Qvistgaard, 2021).

MycoWorks también desarrolló una plataforma digital para esta tecnología textil, a través de ella los diseñadores pueden ingresar las especificaciones que requieran del material en cuanto a textura, flexibilidad, densidad, etc.

Esta marca recientemente anunció su colaboración exclusiva con la reconocida marca Hermès para la elaboración de una bolsa que cuenta con la tecnología de Fine Mycelium (*Figura 3*) (Qvistgaard, 2021).

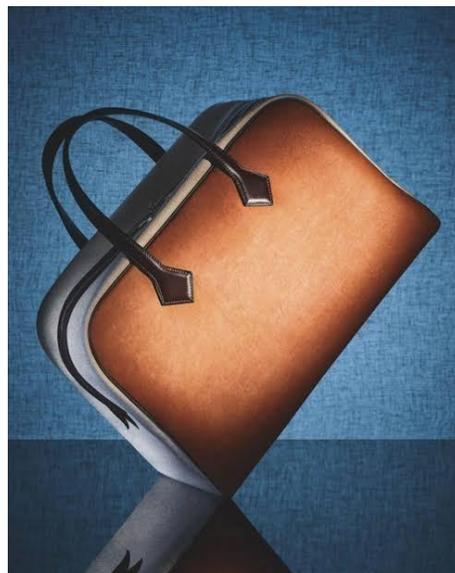


Figura 3. Bolsa exclusiva de la colaboración entre MycoWorks y Hermès Fotografía tomada de *madewithreishi.com*, de Coppi Barbieri, 2021.

Otra marca inspirada en los hongos, que hace uso del hongo de yesca para la producción de cuero es ZVNDER, de origen alemán. Esta marca nace en 2017 como resultado del proyecto de tesis de Nina Fabert (*Figura 4*), el cual recibió apoyo y financiamiento para conformarse como una marca que comercializa productos derivados de los hongos. La empresa cultiva el material en Transilvania y se procesa mediante métodos tradicionales. Todo el proceso de producción es manual, lo que lo hace amigable con el ambiente. Algunos de los productos que ofrece son carteras, relojes, edredones, entre otros (*Figura 5*). Inclusive tuvo una colaboración con nat-2 para la creación de unas zapatillas de estilo deportivo con cuero de hongo y otros materiales ecológicos (Zvnder, 2017).



Figura 4. Nina Fabert, fundadora de ZVNDER. Fotografía tomada de Greenpeace Magazin, por Espen Eichhöfer, 2019.



Figura 5. Productos confeccionados por ZVNDER. Fotografía tomada de fettefischebazar.com, 2017.

Algas

Las algas se utilizan como herramienta en la industria textil para la creación de nuevos colorantes naturales (Mir et al., 2019) o para la fitorremediación de efluentes contaminados por esta misma actividad económica (Jose y Archanaa, 2019). No obstante, dentro del ámbito de los materiales textiles, las algas han llamado la atención por su potencial para producir bioplásticos. Recordemos que muchos de los textiles que usamos son derivados de compuestos plásticos, por lo que obtener un material de base biológica con características similares a los plásticos es de gran importancia. Añadiendo que, al ser de un origen biológico tienen la característica de tener una mayor biodegradabilidad.

Las bacterias y las algas acumulan polihidroxicanoatos (PHA) por acción metabólica y dependiendo de la fuente de carbono disponible. Lamentablemente, la desventaja de las bacterias es que necesitan condiciones específicas y parámetros de proceso críticos, lo que aumenta los costos de producción y por tanto dificulta su comercialización. Sin embargo, este obstáculo puede ser superado haciendo uso de biomasa de microalgas que acumula PHA. Las microalgas tienen una gran versatilidad en cuanto a la fuente de carbono consumida, lo cual, elimina el problema de depender de un solo sustrato y permite su cultivo a partir de diferentes recursos (Tharani y Ananthasubramanian, 2020). Además de los PHA, las algas también pueden producir polihidroxibutiratos (PHB) cuyo interés también es importante para la producción de bioplásticos puesto que son polímeros que pertenecen a la clase del poliéster (Abdo y Ali, 2019).

La biotecnología juega un papel importante en el mantenimiento de microalgas modificadas genéticamente, esto con el fin de tener una producción continua ya que hay que tener en cuenta el tiempo de duplicación del organismo. Es necesario adoptar un enfoque integrado de biorefinería para lograr una recuperación bioplástica sostenible a partir de biomasa de microalgas (Tharani y Ananthasubramanian, 2020).

Para hablar de la aplicación de bioplástico de alga en la industria textil, se tiene el ejemplo del trabajo elaborado por Charlotte McCurdy. Esta diseñadora, es miembro de la Rhode Island School of Design, quién confeccionó un impermeable para lluvia hecho de un

material plástico a base de algas marinas y otros compuestos biodegradables (*Figura 6*) (Ponsford, 2020).



Figura 6. ¿Tejido del futuro? Charlotte McCurdy ha desarrollado una tela similar al plástico hecha de algas y la ha convertido en un impermeable. Fotografía tomada de CNN Style, cortesía de Charlotte McCurdy, 2020.

Los bioplásticos no son la única manera en que las algas pueden participar dentro de la industria textil. Biogarmentry (*Figura 7*) es un ejemplo de proyecto que desarrolla un tejido textil vivo haciendo uso de las microalgas. Este textil es capaz de realizar fotosíntesis, además de ser 100% biodegradable. El proyecto se llevó a cabo a cargo de la diseñadora Roya Aghighi (*Figura 8*) en colaboración con científicos de la Universidad de British Columbia en Canada. El concepto del textil consistía en tener células vivas fotosintéticas sostenidas por tejidos naturales como lo son las fibras de celulosa y proteínas. Mientras se mantengan vivas a las células de la prenda, ésta podrá purificar el aire, debido a que las microalgas capturan el dióxido de carbono del aire para el proceso de fotosíntesis. Trabajos como este cambian por completo nuestra forma de interacción con nuestras prendas y su cuidado (Aghighi, 2019).



Figura 7. Biogarmentry. Créditos: Cortesía de Roya Aghighi.



Figura 8. Roya Aghighi, fundadora de Biogarmentry. Fotografía tomada de California Apparel News, por Kris Kish, 2018.

¿Por qué usar biotextiles?

El utilizar prendas elaboradas con materiales de base biológica parece ser el modelo más viable para conseguir la sostenibilidad en la industria textil y de la moda. Esto debido a su alta biocompatibilidad y biodegradabilidad. En otras palabras, los biotextiles tienen la capacidad de ser reciclados e iniciar el proceso de degradación una vez que ha cumplido su ciclo de vida útil, lo que le brinda un carácter sostenible. Son compostables, viables comercialmente y amigables con el medio ambiente. No crean desechos tóxicos o contaminantes tal como lo hacen los textiles convencionales. Pueden ser teñidos con pigmentos naturales y utiliza recursos naturales renovables, sostenibles e inagotables como lo es la celulosa, los polisacáridos y los quitosanos (Ng y Wang, 2016).

Otro aspecto que tomar en cuenta en la producción de biotextiles es la posibilidad de establecer una economía circular, la cual se caracteriza por utilizar los residuos de una industria para su conversión dentro de otra industria, obteniendo un producto nuevo. Un ejemplo claro sería la reutilización de los desechos de la fabricación de bebidas de Kombucha para la elaboración de un material textil (**Figura Z**). Este tipo de economía ayuda a mitigar el negativo impacto ambiental de ciertas industrias (Provin et al., 2021).



Figura Z. Esquema de la economía circular en la producción de biotextiles.

Nota. Adaptado de "Circular economy for fashion industry: Use of waste from the food industry for the production of biotextiles," por A. P. Provin et al., 2021, *Technological Forecasting and Social Change*, Volumen 169.

Limitaciones y consideraciones

A pesar de las características tan idóneas que se han encontrado en los biotextiles, no se ha logrado alcanzar la producción en masa, algo a tomar en consideración cuando hablamos de introducirlos en una industria. Cabe añadir, que además de la investigación científica, se necesitan estudios que analicen más a fondo cuestiones como los costos de producción, los costos de adquisición de estas prendas, los procesos de comercialización, etc. Lo anterior podría ayudar a establecer estos materiales dentro del mercado de una forma más rápida, contribuyendo a su aceptación por parte del público. Determinar su viabilidad dentro de un panorama económico real es importante si queremos crear un sector de biotextiles que impulsen el desarrollo y crecimiento económico de los países.

Complementario a esto, también se necesitan estudios sobre exámenes o pruebas enfocados en demostrar que su uso no representa ningún riesgo para la salud humana.

La importancia de los biotextiles en el futuro

Eventualmente, los textiles convencionales tenderán a aumentar sus costos, esto, debido a que son confeccionados a partir de materias primas que provienen de recursos no renovables. El precio global del petróleo aumenta, la disminución en la fertilidad de la tierra hace que algunos cultivos puedan reducir su producción comenzando a escasear y añadido a esto, la protección de los animales es un tema cada vez más importante (Ng y Wang, 2016). Razones como estas hacen que la investigación en biotextiles sea relevante y de carácter urgente.

El tema de la vestimenta, interesantemente no sólo se quedará en el planeta Tierra. Los avances tecnológicos en cuanto a viajes espaciales han hecho que el humano aumente sus posibilidades de transitar con mayor facilidad en el terreno extraterrestre. Los textiles que se encuentren en el espacio no podrán ser reciclados, pues las condiciones no son nada parecidas a las de nuestro planeta. Además de que el acceso al agua es limitado, por lo que no pueden ser lavados. Las prendas directamente son un desecho estando allá afuera. Un textil de base biológica podría ser diseñado para tener la posibilidad de ser cultivado en condiciones tan retadoras como lo es el espacio exterior o los transportes espaciales. Lo seductor de esta idea, es que la biomasa producto de la degradación del biomaterial podría ser recirculada en bioreactores para la re-obtención de este textil (Kamiński et al., 2020).

Conclusión

Los biotextiles son una puerta hacia el futuro, que aún está en construcción. Existen aún muchas problemáticas a resolver como su tiempo de vida útil, su escalabilidad a nivel industrial, y por supuesto, la aceptación del público en general. Sin embargo, han demostrado ser una alternativa útil y viable ante los textiles convencionales. Aún queda un largo camino por recorrer en el mejoramiento de sus características deseables, y aún más, impulsar su difusión para no quedarse simplemente dentro del marco del diseño artístico. La biotecnología es una herramienta que tiene la capacidad de aportar mucho en este campo, pues la manipulación de los seres vivos es intrínseca a esta disciplina. Se necesitan más científicos enfocados en el desarrollo y mejoramiento de los biotextiles

para que la revolución textil tenga un camino más rápido y factible. ¿Se imaginan tener prendas vivas en su guardarropa?

Agradecimientos

Primero que nada, agradezco al Dr. Enrique González Vergara por ser mi asesor en la escritura de este texto y por compartir sus conocimientos sobre la redacción de artículos. También agradezco a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por proveer de herramientas tan valiosas a su comunidad a través de la Dirección General de Bibliotecas, sin las cuales no habría sido posible acceder a información imprescindible para el desarrollo del presente trabajo.

Conflicto de interés

La autora declara que no existe conflicto de interés.

Referencias

Abdo, SM, Ali, GH Análisis de polihidroxibutrato y producción de bioplásticos a partir de microalgas. *Bull Natl Res Cent* 43, 97 (2019). <https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1186/s42269-019-0135-5>

Aghighi, R. (2019). *Biogarmentry*. Royaa Aghighi. Disponible en: <http://www.royaaaghighi.com/biogarmentry.html>

Cerimi, K., Akkaya, KC, Pohl, C. *et al.* Hongos como fuente de nuevos materiales biológicos: revisión de una patente. *Fungal Biol Biotechnol* 6, 17 (2019). <https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1186/s40694-019-0080-y>

Chao, Yp., Sugano, Y., Kouda, T. *et al.* Producción de celulosa bacteriana por *Acetobacter xylinum* con un reactor air-lift. *Biotechnology Techniques* 11, 829–832 (1997). <https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1023/A:1018433526709>

Contreras, J., Flores, T. G., Talavera, T. D. R. A., Martínez, Z. E., & López, N. A. P. (1994). ¿ Qué es. *Cuadernos de pedagogía*, 224, 8-12.

Contreras, L. (2017). Zoa, el cuero bioimpreso de Modern Meadow. *3Dnatives*. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/zoa-el-cuero-bioimpreso-de-modern-meadow/#!>

Costa, AFS, Rocha, MAV y Sarubbo, LA (2017). Celulosa bacteriana: un biotextil ecológico. *Revista Internacional de Tecnología Textil y de la Moda* , 7 , 11-26.

da Silva, CJG, de Medeiros, ADM, de Amorim, JDP *et al.* Biotextiles de celulosa bacteriana para el futuro de la moda sostenible: una revisión. *Environ Chem Lett* (2021). <https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1007/s10311-021-01214-x>

Dorkenwald, S. (2019). Suzanne Lee - Revolutionary of the fashion industry. *The Nomad Magazine EN*. Disponible en: <https://www.the-nomad-magazine.com/story-features/issue-7/suzanne-lee-revolutionary-of-the-fashion-industry.html>

- Gajjar CR, King MW (2014) Biotextiles: Fibra a tela para aplicaciones médicas. En: Polímeros reabsorbibles formadores de fibras para aplicaciones biotextiles. SpringerBriefs en materiales. Springer, Cham. https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1007/978-3-319-08305-6_3
- Girometta, C., Picco, AM, Baiguera, RM, Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., Savino, E. (2019). Propiedades físico-mecánicas y termodinámicas de los biocompuestos a base de micelio: una revisión. *Sostenibilidad*, 11 (1), 281. doi: 10.3390 / su11010281
- Jose S., Archanaa S. (2019) Phytoremediation of Textile Wastewater: Possibilities and Constraints. In: Gupta S.K., Bux F. (eds) Application of Microalgae in Wastewater Treatment. Springer, Cham. https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1007/978-3-030-13913-1_14
- Kamiński, K., Jarosz, M., Grudzień, J. *et al.* Celulosa bacteriana de hidrogel: un camino hacia materiales mejorados para nuevos textiles ecológicos. *Cellulose* 27, 5353–5365 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03128-3>
- Kongruang, S. Bacterial Cellulose Production by *Acetobacter xylinum* Strains from Agricultural Waste Products. *Appl Biochem Biotechnol* 148, 245 (2008). <https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1007/s12010-007-8119-6>
- Mir, R.A., Adeel, S., Azeem, M. *et al.* Green algae, *Cladophora glomerata* L.–based natural colorants: dyeing optimization and mordanting for textile processing. *J Appl Phycol* 31, 2541–2546 (2019). <https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1007/s10811-018-1717-6>
- Ng, F. M., & Wang, P. W. (2016). Natural self-grown fashion from bacterial cellulose: a paradigm shift design approach in fashion creation. *The Design Journal*, 19(6), 837-855
- Senan, RC, Abraham, TE Biorremediación de colorantes azoicos textiles por el consorcio de bacterias aerobias *Degradación aeróbica de colorantes azo seleccionados por el consorcio bacteriano. Biodegradation* 15, 275-280 (2004). <https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1023/B:BIOD.0000043000.18427.0a>
- Ponsford, M. C. (2020). *Future design: What «living» clothes can do to absorb carbon emissions?* CNN. <https://edition.cnn.com/style/article/living-textiles-algae-future-sept/index.html>
- Provin, A. P., Dutra, A. R. D. A., de Sousa e Silva Gouveia, I. C. A., & Cubas, E. A. L. V. (2021). Circular economy for fashion industry: Use of waste from the food industry for the production of biotextiles. *Technological Forecasting and Social Change, Volume 169, 120858*. ISSN 0040-1625, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120858>
- Qvistgaard, M. (2021). *An Exclusive Collaboration by Hermès and MycoWorks*. Reishi™. <https://www.madewithreishi.com/stories/mycoworks-and-hermes>
- Qvistgaard, M. (2021). *Fine Mycelium™, a New Category of Material*. Reishi™. <https://www.madewithreishi.com/stories/fine-mycelium-a-new-category-of-material>
- Sumanasinghe, R. D., & King, M. W. (2003). New trends in bio-textiles—the challenge of tissue engineering. *J Text Apparel Technol Manage*, 3(2), 1-13.
- Tharani D., Ananthasubramanian M. (2020) Las microalgas como productores sostenibles de bioplásticos. En: Alam M., Xu JL., Wang Z. (eds) Biotecnología de microalgas para alimentos, salud y productos de alto valor. Springer, Singapur. https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1007/978-981-15-0169-2_11
- Yesiladali, SK, Pekin, G., Bermek, H. *et al.* Biorremediación de tintes textiles azo por *Trichophyton rubrum* LSK-27. *World J Microbiol Biotechnol* 22, 1027-1031 (2006). <https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1007/s11274-005-3207-7>
- Zvnder (2017). *ZVNDER vegan products made of the tinder fungus- FUNGISKIN*. Disponible en: https://www.zvnder.com/index_eng.html