

Materiales de encuadernación y construcción: Enriado de fibra vegetal

Papá: ¿por qué no todo el mundo construye su casa con madera y hojas como nosotros? ¡Es mucho más sostenible!



ChingHao Lee

Escuela de Ingeniería, Facultad de Innovación y Tecnología, Universidad de Taylor, Taylor's Lakeside Campus, No. 1 Jalan Taylor's, 47500, Subang Jaya, Selangor DE, Malasia

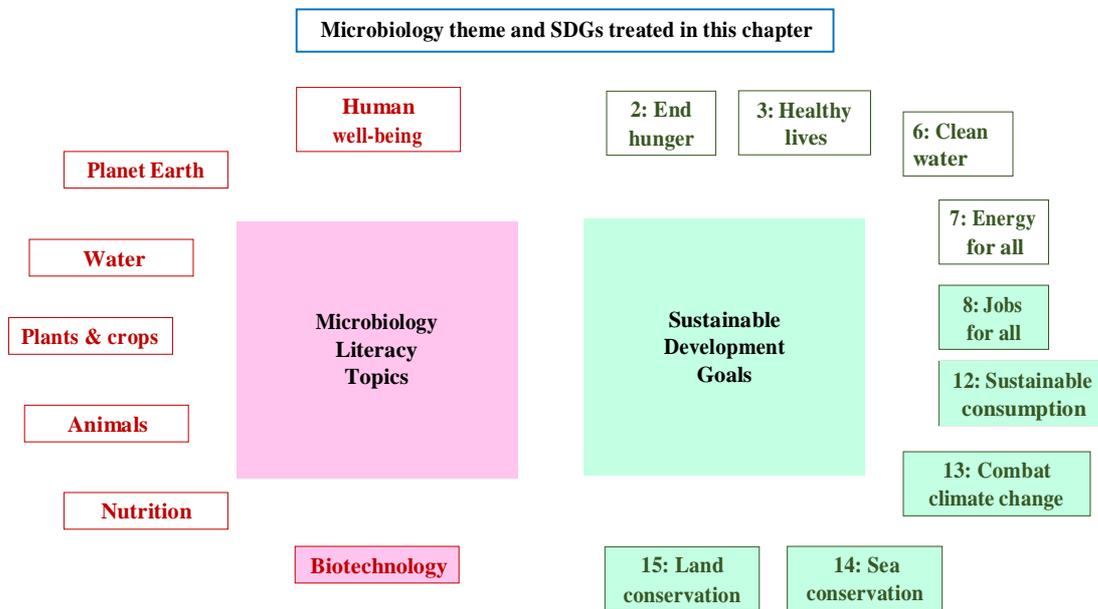
Materiales de unión y construcción: Enriado de fibra vegetal

Argumento

Antes de que las fibras vegetales se utilicen en tales aplicaciones, el proceso de enriado generalmente se emplea para separar los haces de fibras de otro material vegetal. El enriado es un proceso biológico en el que intervienen enzimas secretadas por microbios para eliminar los materiales no celulósicos adheridos al haz de fibras y dar lugar a fibras celulósicas desprendidas. El uso de las fibras vegetales ayuda a cumplir muchos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

La microbiología y el contexto social

La microbiología: enriado; fuentes renovables; fuentes degradables; reducción de gases de efecto invernadero. *Temas de sostenibilidad:* Impacto ambiental y económico; reducir el uso de agua dulce, combatir el cambio climático.



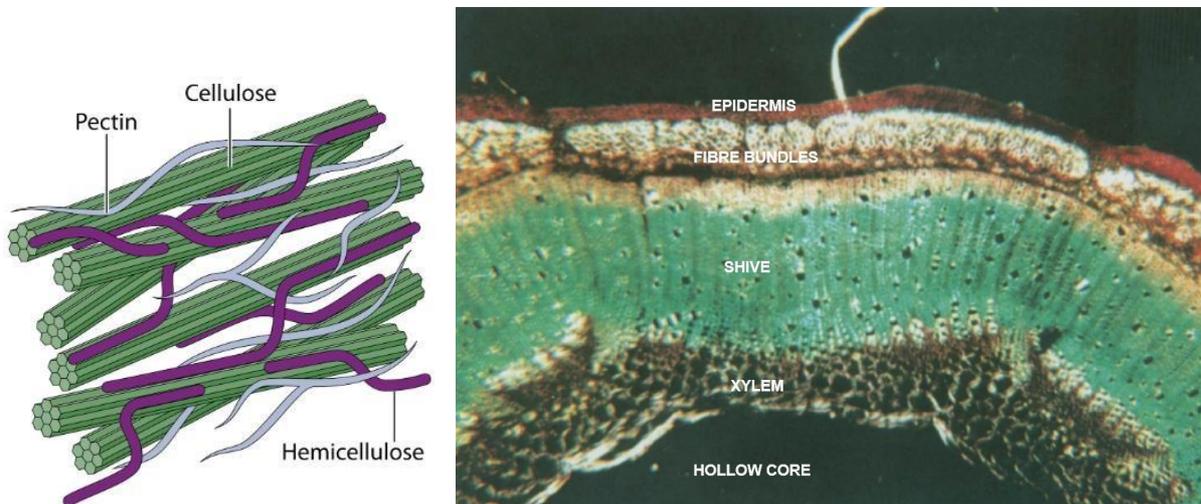
Enriado: la Microbiología

1. Las fibras vegetales se han utilizado para muchos propósitos desde tiempos prehistóricos. Las fibras de tela más antiguas jamás descubiertas, que se encontraron en prendas tejidas sencillas hechas de lino, tienen casi 36.000 años de antigüedad. Estas fibras son un predecesor del lino, el tejido natural más antiguo. Además de eso, las fibras vegetales se han empleado desde el reinado de los faraones, cuando la paja se ponía en ladrillos. Las hojas de palma secas también se utilizaron como material de techado para ayudar a eliminar el agua de lluvia, mantener el calor alejado de la casa y proporcionar una buena ventilación. Tales invenciones fueron hitos importantes en el desarrollo de la civilización.

Un marco educativo enfocado en la niñez

2. Fibras vegetales. Las fibras naturales son compuestos orgánicos formados por celulosa, hemicelulosa, lignina y varios componentes menores. Se encargan de proporcionar a la planta su forma y fuerza, y en el caso de los árboles, su leñosidad. Las fibras se unen con la epidermis, astillas, núcleo leñoso y xilema para formar tallos y ramas. La epidermis es la piel de la planta y protege las células y los tejidos internos, y evita la evaporación de la humedad, mientras que el xilema, el núcleo leñoso, y las astillas ayudan a transferir el agua y los nutrientes de las raíces a toda la planta. Las fibras situadas en el floema aparecen en forma de haces y proporcionan resistencia y rigidez a la planta.

Para obtener las fibras naturales libres de otros materiales vegetales, se deben eliminar los constituyentes de pectina y lignina que unen las fibras. El objetivo del proceso de enriado es eliminar estos componentes adhesivos y liberar las fibras de su unión en el haz.



Estructura del tallo de la planta. Izquierda: diagramático; Derecha: visto por microscopía electrónica

3. Enriado. El enriado es el proceso microbiológico de eliminación de materiales no celulósicos adheridos al haz de fibras mediante actividades enzimáticas, para producir fibras naturales desprendidas. Hay dos procesos básicos de enriado: el enriado de agua y el enriado de rocío.

El enriado en agua se lleva a cabo sumergiendo manojos de tallos en aguas quietas o de movimiento lento e implica la fermentación por bacterias anaerobias, principalmente *Clostridium sp.*, que enrían (o maceran) las fibras de líber mediante la producción de enzimas que hidrolizan los componentes que las mantienen unidas. Sin embargo, la fermentación anaeróbica da como resultado una grave contaminación del agua, aguas residuales contaminadas y un olor pútrido.

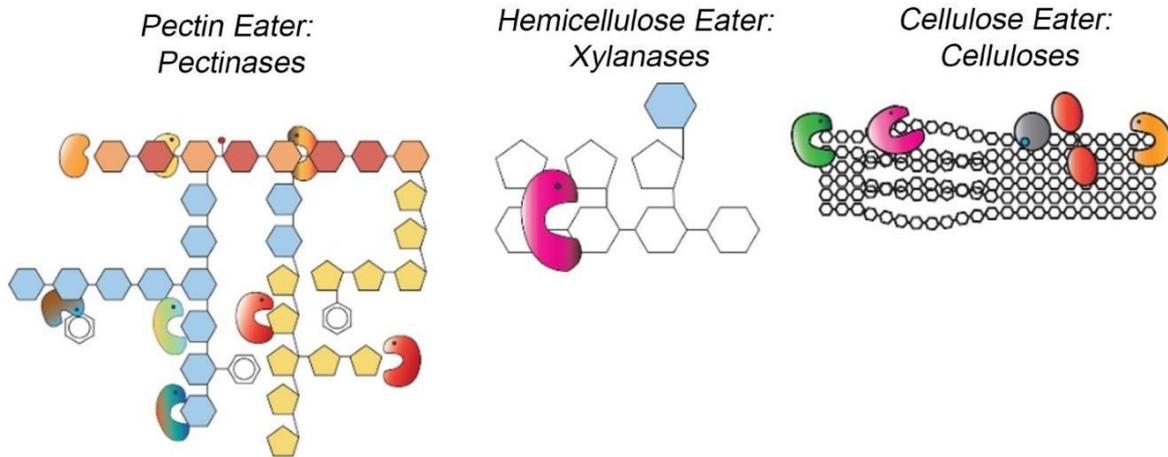
El enriado de rocío se emplea en áreas con recursos hídricos limitados, pero con rocío nocturno intenso, e involucra hongos. El enriado de rocío tarda mucho tiempo en completar el proceso.



Un marco educativo enfocado en la niñez

Enriado de agua (izquierda) y enriado de rocío (derecha) de fibras naturales.

Más recientemente, el enriado por enzimas aisladas (celulasas, xilanasas y pectinasas) se introdujo como un posible método alternativo de enriado. Las enzimas personalizadas producen fibras naturales enriadas de primera calidad.



Las enzimas secretadas por microbios que se utilizan para descomponer los componentes de unión a las fibras

4. Se obtienen diferentes tipos de fibra a partir de diferentes materiales vegetales y se utilizan para diferentes fines. Las fibras vegetales naturales se obtienen de varias partes de las plantas. Las fibras se clasifican principalmente como fibras de semillas (p. ej., de algodón y ceiba), fibras de tallo o líber (p. ej., de lino, yute, cáñamo, kenaf y caña de azúcar) y fibras de hojas o fibras foliares (p. ej., de piña, plátano).

Las fibras de líber son fibras leñosas blandas que se obtienen de los tallos de plantas dicotiledóneas (plantas con flores con hojas de venación reticulada). Las fibras de líber, generalmente caracterizadas por su finura y flexibilidad, también se conocen como fibras "blandas", distinguiéndolas de las fibras más gruesas y menos flexibles del grupo de las fibras de hoja o fibras "duras".

Las fibras foliares son fibras duras y gruesas que se obtienen de las hojas de plantas monocotiledóneas (plantas con flores que suelen tener hojas con venas paralelas, como hierbas, lirios, orquídeas y palmeras).

La mayoría de las fibras de líber son bastante fuertes y se utilizan ampliamente en la fabricación de cuerdas y cordeles, materiales de embolsado y telas industriales de alta resistencia. A principios del siglo XXI, el yute se utilizaba principalmente para sacos y envolver. Las fibras de las hojas se emplean principalmente para cordajes como cuerdas y cordeles. También se pueden utilizar para telas tejidas, y para este propósito no suelen requerir hilado.

5. Las fibras naturales son renovables, biodegradables, respetuosas con el medio ambiente y sostenibles. El uso de fibras naturales ha sido sustituido en gran medida por fibras sintéticas derivadas de productos petroquímicos: solo piensa en tu blusa o camisa de secado rápido, o en el cordón que usas para atar un paquete que contiene un regalo. Pero muchos materiales sintéticos son muy poco degradables, por lo que son malos para el medio ambiente y van en contra de la filosofía de una economía circular. Además, están fabricados con materiales iniciales no renovables, por lo que no son sostenibles. Por el contrario, las fibras naturales son renovables, biodegradables y sostenibles. ¡Es hora de volver a los productos elaborados con

Un marco educativo enfocado en la niñez

fibras naturales!

6. El refuerzo de plásticos con fibras naturales es un proceso sostenible, con material renovable y casi sin costo. Hoy en día, muchos objetos que se ven a diario, como los salpicaderos (“dashboards”) de los autos, los muebles, los interiores de los aviones y los suelos con apariencia a madera, están hechos de plástico. Los plásticos se utilizan para reducir el peso y facilitar la producción. Sin embargo, para algunos de estos productos, el plástico reforzado con fibra es el término más preciso porque las fibras se incorporan al plástico para mejorar sus propiedades.



Varios tipos de fibras naturales.

Las fibras sintéticas fueron una vez la opción popular para incorporarlas a productos plásticos fuertes y duraderos. Sin embargo, se descubrió que numerosos problemas de salud humana y medioambientales estaban asociados a estas fibras sintéticas, lo que impulsó la búsqueda de opciones alternativas. Las fibras naturales son subproductos de las operaciones agrícolas o de plantación. Estos tienen un costo casi nulo porque de lo contrario estos subproductos terminan siendo enterrados o quemados. Actualmente, se producen anualmente más de 32 millones de toneladas métricas de fibras naturales.

7. Las fibras naturales aceleran la digestión microbiana de los residuos plásticos. Los desechos plásticos que no se manejan de adecuadamente pueden eventualmente terminar en el océano, donde contaminan y dañan la vida marina. Incluso el manejo correcto incluye enterrar los desechos plásticos en vertederos, que están ocupando cada vez más una superficie de tierra valiosa en disminución y en la que pueden persistir durante décadas. La incorporación de fibras naturales en los productos plásticos podría acelerar la

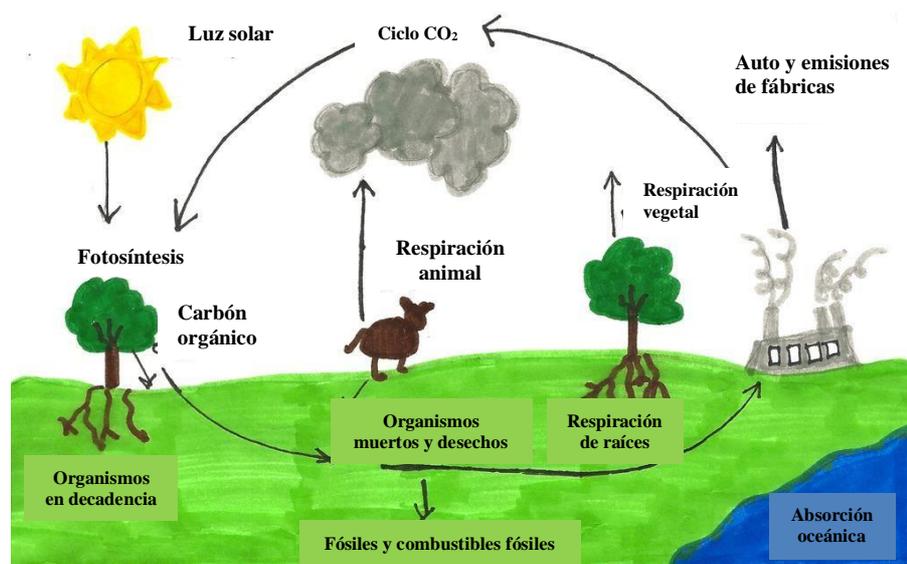
Un marco educativo enfocado en la niñez

biodegradabilidad, ya que son biodegradables y atraen la colonización microbiana.

8. Las propias ventajas de las fibras naturales también son desventajas. La naturaleza hidrofílica de las fibras naturales atrae el agua y la humedad, lo que favorece su colonización por microbios y su degradación. La propia ventaja de su biodegradabilidad después de la eliminación puede ser una desventaja cuando están en uso, ya que requieren un cuidado adicional para mantenerlas secas.

Además, cada lote de fibras naturales puede tener un rendimiento ligeramente diferente, incluso utilizando el mismo método de enriado. Esto se debe a la variación natural en la estructura de las fibras naturales, que se ve afectada por la geometría de plantación, el clima y el manejo.

Sin embargo, el uso de fibras naturales nos ayuda a luchar contra la acumulación de residuos plásticos y el calentamiento global. La plantación produce plantas que a través de la fotosíntesis extraen el dióxido de carbono del aire y lo secuestran. La fibra natural es una buena amiga nuestra y de la madre naturaleza. ¡Debemos aprender a amarla y usar cada vez más en lugar de fibra sintética!



El ciclo del carbono en la naturaleza

Relevancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los grandes desafíos

La producción de fibra natural por enriado microbiano está relacionada con varios ODS.

- **Objetivo 8. Trabajo para todos.** El enriado es un proceso que proporciona empleo en los países de ingresos bajos a medianos. El crecimiento previsto en la demanda de fibras naturales estimulará el crecimiento del empleo asociado al enriado, aunque esto puede tender a ocurrir a un nivel más industrial.
- **12. Producción y consumo sostenibles.** Por un lado, el enriado y el uso de fibras naturales contribuyen a la producción y el consumo sostenibles, en la medida en que sustituyen a los plásticos y a la economía lineal asociada a ellos, y utilizan recursos renovables. Por otro lado, el proceso de enriado crea unas aguas residuales caracterizadas por un color amarillo-marrón, mal olor y alto contenido orgánico de lignina, celulosa y hemicelulosa, que necesitan ser tratadas antes de que puedan ser reutilizadas.
- **Objetivo 13. Combatir el cambio climático.** La producción e incineración de plásticos libera toneladas de gases de efecto invernadero. La producción de fibras naturales a través de la fotosíntesis de las plantas elimina y secuestra el gas de efecto

Un marco educativo enfocado en la niñez

invernadero dióxido de carbono. Además, la biodegradación de los productos de fibra natural después de su uso crea biomasa microbiana que contribuye al carbono del suelo, lo que también representa una reducción en la producción de gases de efecto invernadero.

- **Objetivo 14. Conservar los océanos.** El uso de fibras naturales en los productos les confiere una biodegradabilidad parcial o total, por lo que son menos contaminantes para los océanos. Es importante destacar que, como productos alternativos al plástico, el uso de productos de fibra natural reducirá la contaminación plástica de los océanos.
- **Objetivo 15. Uso sostenible de los ecosistemas terrestres.** El uso de fibras naturales en los productos les confiere una biodegradabilidad parcial o total. Esto reduce la presión sobre los vertederos de residuos sólidos urbanos generados por plásticos y productos fabricados con fibras sintéticas.

Posibles implicaciones para las decisiones

1. Individual

- a. ¿Debería comprar una blusa o camisa hecha de fibra sintética o natural?
- b. ¿Debería usar una bolsa de plástico o de fibra natural cuando vaya a comprar?

2. Políticas comunitarias

- a. Utilizar pasillos locales y espacios públicos vacíos para sembrar plantas adecuadas. Esto mejora la calidad del aire en su área de vida más verde.
- b. Crear nuevas zonas verdes de uso público.
- c. Fomentar el uso de las hojas/tallos de las plantas públicas para que los trabajadores calificados los enrien para generar ingresos adicionales para la comunidad.

3. Políticas nacionales

- a. Proporcionar financiación para la investigación y el desarrollo.
- b. Proporcionar incentivos a los agricultores de plantaciones de fibras naturales.
- c. Promover el uso de fibras naturales en productos comerciales.

Participación de los alumnos

1. Discusión en clase sobre los beneficios asociados con las plantaciones de fibras naturales

- a. Impacto en el medio ambiente.
- b. Impacto en las sociedades vecinas.
- c. Discusión en clase sobre la sustitución de fibras naturales en nuestras aplicaciones diarias.

2. Concientización de los alumnos

- a. Los microbios logran el enriado de las fibras naturales. ¿Se les ocurre algo que se pueda hacer para avanzar en alguno de los ODS?
- b. ¿Se les ocurre algo que se pueda hacer para promover el uso de fibras naturales en su vecindario y en su país?
- c. ¿Se les ocurre algo que podrían hacer personalmente para reducir el calentamiento global?

3. Ejercicios

- a. La selección de plantas de fibra natural normalmente depende del clima. ¿Qué planta es más preferible en su área local?
- b. El enriado microbiano de la fibra requiere conocimientos especializados. ¿Qué

Un marco educativo enfocado en la niñez

pueden hacer las partes interesadas para transmitir ese conocimiento a las personas adecuadas?

c. Para contribuir a los ODS, las empresas deben asumir la responsabilidad de utilizar materiales ecológicos como las fibras naturales para sustituir completa o parcialmente los materiales sintéticos no degradables. Sin embargo, experimentan dificultades para hacerlo. ¿Pueden sugerir alguna solución?

La base empírica, la lectura complementaria y los medios didácticos

Fibra Natural Retting

C. H. Lee, A. Khalina, S. H. Lee, Ming Liu, "A Comprehensive Review on Bast Fibre Retting Process for Optimal Performance in Fibre-Reinforced Polymer Composites", *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2020, Article ID 6074063, 27 pages, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6074063>

Sisti L., Totaro G., Vannini M., Celli A. (2018) Retting Process as a Pretreatment of Natural Fibers for the Development of Polymer Composites. In: Kalia S. (eds) *Lignocellulosic Composite Materials*. Springer Series on Polymer and Composite Materials. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68696-7_2

Danny E. Akin, Gunnar Henriksson, Jeff D. Evans, Anders Peter S. Adamsen, Jonn A. Foulk & Roy B. Dodd (2004) Progress in Enzyme-Retting of Flax, *Journal of Natural Fibers*, 1:1, 21-47, DOI: [10.1300/J395v01n01_03](https://doi.org/10.1300/J395v01n01_03)

Fibra Natural y su compuestos

Thyavihalli Girijappa YG, Mavinkere Rangappa S, Parameswaranpillai J and Siengchin S (2019) Natural Fibers as Sustainable and Renewable Resource for Development of Eco-Friendly Composites: A Comprehensive Review. *Front. Mater.* 6:226. doi: 10.3389/fmats.2019.00226
What Is a Natural Fiber? <https://barnhardtcotton.net/blog/what-is-a-natural-fiber/> (2019)

Jatinder Singh Dhaliwal (October 24th 2019). *Natural Fibers: Applications, Generation, Development and Modifications of Natural Fibers*, Mudassar Abbas and Han-Yong Jeon, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.86884. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/69714>

Fibra Natural en SGDs

Resolution on natural fibres adopted by consensus at UN <https://www.fibre2fashion.com/news/textile-news/resolution-on-natural-fibres-adopted-by-consensus-at-un-253610-newsdetails.htm> (2019)

chrome-extension://oemmnadbldboiebnladdacbdm/adadm/https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2021/06/Textile-Exchange-kpmg-threading-needle-report.pdf

Glosario

Anaerobio: Vivos, activos, que ocurren o existen en ausencia de oxígeno libre; respiración anaeróbica; bacterias anaeróbicas

Biodegradabilidad: Capacidad de degradación biológica de materiales orgánicos por parte de organismos vivos hasta sustancias básicas como agua, dióxido de carbono, metano, elementos básicos y biomasa

Secuestro de carbono: Proceso natural o artificial mediante el cual el dióxido de carbono se elimina de la atmósfera y se mantiene en forma sólida o líquida.

Celulosa: Molécula formada por cientos, y a veces incluso miles, de átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno. La celulosa es la sustancia principal en las paredes de las células

Un marco educativo enfocado en la niñez

vegetales, lo que ayuda a las plantas a permanecer rígidas y erguidas.

Fibra celulósica: Fibras elaboradas con éteres o ésteres de celulosa, que pueden obtenerse de la corteza, la madera o las hojas de las plantas, o de otros materiales de origen vegetal.

***Clostridium* sp:** Género de bacterias grampositivas. La familia contiene alrededor de 250 especies que incluyen bacterias comunes de vida libre, así como patógenos importantes.

Enriado de rocío: Los tallos de las plantas cosechadas se distribuyen uniformemente en campos cubiertos de hierba, donde la acción combinada de las bacterias, el sol, el aire y el rocío produce fermentación, disolviendo gran parte del material del tallo que rodea los haces de fibras. En dos o tres semanas, dependiendo de las condiciones climáticas, la fibra se puede separar.

Plantas dicotiledóneas: Uno de los dos grupos en los que se clasifican todas las plantas con flores donde su semilla tiene dos hojas embrionarias o cotiledones.

Enzima: Proteína producida por un organismo vivo que ayuda a que ocurra un cambio químico o que ocurra más rápidamente, sin ser modificada por sí misma.

Epidermis: La más externa de las tres capas que componen la piel de la madera. Proporciona una barrera a la infección por patógenos ambientales y regula la cantidad de agua liberada del cuerpo a la atmósfera a través de la pérdida de agua transepidérmica.

Fermentación: Un proceso metabólico que produce cambios químicos en sustratos orgánicos a través de la acción de enzimas.

Haz de fibras: Grupo de fibras vegetales unidas con componentes de pegado.

Hemicelulosa: Uno de un número de hetero polímeros (polisacáridos de matriz), como los arabinosilanos, presentes junto con la celulosa en casi todas las paredes celulares de las plantas terrestres

Hidrofílico: Tienden a ser atraídos por el agua o a disolverse, mezclarse, absorberse o ser saturados fácilmente por el agua.

Hidrolizar: Proceso de dividir el agua (o H₂O) en dos partes: un hidrógeno positivo, H⁺, y un hidroxilo negativo, (OH)⁻.

Incubación: Proceso de producción de microbios en un medio controlado.

Lignina: Clase de polímeros orgánicos complejos que forman materiales estructurales clave en los tejidos de soporte de la mayoría de las plantas. Las ligninas son particularmente importantes en la formación de las paredes celulares, especialmente en la madera y la corteza, porque aportan rigidez y no se pudren fácilmente. Químicamente, las ligninas son polímeros fabricados mediante la reticulación de precursores fenólicos.

Pectinasa: Es un grupo de enzimas que cataliza la degradación de sustancias pécticas, ya sea por reacciones de despolimerización (hidrolasas y liasas) o de desesterificación (esterasas).

Floema: Tejido vivo de las plantas vasculares que transporta los compuestos orgánicos solubles producidos durante la fotosíntesis y conocidos como fotosintatos, en particular el azúcar sacarosa, a partes de la planta donde sea necesario. Este proceso de transporte se denomina translocación.

Fotosíntesis: Proceso por el cual las plantas utilizan la luz solar, el agua y el dióxido de carbono para crear azúcares que proporcionan al organismo carbono orgánico y energía.

Fibra vegetal: Generalmente compuesta de celulosa, a menudo en combinación con otros componentes como la lignina

Gas metano: Hidrocarburo que es un componente primario del gas natural. El metano también es un gas de efecto invernadero (GEI), por lo que su presencia en la atmósfera afecta la temperatura de la tierra y el sistema climático

Microplástico: Piezas extremadamente pequeñas de plástico en el medio ambiente que provienen de productos de consumo y desechos industriales.

Plantas monocotiledóneas: Las semillas producidas generalmente contienen solo una hoja embrionaria o cotiledón.

Fibra Natural: Fibras que se producen por procesos geológicos, o a partir de los cuerpos de

Un marco educativo enfocado en la niñez

plantas o animales.

Plástico reforzado con fibra natural: Materiales compuestos, en los que al menos las fibras de refuerzo se derivan de recursos renovables y neutros en dióxido de carbono, como la madera o las plantas.

Astillas (“Shives”): Consisten en "la parte interna leñosa del tallo del cáñamo, rota en pedazos y separada de la fibra en los procesos de rotura y agramado" y "corresponden a los shives del lino, pero son más gruesos y suelen tener una textura más suave". Las atillas han sido tradicionalmente un subproducto de la producción de fibra

Fibra sintética: Fibras elaboradas por el ser humano mediante síntesis química, a diferencia de las fibras naturales que se derivan directamente de organismos vivos, como plantas (como el algodón) o pieles de animales.

Xilanasas: Enzimas hidrolíticas que escinden aleatoriamente la columna vertebral β -1,4 del polisacárido xilano de la pared celular compleja de la planta. Existen diversas formas de estas enzimas, que muestran diferentes pliegues, mecanismos de acción, especificidades del sustrato, actividades hidrolíticas (rendimientos, tasas y productos) y características fisicoquímicas

Xilema: Transporta agua de las raíces a los tallos y hojas, pero también nutrientes

Enriado de agua: En el método más practicado, se sumergen manojos de tallos en agua. El agua, al penetrar hasta la porción central del tallo, hincha las células internas, reventando la capa más externa, aumentando así la absorción de humedad y bacterias productoras de descomposición.