



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

Cuernavaca, Morelos a 15 de junio de 2026

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE, PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **ROMERO CEDILLO REYES KEVIN**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10055276**, BAJO EL TÍTULO: **REVISIÓN DEL USO DE MICOMATERIALES ALIGERADOS Y ACABADOS EN EL ÁREA DE CONSTRUCCIÓN**, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

ATENTAMENTE
Por Una Humanidad Culta

DRA. MA. DE LOURDES ACOSTA URDAPILLETA
PRESIDENTE
(FIRMA ELECTRÓNICA)



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, Unidad Biomédica,
Tel. (777) 329 7047, 329 7000, Ext. 3531 / rosariof@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

MA. DE LOURDES ACOSTA URDAPILLETA | Fecha:2026-06-15 12:09:48 | FIRMANTE

jlkdWkHPww4krR4zkgyS92+VRNTt6gq3FRyMMzNVZLwxvnRSILL4r+OfFIY8UhLHi2up3at9nt/Va8N8PbE0n3iqm7ogtoFeyLfSVVYe6QrqCCUvYUsVCIkVpWnA+oO16HhkVq4FF
Jswur4fHLmOV6kL03W7pbNrv8VMS8ID7W+kdFHF2tYsq+rvAbMTtGzO7Q7DuRaPoCatn/MQoIV91QHMHMFY3K9u6ITpAFprRlwKffkv5/bRkWJs34uhJiJ/LDr8qXheR1i8Ss/6v7oq
wvk7ytlAwd2DZOijU3Kx2M3/CD0J/YNRx20CvK9Ky5Vkl6qlJ7DMohJokpocTN3LxIw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



b8y5zjGTM

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/quvpo43NXILT37GjJJH5XuOTw9h1Ale>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

Cuernavaca, Morelos a 15 de junio de 2026

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE, PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **ROMERO CEDILLO REYES KEVIN**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10055276**, BAJO EL TÍTULO: **REVISIÓN DEL USO DE MICOMATERIALES ALIGERADOS Y ACABADOS EN EL ÁREA DE CONSTRUCCIÓN**, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

ATENTAMENTE
Por Una Humanidad Culta

DRA. MAURA TÉLLEZ TÉLLEZ
PRIMER VOCAL
(FIRMA ELECTRÓNICA)



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, Unidad Biomédica,
Tel. (777) 329 7047, 329 7000, Ext. 3531 / rosariof@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

MAURA TELLEZ TELLEZ | Fecha:2026-06-15 12:09:25 | FIRMANTE

fCI/WTLYk0NPhkieE8jwTulwZVVtJk+vOF8cwIDOEIwyCrH24D/azjuV1PggyqHeEBzL9d/bP3fTz6v9kOFccJoB/KqqwizNOBsmjUfipYBwyVIf8BON3OVQVHmPqaERPrJQ5fvsbbdo
pdMOfoq3bu4Od4xemYlo2rivxUieTQi4BMhX+5Qy5aZKBHGzSYyftLyoiBJqFVzsnPbtjCRgnfOzpzL1cfDkDjxPtnKGBcEPxeHklulOFjTwWQop9gqtSCGxeq7A51iHdzBnkPLm7Uwjl
7jh13CcinnV1GRrYtwa08rJHCYspK/wK7ePnG5RWJ3GnFTxxajxYwxmhk3bEWOA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[sUxXkrhwc](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/me7DS5vRdRDv8hkdFvKnYBoV4FTvFJIL>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

Cuernavaca, Morelos a 15 de junio de 2026

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE, PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **ROMERO CEDILLO REYES KEVIN**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10055276**, BAJO EL TÍTULO: **REVISIÓN DEL USO DE MICOMATERIALES ALIGERADOS Y ACABADOS EN EL ÁREA DE CONSTRUCCIÓN**, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

ATENTAMENTE
Por Una Humanidad Culta

DRA. OFELIA SOTELO CARO
SEGUNDO VOCAL
(FIRMA ELECTRÓNICA)



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, Unidad Biomédica,
Tel. (777) 329 7047, 329 7000, Ext. 3531 / rosariof@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

OFELIA SOTELO CARO | Fecha:2026-06-15 12:31:32 | FIRMANTE

I9dPnhI2qQE9ihiOyg5i1Nwtb58LYUZ/sruUs0dVblyH0sGFRrj89IUy5grqPvYhBKSD0+fCXQj1atSMRcjRkAs4wHu/jl9tnHAlv/QklsCW4a0LaqQbYYSYdqhx3mt2qX2xuY/Ohv6XSFx1lkxWMkReR+LrLwWqZUnMUy41/pm0H+z5OEykbKI+hl2sLGHVw02wWgnijKLIDeSg7OZ6iM8bU+TcddRMIYBo01RKTJQj0hU4C3Z5BktBMqYDsW+yod0FCc6EmJRGVS8X5Q1yCE0KDmzTj/eVTDOWqx4YGgzAyJw+teHXkmUycDoFuvjSOi/K0tDmiBCQISbOrAPcmjw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



JYjHLt712

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/wLp7ahgjDifdpW7UrzXnqJkBS0J6q0XM>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

Cuernavaca, Morelos a 15 de junio de 2026

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE, PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **ROMERO CEDILLO REYES KEVIN**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10055276**, BAJO EL TÍTULO: **REVISIÓN DEL USO DE MICOMATERIALES ALIGERADOS Y ACABADOS EN EL ÁREA DE CONSTRUCCIÓN**, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

ATENTAMENTE
Por Una Humanidad Culta

DR. JULIO CESAR LARA MANRIQUE
TERCER VOCAL
(FIRMA ELECTRÓNICA)



Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209, Unidad Biomédica,
Tel. (777) 329 7047, 329 7000, Ext. 3531 / rosariof@uaem.mx

UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

JULIO CESAR LARA MANRIQUE | Fecha:2026-06-15 11:57:56 | FIRMANTE

YqETB9GkDtwHINAq14DunlqEc91AO0SubXziepsxWDDs/UjoV90qbh00+jhp/CxLRNqAdiTG7+4T+sn/csBpLlv7nf1jD+qZphxcqpkIU/6tccYryYBijWgqZh6fl9H8Rs1pbJhgw9eeFWrc3B7SSREL47H2zmAAWKO4CXvBuUUXKIXYS6t6KZnwddYeWosirNoAlktMaAIA6g2B3qGZqwX9nKaN88TF0RC+LY2IoSYbpAEIWD9NRWNOyZIXzOxrcRQGOTHoNI89fh4Mgz3of5V+Ys8DHEilCDZjxSB5ycKTA8K8oGZqDt83clHjb9PGT51mk5otDFUGUpnrsKaA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



bSuQLnzls

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/pBAUTlq6iiWW6QawjPiw3XSrQ0EgQx1X>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



FACULTAD
DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**REVISIÓN DEL USO DE MICOMATERIALES
ALIGERADOS Y ACABADOS EN EL AREA DE
CONSTRUCCIÓN**

T E S I N A

**QUE PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD EN
GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS**

P R E S E N T A:

BIOL. Reyes Kevin Romero Cedillo

DIRECTORES DE TESINA:

DRA. MAURA TÉLLEZ TÉLLEZ

DR. RAFAEL MONRROY ORTIZ

Cuernavaca, Morelos

JUNIO, 2026

Dedicatorias

Estoy agradecido con la Virgen de Guadalupe y a Dios, por haberme acompañado y guiado en este camino dándome fuerza, salud y sabiduría para seguir y lograr llegar a esta etapa de mi vida, gracias por las enseñanzas a lo largo de esta trayectoria y por rodearme de muy buenas personas para llegar hasta aquí.

A mi mamá (abuela)

Con amor a mi Mamá Elena, que desde el cielo me cuida, me protege y siempre me guía, gracias por ser mi gran estrella, me enseñaste a valorar lo que se tiene alrededor y a esforzarse mucho para tener logros, sé que me acompañas a dónde quiera que vaya, gracias por no abandonarme en los momentos difíciles para superarlos y seguir adelante. Esta tesina se la dedico con mucho cariño a ella, porque sé que estaría muy orgullosa de mí, aunque no está aquí conmigo, sé que estaría orgullosa y muy feliz porque logro titularme de esta especialidad.

A mi mamá Liliana

Gracias Madre por todo el apoyo que me has brindado siempre con las ganas de apoyarme, gracias por tus sacrificios y el buen ejemplo que me has enseñado para luchar siempre por lo que quiero ante las adversidades. Agradezco que seas mi madre y padre a la vez, reconozco tu gran esfuerzo por sacarme adelante, en muchos aspectos lograste formarme como persona, me enseñaste a ser fuerte y ver el lado bueno de las cosas para no detenerme y concluir con éxito esta etapa, gracias por ser una gran mamá y la mejor que me pudo tocar, nunca dejes de apoyarme en mis decisiones

A mi familia en general

A mi abuela Yola, por apoyarme en estudiar la especialidad, pero también a mi tío Alfredo que apesar de las adversidades siempre cuento con su apoyo, agradezco mucho su ayuda y confianza, se ha convertido como un padre para mí.

A mis amigos y compañeros de laboratorio, que marcaron una etapa de mi vida en especial para A mis por ser más que una amiga y compañera de laboratorio, siempre motivándome para avanzar y seguir cumpliendo mis metas y propósitos. Esta tesina es tanto de ustedes como mía.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de los estudios de maestría y financiamiento de este proyecto.

Para la facultad de ciencias biológicas (FCB), al Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), por permitirme realizar el posgrado en la especialidad en gestión integral de residuos (EGIR), así como al personal administrativo por su apoyo y amabilidad.

A mi asesora y directora de tesis la doctora Maura Téllez Téllez, por apoyarme desde el comienzo por su valioso tiempo, compartir sus conocimientos, sus consejos, tener la paciencia de enseñarme cómo trabajar en el laboratorio y de manera académica, sobre todo, ser una valiosa y gran persona, por ser un pilar fundamental en la culminación de este proyecto. Gracias por hacer de mí una mejor persona.

En general a todo mi comité evaluador, por sus sugerencias y observaciones para mejorar. Para mi codirector el doctor Rafael Monrroy Ortiz por guiarme en todo momento, aprender y obtener un panorama diferente en el área de construcción y poder adoptar dos áreas para búsqueda y sus posibles aplicaciones.

Resumen

La generación de residuos agroforestales, constituye un conflicto mundial, debido a que su procesamiento y disposición final no son adecuados, lo que contribuye a la acumulación y eutrofización de cuerpos de agua y suelos, como alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de los residuos, se pueden emplear para contribuir con un producto útil y de mayor valor agregado, es decir con potencial de generación de ingresos económicos adicionales, esto se centra en la fabricación de materiales con la ayuda del micelio de los hongos, con un enfoque en el crecimiento de materiales en lugar de extraerlos, lo cual es sostenible a partir del aprovechamiento de biomasa lignocelulósica (desechos orgánicos) y el micelio de los hongos permite obtener materiales ligeros por los componentes y características que tiene el micelio de unir los desechos y moldearse de diferentes formas y tamaños con aplicación en la construcción en materiales aligerados, por lo que el objetivo de este estudio fue analizar el estado del arte de los micomateriales aligerados y acabados en el área de construcción. El cual se encontró que los materiales aligerados y acabados en la construcción son: yeso, Tablaroca, polímeros (como el unicel), aislantes térmicos, aislantes acústicos, vidrio, cerámica y pinturas los cuales se implementan para aligerar las construcciones, ahorro energético en cuanto aislantes y de estética, en cuanto a materiales biodegradables que se usan están los de bambú, fibra de coco, palma, pinturas a base de tierra con baba de nopal y nopal como sellador e impermeabilizante, en cuanto a los micomateriales se encontró que principalmente países como Alemania, estados unidos, México y Países Bajos ya existen medianas y grandes empresas como Ecovative Design y MycoWorks pioneras en el uso del micelio de los hongos para fabricar y crear materiales similares al cuero, embalajes biodegradables y componentes arquitectónicos, de los cuales todavía hay mucha información sesgada o patentada en la descripción y metodología en la obtención de diferentes materiales aligerados, de los cuales se encontraron los paneles, espumas, bloques, baldosas y tableros con residuos orgánicos de los cuales solo algunos mencionas la paja, aserrín, cáñamo, algodón cascara de arroz y café combinado con fibra natural de piña, en cuanto a las especies de hongos que se utilizan para formar estos micomateriales, en la búsqueda realizada se logró encontrar que los más comunes son: *Pleurotus*, *Ganoderma*, *Trametes*, *Pignoporus*, *Polyporus* y *Fomes* ya que varios autores mencionan que son los de mayor uso para formar y obtener buenos micomateriales haciendo énfasis en el uso del hongo estratégico y que dependiendo el uso del sustrato le confiere mayor resistencia a la compresión y hasta propiedades acústicas y aislantes. También se encontró que, al implementar pruebas a los materiales de micelio, pueden garantizar la consistencia y la comparabilidad con otros materiales convencionales, fomentando la innovación en el uso de estos materiales, la reducción de costos y sostenibilidad.

Palabras clave.

Construcción, Aligerados, Micelio y sostenibilidad.

Abstract

The generation of agroforestry waste constitutes a global conflict, as its processing and final disposal are inadequate, contributing to the accumulation and eutrophication of water bodies and soils. As technological alternatives for the utilization of such waste, they can be employed in the production of useful, higher value-added products with potential for generating additional economic income. This approach focuses on the fabrication of materials through the use of fungal mycelium, emphasizing the growth of materials rather than their extraction. This is sustainable through the exploitation of lignocellulosic biomass (organic waste), and fungal mycelium enables the production of lightweight materials due to its components and characteristics, binding waste together and molding into different shapes and sizes, with applications in construction as lightweight materials. The objective of this study was to analyze the state of the art of lightweight and finishing mycomaterials in the construction sector. It was found that lightweight and finishing materials in construction include gypsum, drywall, polymers (such as Styrofoam), thermal insulators, acoustic insulators, glass, ceramics, and paints, which are implemented to lighten structures, achieve energy savings through insulation, and provide aesthetic qualities. Regarding biodegradable materials, those currently used include bamboo, coconut fiber, palm, earth-based paints with nopal mucilage, and nopal as a sealer and waterproofing agent.

In terms of mycomaterials, it was observed that countries such as Germany, the United States, Mexico, and the Netherlands already host medium and large companies, such as Ecovative Design and MycoWorks, which are pioneers in the use of fungal mycelium to manufacture and create leather-like materials, biodegradable packaging, and architectural components. However, much of the information remains biased or patented, particularly concerning the description and methodology for obtaining different lightweight materials. Among the identified products are panels, foams, blocks, tiles, and boards made from organic waste, with some sources mentioning straw, sawdust, hemp, cotton, rice husk, and coffee combined with natural pineapple fiber. Regarding fungal species employed in the formation of these mycomaterials, the most commonly reported include *Pleurotus*, *Ganoderma*, *Trametes*, *Pignoporus*, *Polyporus*, and *Fomes*, as several authors highlight their widespread use in producing high-quality mycomaterials. Emphasis is placed on the strategic selection of fungi, since the choice of substrate confers greater compressive strength and even acoustic and insulating properties. Furthermore, it was found that implementing standardized testing of mycelium-based materials can ensure consistency and comparability with conventional materials, thereby fostering innovation in their application, reducing costs, and promoting sustainability.

Keywords

Construction, Lightened, Mycelium and sustainability.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pag.
Índice	6
Índice de tablas	7
Índice de figuras	7
Resumen	4
Introducción	8
Capítulo I. MARCO TEÓRICO	10
1.1 Residuos	10
1.1.1 Clasificación de residuos	10
1.2 Residuos agroforestales	10
1.2.1 Composición química de los residuos	11
Celulosa	12
Hemicelulosa	13
Lignina	14
1.3 Principales cultivos en México	18
El maíz	18
Frijol	18
Sorgo	18
Café	19
Trigo	19
1.3.1 Producción agrícola en el estado de Morelos	19
1.4 Contaminación ambiental por residuos agroforestales	20
1.5 Usos que tienen los residuos agroforestales	21
Uso del residuo en la elaboración de biomateriales	23
Capítulo II Justificación	25
Capítulo III Objetivos	26
Objetivo general	26
Objetivos específicos	26
Capítulo IV Propuesta a implementar	27
Capítulo V Principales hallazgos	28
5.1 Materiales aligerados en la construcción	33
Materiales aligerados biodegradables utilizados	36
5.2 Micomateriales a base de micelio	37
5.3 Uso de los hongos para elaborar micomateriales	45
5.4. Normativas aplicadas a micomateriales	46
Capítulo VI. CONCLUSIÓN	55
Referencias bibliográficas	56

Índice de tablas

Tabla 1 Composición química de los residuos agroforestales	16
Tabla 2 Principales cultivos y producción	19
Tabla 3 Materiales tradicionales	29
Tabla 4 Resistencia los materiales de construcción	35
Tabla 5 Empresas que ya comercializan micomateriales	42
Tabla 6 Hongos, sustratos y resistencia que tienen los micomateriales	44
Tabla 7 Normativas implementadas en trabajos para realizar pruebas a los micomateriales	46

Índice de figuras

Figura 1 Estructura de la pared celular	12
Figura 2 Estructura de la celulosa	13
Figura 3 Estructura de la hemicelulosa	14
Figura 4 Estructura de la lignina	15
Figura 5 Diagrama general del proyecto	27
Figura 6 Clasificación de los materiales	29
Figura 7 Principales especies de hongos reportados para fabricar compuestos de micelio	46

Introducción

Los procesos productivos agrícolas generan residuos agroforestales, que constituyen un problema mundial debido a que su procesamiento y disposición final no son adecuados, lo cual contribuye a la contaminación ambiental (Vargas y Pérez, 2018). Los subproductos derivados de los sectores forestal, agrícola e industrial, sin ninguna utilidad, se convierten en residuos para “tirar”; estos se descomponen en la naturaleza hasta que el incremento de su volumen los vuelve inmanejables, originando problemas que alteran el ambiente y el desarrollo mismo de los seres vivos (Cuadros, 2008).

Ahora bien, el aprovechamiento de los residuos agroforestales previene la contaminación del ecosistema y contribuye a mitigar su deterioro y, en la misma medida, las afectaciones a la salud humana (Gómez *et al.*, 2016). Desde la perspectiva de una economía sostenible, resulta pertinente un manejo responsable de los recursos naturales renovables y no renovables con el objeto de reducir su huella ecológica (Appels *et al.*, 2019); esto implica, entre otras cosas, el uso de tecnologías verdes que reduzcan dicha huella.

Una segunda posibilidad es la reconversión tecnológica que contribuya a un producto útil y de mayor valor agregado, es decir, con potencial para generar ingresos adicionales. En consecuencia, el problema de la acumulación de materia orgánica puede abordarse mediante el estudio de alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales y forestales (Mirabella *et al.*, 2014). Los residuos agroforestales provenientes de subproductos lignocelulósicos son una de las materias primas naturales abundantes y renovables de mayor disponibilidad (Kumar *et al.*, 2009). La pared celular de los tejidos vegetales de estos residuos está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales son polímeros complejos de difícil degradación; sin embargo, algunas bacterias y hongos los descomponen debido a que poseen enzimas útiles para romper tales moléculas (Sánchez *et al.*, 2010).

La reconversión tecnológica es el aprovechamiento de subproductos lignocelulósicos, dados su volumen; estos pueden considerarse para el desarrollo de cuerpos fructíferos o la producción de moléculas bioactivas con fines medicinales, es decir, centrándose en el estudio del micelio de los hongos, basado precisamente en nuevos enfoques de producción con alternativas sostenibles y de menor impacto en el ambiente (Jones *et al.*, 2020). Ahora bien, la alternativa de nuevos paradigmas de fabricación se centra en “el crecimiento de materiales en lugar de extraerlos”; en consecuencia, el micelio forma parte de una economía de nueva generación de biomateriales, lo cual es sostenible a partir del aprovechamiento de biomasa lignocelulósica (desechos orgánicos) y el micelio (Elsacker *et al.*, 2019). Esto implica que las áreas de investigación y aplicación tecnológica de productos elaborados a partir de micelio constituyen un campo con perspectivas de crecimiento y desarrollo, dada su capacidad de generar resultados eficientes y rentables frente a materiales de origen petroquímico, como los destinados a la construcción de viviendas y esculturas (Fletcher, 2019). En el presente trabajo se analizarán los estudios sobre la generación

de biomateriales a partir de residuos lignocelulósicos y micelio, destinados a su uso como aligerados y acabados en la construcción.

Capítulo I. MARCO TEÓRICO

1.1 Residuos

Se conoce como un material o producto cuyo propietario o poseedor desecha, se puede encontrar en estado sólido o semisólido, o un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la LGEEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente), el término residuo es aplicado aquellos materiales que pueden o no poseer un valor comercial, puesto que una proporción de sus constituyentes son considerados como materia prima para determinados fines (Saval, 2012; LGEEPA 2024).

1.1.1 Clasificación de residuos

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2015) establece una clasificación de residuos, que se agrupa en tres categorías: residuos peligrosos, residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial.

Residuos peligrosos (RP): aquellos que poseen alguna característica de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad o inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados al ser transferidos a otro sitio.

Residuos de manejo especial (RME): generados en procesos productivos, no reúnen las características para ser considerados peligrosos ni residuos sólidos urbanos, o son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.

Residuos sólidos urbanos (RSU): generados en las casas habitación. Resultan de la eliminación de los materiales utilizados en las actividades domésticas, de los productos consumidos y de envases, embalajes o empaques; de residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública (residuos con características domiciliarias); y de los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no se consideren de otra índole.

1.2 Residuos agroforestales

Los residuos agroforestales en las últimas décadas han sido objeto de diversos estudios, debido a que sus componentes pueden ser utilizados como materia prima para la generación de productos con valor agregado, condición que prevalece actualmente y que se prevé su continuidad a futuro desde el punto de vista de la prioridad en la generación de bioenergéticos, esto con la finalidad de disminuir el impacto ambiental. Los residuos lignocelulósicos incluyen a aquellos subproductos tanto de origen forestal, agrícola e industrial (Marqués, 2010), en general tienen aplicaciones limitadas y su uso principal es como fertilizante, camas para animales y

rellenos para materiales de construcción, pero en gran medida se disponen como desechos o se queman, generando dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (Cerimi *et al.*, 2019), las características de los residuos agroforestales son muy variadas, dependen de la materia prima y del proceso que los generó, no obstante, comparten una característica principal en el contenido de celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina, por lo que se denominan residuos lignocelulósicos (Saval, 2012).

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica proveniente de árboles y plantas, incluyendo desechos de animales; esta puede ser convertida en energía, así como la proveniente de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, macadamia), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (basura orgánica, etc.). La biomasa puede usarse para la producción de energía; abarca un amplio rango de materiales y fuentes: los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas se emplean generalmente en procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, orientados a la sustitución de combustibles fósiles. Adicionalmente, es importante reconocer que la biomasa no solo puede emplearse para la producción de energía, sino que también puede servir como materia prima para la fabricación de múltiples sustancias químicas de gran valor comercial y otros productos (Demirbas y Biodiesel, 2008). La producción mundial de biomasa se estima en 146 billones de toneladas métricas, que comprende en su mayoría el crecimiento de plantas silvestres (Demirbas y Biodiesel, 2008) y de 10 a 50 billones en base seca (López *et al.*, 2008), además, en la misma referencia se describe que la biomasa está en cuarto lugar como fuente de energía, proporcionando el 14% de la energía que el mundo necesita.

1.2.1 Composición química de los residuos agroforestales

Las características de los residuos agroforestales dependen de la materia prima y del proceso que los origina; sin embargo, poseen características que los hacen similares, representan la mayor fuente de energía, así como la materia orgánica renovable de la biosfera, cuya estructura y composición química abarcan amplios rangos, lo que va determinando el uso industrial o la posible aplicación en procesos biotecnológicos (Figura 1) (Marqués, 2010). Todas las células de las plantas superiores están encerradas en una pared celular, un material compuesto por numerosos polímeros, entre los que se incluyen varios polisacáridos, como pectinas, glucoproteínas estructurales y, en las paredes secundarias, la polifenol lignina (Somerville *et al.*, 2004). El tipo de polímero, la estructura y la cantidad pueden variar ampliamente según la especie de planta, el tipo de tejido, la etapa de desarrollo y la capa de la pared celular (Pauly y Keegstra 2010). La pared celular constituye la mayor parte del peso seco de la planta; en general, contiene del 40 al 50% de celulosa, del 15 al 25% de hemicelulosas, del 20 al 25% de lignina y del 5 al 10% de otros componentes (Zeng et al., 2017).

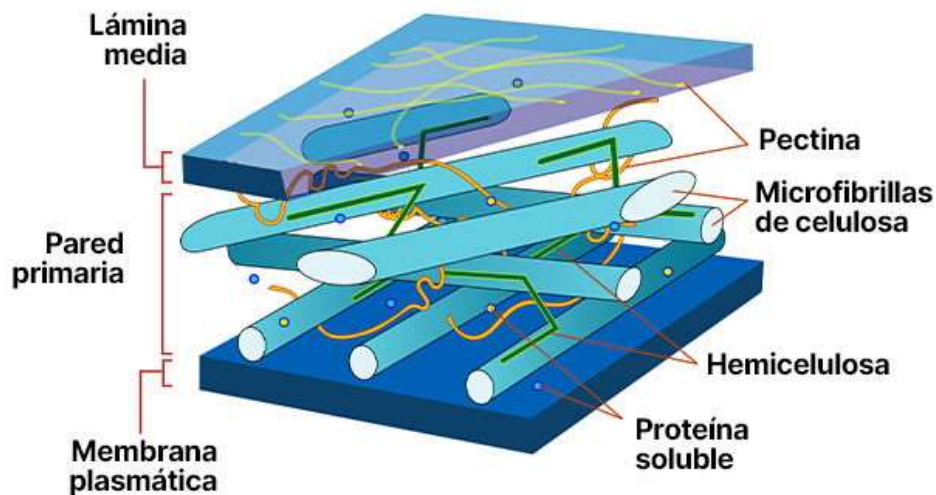


Figura 1. Estructura de la pared celular, tomado <https://sl.bing.net/dUPMrcFI9g>

Celulosa

La celulosa es un polisacárido sintetizado por la enzima celulosa sintasa en la membrana plasmática, mediante la construcción de cadenas de β -glucano a partir de UDP-glucosa. El microfibril de celulosa crece desde el extremo no reductor mediante un proceso complejo de síntesis de celulosa y pronto se empaqueta en una estructura cristalina insoluble en la pared celular en crecimiento (Zeng *et al.*, 2017). Es una matriz de cadenas de β -1,4-glucano organizadas en microfibrillas largas y delgadas (aproximadamente 3 nm de ancho), conformando varillas rígidas, prácticamente inextensibles, que forman redes alineadas dentro de laminillas (Figura 2), contribuyen a la rigidez y la anisotropía.

La heterogeneidad y la insolubilidad de las microfibrillas celulósicas pueden representar un desafío para las enzimas celolíticas. Las celulasas son un grupo muy diverso de enzimas que catalizan la hidrólisis de los enlaces glucosídicos β -1,4, que mantienen unida la cadena de celulosa. Según su actividad, pueden clasificarse en endoglucanasas, exoglucanasas y β -glucosidasas (Cerdeja, 2016; Figura 2). Las endoglucanasas hidrolizan el enlace glucosídico β -1,4 que existe entre las moléculas de la glucosa en posiciones aleatorias en la zona interior de la estructura de las cadenas y su acción es más frecuente en las zonas de celulosa amorfa, que forma las microfibrillas. Como resultado de la acción de las endoglucanasas, el polímero se fragmenta en moléculas de menor tamaño, lo que conlleva la generación de nuevos extremos. Las exoglucanasas o celobiohidrolasas actúan sobre los extremos de la celulosa liberando un dímero denominado celobiosa. Finalmente, las β -glucosidasas catalizan la hidrólisis del enlace glucosídico entre las dos moléculas de glucosa que constituyen la celobiosa. Mediante la acción conjunta de estos tres tipos de enzimas se logra la degradación adecuada de la celulosa hasta moléculas simples de glucosa (Devía, 2014). Las endoglucanasas juegan un papel importante al incrementar el rendimiento del jugo de frutas y de la filtración de cerveza, y al mejorar la calidad

nutricional de productos de panadería y de alimentos para ganado (Kaur *et al.*, 2007). Las exoglucanasas son importantes en la degradación de la celulosa cristalina, actúan en los extremos de las fibras de la celulosa y en los sitios creados por la acción de las endoglucanasas generando moléculas de celobiosa y pequeñas cantidades de glucosa. Estas enzimas se inactivan en la carboximetilcelulosa, pero hidrolizan la celulosa amorfa al atacar los residuos de celobiosa (Kaur *et al.*, 2007). Por último, las β -glucosidasas, las cuales hidrolizan las moléculas de celobiosa a monómeros de glucosa; de esta manera, los microorganismos pueden utilizar los productos generados por la hidrólisis de la celulosa como fuente de carbono para el crecimiento (Rabinovich *et al.*, 2002).

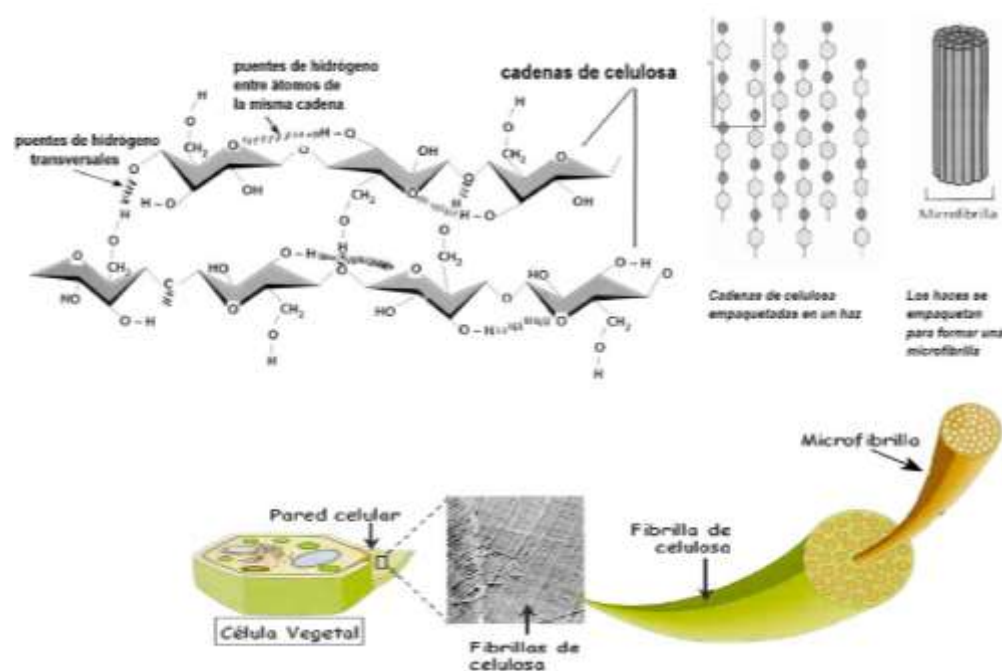


Figura 2. Estructura de la celulosa tomado,
https://www.maderapedia.com/madera/estructura_de_la_celulosa.html#google_vignette

Hemicelulosa

Las hemicelulosas son los segundos polímeros heterogéneos más abundantes que contienen varias subunidades de monosacáridos para formar xilanos, xiloglucano, mananos y glucomanos, y otros (Figura 3). Mediante interacciones covalentes y no covalentes con la celulosa y la lignina, la hemicelulosa contribuye al fortalecimiento de la pared celular. Sin embargo, a diferencia de la celulosa, donde las cadenas de glucano se asocian estrechamente para formar microfibrillas, este polisacárido no celulósico contiene sustituyentes heterogéneos u otros enlaces en su estructura polimérica que lo hace amorfo y en su mayoría solubles en soluciones acuosas. A diferencia de la celulosa y la lignina, las hemicelulosas se pueden solubilizar fácilmente cuando se tratan con diferentes temperaturas y concentraciones de álcali, ácido y otros productos químicos. La hidrólisis con ácido sulfúrico diluido, por ejemplo, ha demostrado ser un proceso favorable para

solubilizar hemicelulosas y convertirlas en azúcares. Además de la hidrólisis química, las enzimas (es decir, las hemicelulasas) también se utilizan para hidrolizar hemicelulosas (Zeng *et al.*, 2017). En las plantas que se consideran maderas blandas (coníferas), están las hemicelulosas tales como galactoglucomananas (20%) y arabino-glucuronoxilanos (10%), en las maderas duras, contienen hemicelulosa, principalmente el xilano, especialmente el O-acetil-4-O-metilglucuronoxilano (80-90%) y acetilglucuronoxilano en aproximadamente 15-30% en peso del peso seco (Maki-Arvela *et al.*, 2011).

Las enzimas que degradan hemicelulosa se nombran según el sustrato sobre el que actúan; por ejemplo, mananasas degradan mananos, xilanasas degradan xilanos, etc. (Moore, 1998). Dentro de las hemicelulosas, el más abundante es el xilano; por ello, las xilanasas constituyen el grupo enzimático más estudiado entre las hemicelulasas (Spiridon y Popa, 2008). Las D-xilanasas, similares a las celulasas, se componen básicamente de dos grupos de enzimas: endo-1,4- β -D-xilanasas, y 1,4- β -D-xilosidasas, las cuales en muchos casos están presentes en forma de distintas isoenzimas (Tan *et al.*, 1985; Huang *et al.*, 1991). La hidrólisis de estas moléculas complejas requiere la interacción de numerosas enzimas que cortan la cadena principal y también las laterales. La endo-1,4- β -D-xilanasas actúa sobre la cadena de xilano al azar, disminuyendo el grado de polimerización con liberación de xilooligosacáridos, xilobiosa y xilosa. La 1,4- β -D-xilosidasa interviene luego de la endoxilanasas, actuando sobre los xilooligosacáridos (a partir de los extremos no reductores) o sobre la xilobiosa, dando como producto xilosa (Bajpai, 1997).

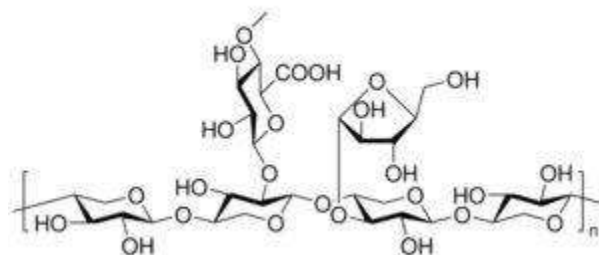


Figura 3. Estructura de la hemicelulosa, fuente, <https://www.lifeder.com/hemicelulosa/>

Lignina

La lignina protege la celulosa y es estructuralmente heterogénea, con un arreglo irregular de polímeros de fenilpropano unidos por polimerización oxidativa. El polímero se localiza principalmente en la pared celular secundaria y mantiene unidas las fibras celulósicas. La lignina en las plantas de tipo leñoso ayuda agregando fuerza y estructura a las paredes celulares, controlando el flujo de fluidos y protegiendo contra el estrés bioquímico al inhibir la degradación enzimática de otros componentes (Figura 4). Su estructura química consiste en unidades de fenilpropano, que se originan a partir de tres precursores de alcoholes aromáticos (monolignoles), alcoholes *p*-coumaril, coniferil y sinapil, las subestructuras fenólicas que se originan a partir de estos monolignoles se denominan fracciones *p*-hidroxifenilo (H, del alcohol cumarílico), guaiacilo (G, del alcohol coniferílico) y siringilo (S, del alcohol sinapílico). La lignina

es reconocida como un polímero altamente ramificado con una variedad de grupos funcionales: hidroxilos alifáticos y fenólicos, grupos carboxílicos, carbonilo y metoxilo. La composición y el contenido de la lignina están influenciados por la especie y también por el medio ambiente. Las ligninas de madera dura consisten en unidades G y S y trazas de unidades H, mientras que las ligninas de madera blanda comprenden principalmente unidades G, con bajos niveles de unidades H. Las ligninas de los pastos (monocotiledóneas) incorporan unidades G y S a niveles comparables y más unidades H que dicotiledóneas (Laurichesse *et al.*, 2014). La lignina no es digerible por los animales, pero sí por hongos y bacterias secretoras de enzimas que pueden degradar el polímero (Revollo *et al.*, 2012). Dada la heterogeneidad de la molécula de lignina y su gran tamaño, los sistemas enzimáticos involucrados en su degradación deben ser extracelulares y no específicos. La acción de las enzimas resulta en una despolimerización parcial, las roturas ocurren sin especificidad. Son mecanismos oxidativos que producen radicales libres, que pueden reaccionar entre sí volviendo a polimerizarse (Maki-Arvela *et al.*, 2011). Existe un equilibrio entre polimerización y despolimerización. Se comienza con reacciones no específicas que después pueden seguir cualquier camino sin subsiguiente control por parte de las enzimas. Hasta el momento se han descrito tres enzimas ligninolíticas que se hallan distribuidas ampliamente entre los hongos causantes de pudrición blanca: la lignin-peroxidasa (LiP), la manganeso-peroxidasa (MnP) y la lacasa. Otras enzimas ligninolíticas como la peroxidasa versátil (PV) o la peroxidasa manganeso independiente se mencionan formando parte del sistema ligninolítico de algunos basidiomycetes.

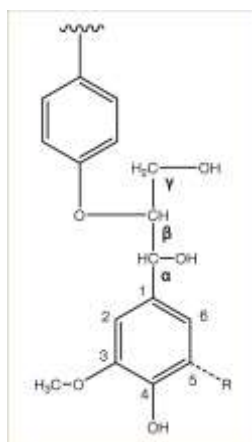


Figura 4. Estructura de la lignina

https://www.maderapedia.com/madera/estructura_de_la_celulosa.html#google_vignette

Los residuos agroforestales constituyen un componente lignocelulósico importante. Esta forma de desperdicio incluye celulosa, hemicelulosas y lignina, que suelen denominarse "materiales lignocelulósicos" (Zhou *et al.*, 2016). Generalmente, la celulosa es el componente más abundante, seguido de la hemicelulosa y la lignina. La composición de celulosa, hemicelulosa y lignina en residuos agroindustriales depende de la especie, el tejido y la madurez de la planta (Heinze, 2016; Jedvert y Heinze, 2017). En la tabla 1 se muestran

algunos residuos, de los cuales algunos pueden ser utilizados para hacer crecer el micelio de hongos y obtener materiales aligerados para la construcción y, de esta manera, reutilizar esos subproductos.

Tabla 1 Composición química de los residuos agroforestales

Residuos agroforestales	Composición				Referencia
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Proporción C/N	
Orujo de manzana	43	24	20	48/1	Nawirska <i>et al.</i> , 2005
Paja de plátano	53	29	15	40/1	Silveira <i>et al.</i> , 2008
Hojas de plátano	55	20	25	38/1	Tarrés <i>et al.</i> , 2017
Paja de cebada	23-33	21-22	14-19	82-120 / 1	Nigam <i>et al.</i> , 2009; Adapa <i>et al.</i> , 2011
Paja de canola	22	17	18	33-45 / 1	Adapa <i>et al.</i> , 2011
Cáscara de coco	24-43	3-12	25-45	75-186 / 1	Carrijo <i>et al.</i> , 2002; Graminha <i>et al.</i> , 2008
Cascarilla de café	43	7	9	40/1	Gouvea <i>et al.</i> , 2009
Salvado de maíz	34	39	49	ND	Graminha <i>et al.</i> , 2008
Mazorca de maíz	35-45	35-44	11-15	50-123 / 1	Graminha <i>et al.</i> , 2008
Tallo de maíz	34-61	19-24	7-9	57-80 / 1	Gouvea <i>et al.</i> , 2009
Paja de maíz	30	25	8	50/1	Rofiqah <i>et al.</i> , 2019; Pointner <i>et al.</i> , 2014
Tallo de algodón	58	14	22	70-78 / 1	Graminha <i>et al.</i> , 2008; El-Tayeb <i>et al.</i> , 2012
Hierbas	25-41	25-50	7-30	16-42 / 1	Graminha <i>Et al.</i> , 2008
Maderas duras	40-55	24-40	18-25	150-450 / 1	Nigam <i>et al.</i> , 2009
Salvado de avena	49	25	18	12/1	Sun <i>et al.</i> , 2002
Paja de avena	25-40	21-27	17-18	48-83 / 1	Sun <i>et al.</i> , 2002
Salvado de arroz	35	25	17	12-48 / 1	Graminha <i>Et al.</i> , 2008
Cáscara de arroz	35	25	20	30-80 / 1	Nigam <i>et al.</i> , 2009; Adapa <i>et al.</i> , 2011
Paja de arroz	32-39	23-24	18-36	35-72 / 1	Graminha <i>Et al.</i> , 2008
Paja de centeno	38	31	19	82/1	Abbas <i>et al.</i> , 2010
Serrín de haya	41	33	22	100-331 / 1	El-Tayeb <i>et al.</i> , 2012; Limayema <i>et al.</i> , 2012
Aserrín de abedul	40	36	20	700/1	Nigam <i>et al.</i> , 2009
Serrín de roble	25-38	18-29	18-25	162-200 / 1	Buzala <i>et al.</i> , 2015
Serrín de pino	42	25	28	724-1070 / 1	Buzala <i>et al.</i> , 2015
Serrín de álamo	44	32	21	46-71 / 1	Abbas <i>et al.</i> , 2010; Bazula <i>et al.</i> , 2015
Aserrín de caucho	38	25	15	177/1	Buzula <i>et al.</i> , 2015
Serrín de abeto	42	26	28	763-1000 / 1	Buzula <i>et al.</i> , 2015

Madera blanda	45-50	25-35	25-35	310-520 / 1	Chuayplod <i>et al.</i> , 2018
Tallo de sorgo	17	25	11	45/1	Buzula <i>et al.</i> , 2015
Paja de sorgo	36	26	8	20-46 / 1	Sun <i>et al.</i> , 2002
Hoja de piña	36	27	23	49/1	Graminha <i>Et al.</i> , 2008
Cáscara de piña	22	75	3	77/1	Da Silva Neta <i>et al.</i> , 2019; Dong <i>et al.</i> , 2019
Cáscara de patata	35	5	4	25/1	Cardoso <i>et al.</i> , 2013
Piel de naranja	9-14	6-11	1-2	102/1	Dos Santos <i>et al.</i> , 2013
Cáscara de limón	12	5	2	ND	Choonut <i>et al.</i> , 2014
Orujo de tomate	9	5	5	ND	Taher <i>et al.</i> , 2017; Rivas <i>et al.</i> , 2008
Cáscara de plátano	12	10	3	18-29/1	Rivas <i>et al.</i> , 2008
Tallo de soja	35	25	20	20-40 / 1	Ververis <i>et al.</i> , 2007
Bagazo de caña de Azúcar	30-45	26-36	11-23	50/1	Nigam <i>et al.</i> , 2009
Paja de caña de Azúcar	36-41	21-31	16-26	70-120 / 1	Szymánska-Chargot <i>et al.</i> , 2017
Tallo de girasol	42	30	13	97/1	Nigam <i>et al.</i> , 2009; El-Tayeb <i>et al.</i> , 2012; Motte <i>et al.</i> , 2013
Fruta vacía de palma de aceite manojó	45-51	28-29	12-15	77/1	Zhao <i>et al.</i> , 2009; Moutta <i>et al.</i> , 2012
Jacinto de agua	21	34	7	11/1	Szymánska-Chargot <i>et al.</i> , 2017;
Salvado de trigo	30	50	15	19/1	Saad <i>et al.</i> , 2008; Ariffin <i>et al.</i> , 2008
Paja de trigo	27-38	21-29	18-21	50-80 / 1	
Cáscara de nuez	36	28	43	175/1	Graminha <i>et al.</i> , 2008
Cáscara de Almendra	38	29	30	61/1	Knob <i>et al.</i> , 2014
Cáscara de castaño	21	16	36	8/1	Knob <i>et al.</i> , 2014; Zainudin <i>et al.</i> , 2012
Cáscara de pistacho	43	25	16	43/1	Tufail <i>et al.</i> , 2018
Cáscara de avellana	55	34	35	50-58 / 1	Li <i>et al.</i> , 2018
Torta de aceite de Oliva	31	21	26	14-17 / 1	Li <i>et al.</i> , 2018
Torta de palma Aceitera	64	15	5	ND	Li <i>et al.</i> , 2018
Torta de aceite de Girasol	25	12	8	ND	Xinyuan <i>et al.</i> , 2015
Bagazo de caña de Azúcar	30.2	56.7	13.4	ND	El-Tayeb <i>et al.</i> , 2012 y Nigam <i>et al.</i> , 2009
Residuos de remolacha azucarera	26.3	18.5	2.5	ND	Rodríguez <i>et al.</i> , 2008

Cáscara de semillas de algodón	31	20	18	59-67 / 1	Gatani <i>et al.</i> , 2010
Cascarilla de mani	35-45	23-30	27-33	N/D	Gatani <i>et al.</i> , 2010

Fuente Ocampo 2022

1.3 Principales cultivos en México

El maíz

Es el principal cultivo en México; representa el 18% del valor de la producción del sector agrícola (88 mil mdp en 2012 y 78 mil mdp en 2013) y concentra el 33% de la superficie sembrada en el territorio nacional (7.5 millones de hectáreas). En cuanto al volumen de producción de maíz, para el 2012 alcanzó 22.1 millones de toneladas y se estimó que para el 2013 se alcanzarían 22.7 millones. Mientras que la superficie temporal representa el 74% de la superficie, aporta únicamente el 40% del valor generado (SAGARPA, 2015). Datos más recientes mencionan que la cosecha de maíz blanco se calcula en 21.9 millones de t, es decir, un volumen 10.1% menor a tasa anual, mientras que la de maíz amarillo será de 3.2 millones. Mayor en 0.7% con respecto a 2023, las cifras las cita la publicación *Panorama Agroalimentario Maíz 2024*, elaborada por Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). (Perea, 2024). Todas las entidades del país presentan algún nivel de producción de maíz; sin embargo, siete entidades concentran el 64.5% del volumen de producción nacional. Sinaloa es el principal productor al concentrar el 16.5% del total. Le siguen en importancia Jalisco, Michoacán, Estado de México, Chiapas, Guerrero y Veracruz.

Frijol

El frijol es un producto de gran importancia en la dieta nacional. Participa con el 2% del valor de la producción agrícola (cerca de 14 mil mdp) y concentra entre 1.7 y 1.8 millones de hectáreas, lo que representa el 7.4% de la superficie sembrada en México. Existen más de 70 variedades de frijol, entre ellas negros, amarillos, blancos, morados, bayos, pintos y moteados. En 2012, la producción de esta leguminosa alcanzó 1.1 millones de toneladas; en 2013 fue de 1.3 millones y para 2014 se estima la misma producción que en 2013. El rendimiento promedio de esta es de 700 kg por hectárea (SAGARPA, 2015).

Sorgo

El sorgo es el grano forrajero de mayor presencia en nuestro país, ya que es el principal ingrediente en la formulación de alimentos balanceados para el sector pecuario. La superficie dedicada a este cultivo alcanzó un promedio de 2 millones de hectáreas en los últimos diez años, con un volumen cercano a los 6.5 millones de toneladas anuales. El

rendimiento alcanzó en los últimos cinco años entre 3.7 y 3.9 ton/ha.

Café

El café es el 7° cultivo agrícola con mayor superficie sembrada en México y ocupa el 12° lugar como generador de valor. En 2013 alcanzó 737 mil hectáreas con un valor de casi 6 mil millones de pesos, lo que representa una disminución del 30% respecto a 2012, debido al bajo precio internacional. El café se cultiva en quince estados de la República, concentrándose el 91.4% del volumen y el 93.3% del valor en cuatro de ellos: Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca (SAGARPA, 2015). Las entidades restantes, Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Jalisco, Colima, Estado de México, Tabasco, Morelos, Querétaro y Michoacán, concentran el 8.6 % del volumen y el 6.7% del valor.

Trigo

El cultivo de trigo en México alcanza un valor de 12 mil mdp, cifra que lo coloca como el 10° cultivo más importante, al representar el 2.9% del valor de la producción agrícola. Después de la crisis alimentaria mundial vivida entre 2007 y 2008, tanto los precios como la producción se encuentran en niveles más bajos en el país que durante dicha crisis. Entre 2011 y 2013, la superficie promedio dedicada al cereal alcanzó 660 mil hectáreas, con un volumen de producción de 3.4 millones de toneladas anuales (SAGARPA, 2015).

1.3.1 Producción agrícola en el estado de Morelos

Las actividades agrícolas en Morelos han sido relevantes a lo largo de su historia, tanto a nivel local como nacional. En el Estado ha existido una diferenciación espacial histórica, como resultado de las diversas situaciones sociopolíticas y del papel que han desempeñado los agentes sociales en la conformación y la evolución de sus regiones. Así, a distintos momentos histórico-sociales, corresponden diferentes manifestaciones territoriales en cuanto al uso del espacio. En el año agrícola 2011 se sembraron 134,072 hectáreas, correspondiendo 89,894 hectáreas a cultivos de temporal y 44,177 hectáreas a cultivos de riego. De las 134,072 hectáreas sembradas, 35,208 correspondían a cultivos perennes y 98,863 a cultivos cíclicos. Y de las 134,072 hectáreas sembradas (Vargas y Pérez 2018) (Tabla 2). El clima cálido subhúmedo del estado favorece los cultivos de caña de azúcar, arroz, sorgo, maíz, jitomate, algodón, cacahuete, cebolla y frijol.

Tabla 2 Principales cultivos y producción

Cultivo	Superficie Sembrada	Producción (Ton)	Rendimiento (Ha)	PMR (Ton/Ha)	Valor Producción (\$/Ton) (Miles de Pesos)
Aguacate	3,319.40	27,715.53	9.13	10,640.09	294,895.7

Arroz Palay	1,501.00	15,095.84	10.06	4,985.78	75,264.53
Avena Forrajera	2,124.00	70,034.20	32.97	206.07	14,431.81
Cacahuete	1,004.50	1,788.17	1.78	9,349.74	16,718.92
Calabacita	1,150.00	17,467.66	15.19	5,879.35	102,698.54
Caña De Azúcar	18,471.60	1,959,194.60	117.14	649.99	1,273,466.49
Cebolla	2,421.00	69,524.25	28.72	4,104.28	285,347.21
Durazno	2,057.50	18,542.38	9.9	8,480.56	157,249.72
Ejote	2,219.00	23,018.17	10.37	6,094.63	140,287.22
Elote	7,204.00	85,630.00	11.89	3,097.88	265,271.77
Frijol	1,925.00	2,052.13	1.07	13,793.28	28,305.60
Guayaba	23.4	164.17	7.67	3,806.21	624.87
Higo	851	2,391.10	6.33	8,462.05	20,233.61
Jícama	606	19,808.26	32.69	3,656.61	72,431.08
Limón	434.9	3,282.91	9.01	6,818.40	22,384.19
Maíz De Grano	28,580.00	89,884.61	3.14	3,625.11	325,841.47
Mango	434.5	7,392.60	17.31	2,931.62	21,672.30
Naranja	327.8	3,827.82	24.41	3,110.95	11,908.17
Noche buena	95	5,793,900.00	60,988.42	27.67	160,340.60
Nopales	3,257.00	269,555.00	82.97	1,312.60	353,817.45
Pepino	1,397.50	24,596.86	17.6	4,732.32	116,400.11
Pera	800	3,992.80	6.7	9,359.03	37,368.73
Rosa (gruesa)	398.6	491,537.00	1,305.20	149.55	73,508.58
Sábila	86	3,668.91	47.65	3,130.33	11,484.88
Sorgo De Grano	41,134.00	180,035.35	4.38	2,559.11	460,730.80
Jitomate	2,176.00	68,152.40	31.32	7,976.50	543,617.33
Tomate Verde	1,669.00	22,827.15	13.68	4,665.33	106,496.26
Otros	7,359				282,546.26
Total	134,072.20				5,441,173.47

PMR= Precio medio rural

Fuente: SIAP

1.4 Contaminación ambiental por residuos agroforestales

Se entiende por contaminación el cambio en la calidad física, química, radiológica o biológica de un recurso (aire, tierra o agua) causado por el hombre o por actividades humanas, y que resulta perjudicial para la existencia, el fin o el uso potencial del recurso (Rodríguez, 1999). La contaminación ambiental puede clasificarse por tipo, origen o naturaleza química de los contaminantes; por sus efectos o por el proceso que la causa. Este último delimita el límite entre la contaminación de origen natural y la antropogénica. El origen antropogénico se refiere principalmente al resultado de la contaminación causada por las actividades humanas, como el desarrollo agroindustrial (Gómez *et al.*, 2016). La generación de residuos agroindustriales sólidos,

líquidos o gaseosos constituye focos potenciales de contaminación y riesgo para la salud (Guerrero y Valenzuela, 2011), si no son dispuestos o procesados apropiadamente. De acuerdo con Barragán et al. (2008), algunos de estos residuos son quemados o vertidos en rellenos sanitarios, lo que produce una gran liberación de dióxido de carbono (CO₂), contaminación de cursos de agua, molestias por olores, proliferación de ratas, moscas y otros insectos, entre otros efectos negativos.

La generación de estos residuos puede ocurrir durante los procesos relacionados con el cultivo u obtención de materia prima o en las actividades de procesamiento de esta. Si no se reciclan o se disponen adecuadamente, tales residuos producen diversos impactos ambientales adversos, lo que, según Guerrero y Valenzuela (2011), genera contaminación principalmente en el suelo y el agua, tanto en fuentes superficiales como subterráneas. Adicionalmente, en menor proporción, se ocasiona contaminación de la atmósfera por emisiones provenientes de la operación agroindustrial, que pueden incluir material particulado, óxido de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y otros compuestos orgánicos. La industria de la caña de azúcar y sus derivados, además de generar vertido de residuos materiales y energéticos, participa en la emisión de residuos a la atmósfera producto de la combustión del bagazo de caña (5.5 kg de cenizas volátiles por tonelada de caña procesada, aproximadamente), los combustibles empleados en el proceso y los vapores de fermentación y de las unidades de sulfatación (para el refinado del azúcar) (Restrepo, 2006; González et al., 2012), lo que aumenta la contaminación atmosférica. Con base en lo expuesto previamente, los residuos y subproductos de la agroindustria, al disponerse sin tratamiento previo ni control alguno, alteran las condiciones del ambiente y provocan un desequilibrio natural que va afectando la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida de quienes habitan la zona.

1.5 Usos que tienen los residuos agroforestales

Importancia de los residuos de cosecha: en los últimos años, se ha incrementado la producción de residuos agrícolas y se estima un incremento probable en la demanda (Wortmann *et al.*, 2012). Estas tendencias se explican por el uso de los esquilmos agrícolas en diversas actividades, como los provenientes de cereales, frutales, hortalizas y ornamentales, entre otros. Otros refieren a la producción bajo agricultura protegida o a cielo abierto y/o al tipo de producción: orgánica o convencional. Los residuos de cosecha se utilizan principalmente como forraje en la alimentación de ganado, mientras que la ganadería es la principal actividad de uso del suelo en el país, ya que se desarrolla en una superficie de 110 millones de hectáreas (56%) y genera 45% del valor monetario del sector agropecuario de México (Gómez *et al.*, 2008; SIACON-SIAP, 2011 y SIACON, 2024). La producción pecuaria se realiza en diversos ambientes agroecológicos, tecnológicos y de sistemas de manejo, así como con objetivos de producción; en general, los sistemas de

producción ganadera se clasifican en tecnificados, semitecnificados, tradicionales y de traspatio. Macedo (2000) señala que las pajas de cereales son el principal alimento de los rumiantes. En México, el rastrojo de maíz es la base alimentaria para el ganado, sobre todo en épocas de escasez de forraje verde, por lo que el 85% del rastrojo de maíz producido en el país se utiliza para la alimentación de animales y, de este, el 32% se consume en pastoreo. Al respecto, Fuentes *et al.* (2001) señalan que en México es común el uso del rastrojo como alimento para rumiantes; no obstante, su escaso valor nutrimental, baja digestibilidad y alto contenido de fibra, debido a su estado de lignificación, aun cuando existen métodos para incrementar su eficiencia en la alimentación ganadera.

El adobe es uno de los materiales de construcción más antiguos y de uso más difundido, la palabra adobe viene desde Egipto, aparece en los jeroglíficos con los símbolos tsh-b-t los árabes utilizaban esta palabra como (tuba: ladrillo) o tub singular, al igual que muchas palabras empiezan por -al esta palabra paso del árabe al castellano durante 700 años de ocupación mora de España como al-tub, de ahí se transformó a attub y posterior mente a adobe, este material se define como un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos y que aparte se le ha incorporado otros materiales como el asfalto, cemento, cal, etc. con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad. Dentro de los componentes del adobe está la arcilla, el componente más importante del suelo; aporta resistencia en estado seco y provoca la contracción por secado del suelo. Control de la microfisuración del mortero de barro debido a la contracción por secado: necesario para obtener una albañilería de adobe resistente. Aditivos: paja y, en una menor proporción, arena gruesa son aditivos que controlan la microfisuración del mortero durante la contracción por secado y, por ende, mejoran la resistencia de la albañilería de adobe (Moraga y Cruz, 2011).

Construcción: influye en la calidad de la mano de obra, ya que desempeña un papel importante en la obtención de una albañilería de adobe resistente, lo que da como resultado variaciones globales de resistencia del 100%. Y, como propiedades físicas importantes, se establece el •Color: es de color tierra. • Estado: sólido y seco. • Resistencia a la compresión: resistencia no menos 100kg/cm². Propiedades como plasticidad, debido a la arcilla. Componentes: 20% de barro o arcilla, 80% de flora vegetal: zacate de arroz, flora de montaña, hoja de pino o estiércol de caballo (Moraga y Cruz, 2011).

En cuanto a los usos para los residuos, tienen una amplia gama. Mera-Aguas y Simbaña (2016) describen el uso del material como combustible en pellet; como sustrato para cultivo de hongo (Rosero-Delgado *et al.*, 2016). En Ecuador, a los residuos agrícolas y agroindustriales se los utiliza en el cultivo y producción de hongos comestibles y medicinales (Piña Guzmán *et al.*, 2016). Tamayo Gutiérrez (2017) sugiere el uso de los residuos de plátano, coco y arroz para elaborar empaques secundarios. Para la obtención de compuestos volátiles en plátano y rosas, Ojeda (2018) propone el diseño de una planta industrial con este fin; en este sentido, Hassan (2019)

defiende la puesta a punto de biorrefinerías para aprovechar al máximo el estudio de los residuos como fuente de compuestos. También se han estudiado y reportado los residuos de la piña y el bambú, esto para reforzar polímeros (Fajardo *et al.*, 2013).

Los residuos lignocelulósicos también han sido utilizados como soportes enzimáticos para la biocatálisis (Vinueza *et al.*, 2013). Sánchez (2018) identificó la alta capacidad de adsorción de residuos lignocelulósicos de metales pesados en agua. Tapia (2017) reporta la implementación de cáscaras y huesos de frutas para la remoción de iones de cobre, así como el bagazo de caña y el pseudotallo de plátano utilizados para la biosorción de Pb (II) (Tejada Tovar *et al.*, 2015). Este tipo de biomasa también se utiliza para el tratamiento de aguas residuales, formando lodos estables y alto contenido de materia seca (Biller *et al.*, 2018).

Uso de los residuos en la elaboración de biomateriales

El biomaterial puede definirse como “un material funcional que ha sido diseñado y fabricado a partir de una materia prima biológica, como plantas, algas, bacterias, hongos, asociaciones simbióticas mutualistas de microorganismos o biopolímeros microbianos”. Dichos biomateriales son vistos como producto final; estos pueden o no estar mezclados con materiales naturales, compuestos y/o desechos orgánicos, lo que asegura su susceptibilidad a ser degradados y volver a su estado original en la naturaleza. Estos, deben garantizar que todos sus procesos productivos, a escalas y en su cadena de valor, no deban comprometer o perjudicar al medio ambiente, un biomaterial debe cumplir con ciertos, criterios tales como poseer una densidad y peso adecuados, deben ser inertes, es necesario que disponga de una resistencia mecánica apropiada, ser fácil de fabricar y de producirse a gran escala (Zeller y Zocher 2012; McIntyre *et al.*, 2018).

Sánchez *et al.* (2024) describen la obtención de un material compuesto totalmente biobasado mediante el uso de una resina natural (Mopa-Mopa) extraída de las yemas de la especie *Elaeagia pastoensis*, siguiendo procesos experimentales convencionales implementados en la investigación (destilación, molienda y secado), reforzado con fibras provenientes de residuos agrícolas (raquis de plátano). Este material biocompuesto pudo ser procesado mediante procesos de transformación convencionales, como el moldeo por compresión en caliente, y alcanzó una resistencia mecánica a la tracción cercana a 20 MPa, lo cual es un valor significativo, dado que no contiene componentes sintéticos y se basa parcialmente en residuos.

Los sustratos lignocelulósicos son ideales para el desarrollo de biomateriales a base de micelio fúngico (Montoya *et al.*, 2014; Elsacker *et al.*, 2019). Los materiales compuestos a base de micelio resultan del crecimiento micelial vegetativo y/o aéreo en materiales orgánicos como desechos agrícolas (Appels *et al.*, 2019). Entre los sustratos más empleados se encuentran los residuos agroindustriales y forestales, así como la biomasa residual de bosques primarios y secundarios. El micelio de los hongos ha llamado la atención por su capacidad de reciclaje de los residuos, ya que une la materia orgánica a través de una red de hifas, un proceso biológico que puede ser

explotado para producir materiales de bajo valor, como embalajes, o bien materiales compuestos de mayor valor a partir de residuos agrícolas que son un problema por su gran volumen (Appels *et al.*, 2019).

Capítulo II. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, el aprovechamiento de los residuos agroindustriales y forestales es importante debido al alto consumo y al desarrollo de la industria, que conllevan la generación de cientos de toneladas de residuos. Estos son el resultado del desarrollo de las actividades productivas e industriales que utilizan cultivos agrícolas. Dichos residuos se consideran subproductos y carecen de importancia económica, por lo que se verten al medio ambiente. Se han desarrollado métodos para su aprovechamiento, pero siguen constituyendo un gran problema no solo ambiental, debido a los grandes volúmenes que exceden la capacidad de biodegradación natural, sino también porque se acumulan en el medio ambiente, lo que puede constituir un riesgo para el equilibrio del ecosistema. Por esta razón, es importante la utilización de estos residuos en procesos productivos que permitan emplear estos materiales con beneficios económicos y ambientales, haciendo concientización para disminuir el impacto ecológico en el ambiente. Recientemente, varias empresas se han centrado en la obtención de biomateriales con atribuciones en el desempeño estructural y con propiedades mecánicas, en los cuales implementan la utilización de residuos lignocelulósicos como materia prima para estos compuestos, con un enfoque de aprovechamiento hacia su recuperación energética, considerando su alto contenido lignocelulósico. El propósito de esta investigación es realizar una revisión bibliográfica sobre la elaboración de micomateriales como alternativa a materiales ligeros y acabados en la construcción. Y resaltar cuáles son los de mayor frecuencia para desarrollar aglomerados, paneles y bloques convencionales, pero con menor impacto ambiental.

Capítulo III. OBJETIVOS

General:

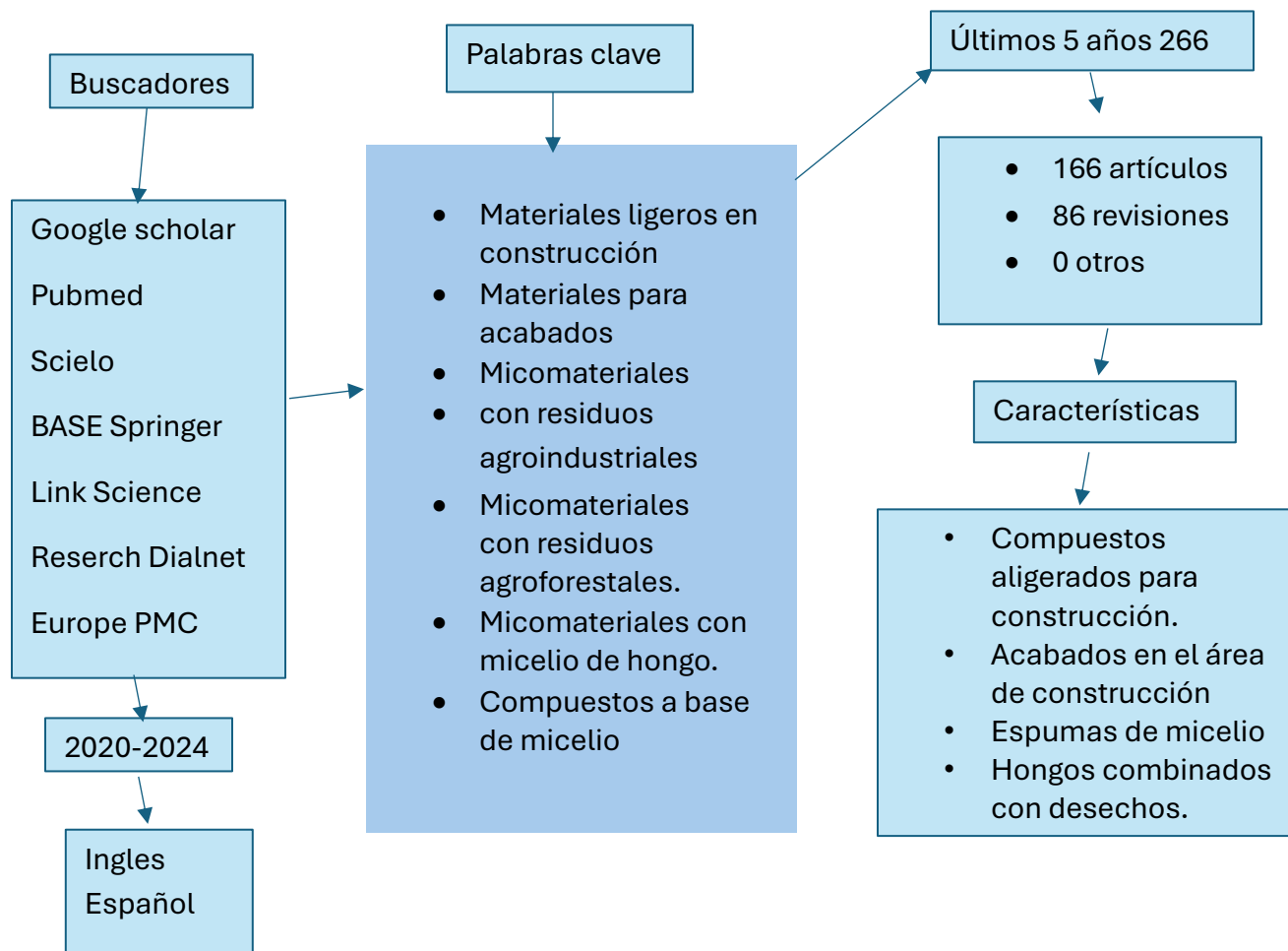
Analizar el estado del arte de los micomateriales aligerados y acabados en el sector de la construcción.

Específicos:

- Identificar los materiales aligerados y acabados utilizados en la construcción
- Revisar los micomateriales que sean alternativa de utilizarse como materiales aligerados y acabados en el área de construcción
- Determinar los hongos empleados en la elaboración de micomateriales.

Capítulo IV. PROPUESTA A IMPLEMENTAR

En este trabajo se realizará una revisión bibliográfica de la alternativa de micomateriales aligerados y acabados en el área de construcción, en la que se hará una búsqueda de artículos y documentos más relevantes relacionados con el tema de estudio. En la figura 5 se muestra el diagrama general del proyecto.



Capítulo V. PRINCIPALES HALLAZGOS

El incremento de la población impulsó la industria agrícola y forestal, lo que ocasionó un aumento en la cantidad de desechos. Anteriormente, los residuos orgánicos provenientes de la agroindustria no representaban un problema, por ser una población pequeña y por ser las áreas de cubierta vegetal extensas (Population Reference Bureau-PRB, 2013; Crossette, 2011; Bogner *et al.*, 2007). En la actualidad se está convirtiendo en una problemática con el desarrollo de la sociedad moderna, debido a que la acumulación de residuos va aumentando de volumen y origina cada vez más problemas para el ambiente, provocando alteraciones perjudiciales que afectan el desarrollo de los seres vivos (Cuadros, 2008). Se considera que el problema total de los residuos sólidos generados se presenta en las zonas urbanas de aprox. 1.3 millones de ton/año, con una tasa per cápita de 1.20 kg/día, siendo el 46% residuos sólidos orgánicos. En algunos sectores, como el agrícola y el forestal, en Iberoamérica se plantean alternativas de manejo de desechos basadas en la metodología de las 3R, que promueve reducir, reutilizar y reciclar. Esto, con el fin de mejorar su gestión y crear prácticas de “producción más limpia”, con la intención de establecer procesos sostenibles que favorezcan el aprovechamiento y mejoren el rendimiento de la producción, especialmente la agrícola.

Todos estos factores de sobrepoblación, actividades antrópicas y consumismo han contribuido a acumular grandes cantidades de desechos agroforestales, lo que plantea la necesidad de gestionar y desarrollar tecnologías adecuadas para su reciclaje. No obstante, mientras se continúen las quemas no controladas y la disposición en tiraderos a cielo abierto, seguirán presentándose problemas de contaminación, enfermedades y vectores (Tello *et al.*, 2011). Debido a que estos no cuentan con una gestión y/o una disposición adecuadas, generan efectos nocivos. Por ese motivo, se busca el aprovechamiento biotecnológico y energético de los residuos agroindustriales, considerando el impacto ambiental que generan debido a las malas prácticas, con el fin de contribuir al desarrollo sostenible del país (Brizuela *et al.*, 2016).

Los materiales pueden clasificarse de diferentes formas; una de ellas es la clasificación tradicional: metales, polímeros, cerámicos e híbridos. Sin embargo, según clasificaciones más recientes, los materiales se clasifican en seis grupos, tal como se muestra en la Figura 6; los materiales de cada grupo comparten características: propiedades similares, procesos de fabricación afines e incluso aplicaciones similares (Zhang, 2004).

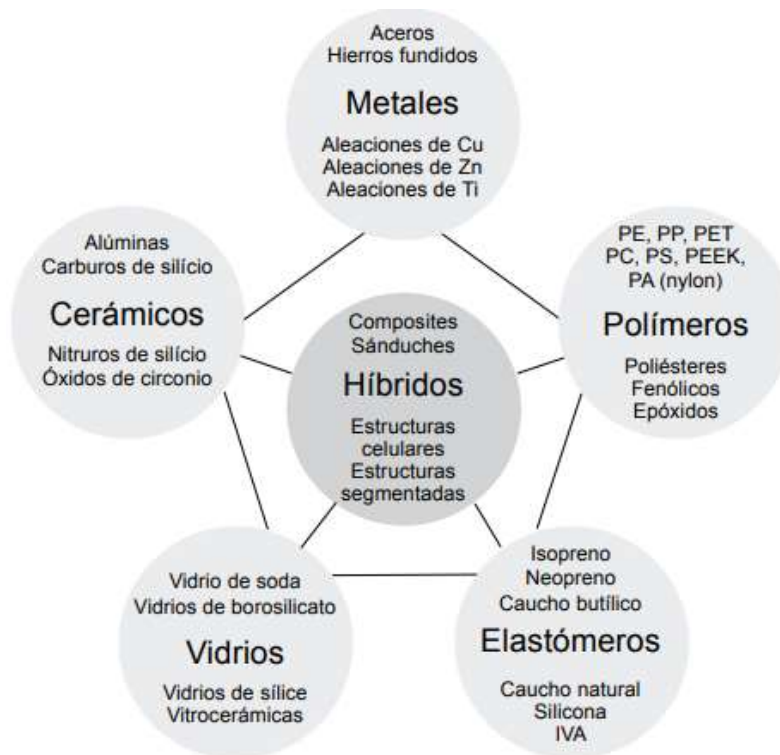


Figura 6 Clasificación de los materiales (Ashby, 2011)

Las superaleaciones, cerámicas técnicas o avanzadas, polímeros especiales, materiales compuestos, materiales biodegradables, biomateriales y nanomateriales constituyen el grupo de materiales que hoy se conoce como “nuevos materiales”. Estos resultan de un estricto control de su microestructura o de la combinación de diversos materiales. Además, exigen un perfeccionamiento acelerado de los métodos de análisis, tanto macroscópicos como microscópicos, de las propiedades mecánicas, físicas, químicas y tecnológicas, así como de los procedimientos para alterar o modificar dichas propiedades. De igual forma, durante el desarrollo de los nuevos materiales, la tendencia actual es reducir el costo de fabricación, disminuir el impacto ambiental y prever qué ocurrirá con un producto al término de su vida útil (reciclaje, degradación o eliminación) (Dávila *et al.*, 2011).

Tabla 3 Materiales tradicionales de construcción

Material	Características	Resistencia a la tracción
Metales	Acero: Es el metal más popular en la construcción por su resistencia y durabilidad.	250 MPa y 350 MPa

	Aluminio: Comúnmente utilizado en diversas partes de edificios debido a su ligereza y resistencia a la corrosión. Cobre: Usado principalmente en instalaciones eléctricas y sanitarias por su alta conductividad. Hierro: Utilizado en estructuras y refuerzos, conocido por su resistencia. Titanio: Valorada por su ligereza y durabilidad, aunque es más costosa.	
Polímeros	Polietileno (PE), Consisten en un polímero lineal utilizado en la fabricación de bolas. Polietilenglicol (PEG) Este polímero se utiliza como laxante, como base para la elaboración de cremas y como lubricantes de la piel. La baquelita, fue el primer polímero sintético que existió. Es un material muy duro y resistente a la temperatura que se utiliza para mangos de cuchillos El almidón, biopolímero, pero en este caso los monómeros son moléculas de glucosa El teflón (PTFE), Se encuentra en las superficies antiadherentes de muchas ollas y sartenes, así como en las uniones de tuberías para hacer hermética la unión. La celulosa, es el biopolímero (y polímero) más abundante en la tierra, Forma parte de las paredes celulares de todas las células vegetales. Las proteínas, son heteropolímeros formados por 21 monómeros diferentes, son biopolímeros, ya que provienen de los seres vivos. Poliestireno (PS), polímero aromático que se utiliza mucho para producir espumas elásticas. Policloruro de vinilo (PVC), Este termoplástico es conocido en todo el mundo por su uso en tuberías para el agua. Poliuretano (PU), para la fabricación de espumas, así como para la fabricación de resinas de acabado brillante para	30-50 MPa 60 MPa

	maderas y otros materiales. La silicona es un ejemplo de un polímero inorgánico, su fabricación es para piezas flexibles y resistentes al calor como moldes para horneado. Politereftalato de etileno (PET), este es un plástico transparente e incoloro utilizando en la actualidad para embotellar agua. Polimetilmetacrilato (PMMA), es un polímero sólido muy duro y casi transparente utilizado como sustituto del vidrio.	40-60 MPa 50-70 MPa
Elastómeros	Etileno Propileno Dieno Monómero (EPDM) Resistente a la intemperie, el ozono y el envejecimiento. Ideal para juntas, sellos y membranas impermeabilizantes. Caucho de Nitrilo (NBR), Resistente a los aceites, grasas y combustibles. Se utiliza en juntas, sellos y aplicaciones donde se requiere resistencia a productos químicos. Neopreno (CR), Resistente a la abrasión y a la intemperie. Se utiliza en juntas, sellos y revestimientos protectores. Poliuretano (PU), alta resistencia a la abrasión y al desgarro, con buena resistencia al impacto. Se utiliza en membranas, selladores y revestimientos.	150 MPa
Vidrio	Vidrio de Sodio-Cálcico sílice vidrio común (arena), carbonato de sodio (soda) y cal (óxido de calcio). Otros componentes menores pueden incluir alúmina, óxido de magnesio y colorantes, uso para botellas, ventanas cristalería etc. Vidrio de Borosilicato, por la adición de óxido de boro (B2O3) a la composición del vidrio de sodio-cálcico. Esta adición le confiere propiedades superiores en cuanto a resistencia térmica y química, uso en material de laboratorio, Utensilios de cocina resistentes al horno, Lentes para proyectores y faros de automóviles, Espejos de telescopios. Vidrio de Plomo también conocido como cristal, contiene un alto porcentaje de óxido de plomo (PbO), usos alto índice de refracción Permite tallados y decoraciones elaboradas como Cristalería fina. Vidrio de Sílice Fundida conocido como cuarzo fundido, está	69-165 MPa

	compuesto casi en su totalidad por dióxido de silicio (SiO₂) puro, uso Instrumentación óptica de alta precisión, Ventanas de hornos de alta temperatura, Lámparas UV Vidrio Flotado, vidrio plano de alta calidad para ventanas, espejos y otras aplicaciones arquitectónicas. Vidrio Estirado vidrio fundido se estiraba verticalmente a través de rodillos, uso en marcos de fotos Vidrio Soplado, técnica artesanal y artística que consiste en inflar una burbuja de vidrio fundido con un tubo hueco mientras se moldea. Permite crear formas complejas y huecas.	
Cerámicos	Ladrillos, Se emplean para levantar paredes, tabiques y muros. Tejas, Empleadas para techos, armaduras y cubiertas de edificios. Constan de arcilla en láminas delgadas, amasadas y prensadas. Baldosas, pulimentadas, finas y duras, se utilizan para la pavimentación de aceras, patios y azoteas, así como para recubrimiento de techos, entre otros muchos usos. Azulejos, en una de sus caras están esmaltados, y en la otra llevan mates, para facilitar su adhesividad. Gracias a este material, pueden crearse también murales personalizados. Se trata de un material cerámico muy apreciado para usos ornamentales. Adobes, Bloques de barro, empleados desde tiempos inmemoriales. Se utilizan para obras sencillas y menores, ya que su resistencia es inferior a la del ladrillo. Porcelanas, Loza fina y transparente, a base de una pasta de caolín (un tipo de silicato de alúmina) y feldespato. En construcción, se utiliza para acabados de suelo y como material para baldosas.	0.69-700 MPa
Híbridos	Estructuras mixtas madera-hormigón, los dos materiales trabajan juntos para optimizar las prestaciones estructurales: el hormigón resiste a la compresión y aumenta la capacidad de carga, mientras que la madera proporciona resistencia a la tracción gracias a su capacidad de flexión.	20 MPa - 40 MPa

	Estructura mixta acero-madera, este sistema de construcción optimiza la distribución de cargas, a la vez que mejora la estabilidad estructural y aumenta la sostenibilidad del edificio dando ligereza y resistencia.	235 MPa 400 MPa
	Edificios híbridos de hormigón-acero-madera, el hormigón actúa como núcleo estructural rígido, mientras que el acero y la madera se combinan para garantizar ligereza, aislamiento y resistencia a las solicitaciones sísmicas.	20–40 MPa
	Como ventajas de los híbridos al combinar materiales en específico brindan mayor resistencia estructural, buena eficiencia sísmica, reducción del peso total, la aceleración de los tiempos de construcción y sostenibilidad.	235–400 MPa 10–50 MPa

Fuentes: Cárdenas *et al.*, 2010; Fun HM, A. A. 2022; González, A. 2021;
<https://paduamateriales.com/elastomeros-en-la-construccion/>;
<https://barilocheglass.com.ar/clasificacion-vidrio/> y <https://crearal.com/blog/tipos-de-materiales-ceramicos/>

5.1 Materiales aligerados en la construcción

Los materiales aligerados en la construcción son aquellos que, sin comprometer la resistencia ni la durabilidad de la estructura, reducen su peso total. Esto se logra utilizando materiales de menor densidad o creando sistemas constructivos que evitan el uso de grandes cantidades de concreto o de acero. Es una ventaja para disminuir la carga que soportan la cimentación y las fundaciones, lo cual puede ser crucial en suelos con poca capacidad portante o en edificios de varios niveles. También hay ahorro de costos al reducir la cantidad de material necesario, y los materiales aligerados suelen ser más fáciles de manejar y transportar, lo que agiliza el proceso de construcción. Algunos materiales aligerados, como el poliestireno expandido (EPS), pueden mejorar el aislamiento térmico y acústico de la estructura (Guarín *et al.*, 2017). En los últimos años, la ciencia también se ha enfocado en combinar las propiedades de diferentes tipos de materiales; de esta forma se pueden obtener materiales compuestos con mejores propiedades o con propiedades útiles para aplicaciones específicas.

Los materiales no estructurales son considerados complementos fundamentales, ya que no participan directamente en la resistencia de la estructura a las cargas principales, pero son esenciales para su funcionalidad, estética y protección. Estos materiales contribuyen a la comodidad, eficiencia energética y seguridad de los ocupantes, algunos ejemplos son:

- Yeso: utilizado en revestimientos interiores de paredes y techos para acabados lisos.
- Tablaroca (placa de yeso): paneles usados para tabiques divisorios y revestimientos.

- Aislantes térmicos: materiales como la lana mineral, el poliestireno expandido o la espuma de poliuretano que reducen la transferencia de calor.
- Aislantes acústicos: materiales que absorben o atenúan la transmisión del sonido, como la lana de roca o los paneles acústicos.
- Vidrio: utilizado en ventanas y muros cortina, permitiendo el paso de la luz natural.
- Cerámica: revestimientos para pisos y paredes que ofrecen estética y resistencia al desgaste.
- Pinturas: protegen las superficies de los elementos constructivos, mejorando su durabilidad y estética.

Si bien no son elementos portantes, los materiales no estructurales desempeñan un papel crucial en la seguridad sísmica. Un diseño deficiente o el uso de materiales inadecuados puede provocar daños significativos durante un sismo, incluso si la estructura principal permanece intacta. Por ejemplo, la caída de elementos no estructurales, como falsos techos o revestimientos, puede causar lesiones o dificultar la evacuación (Padua y Padua, 2025).

Los compuestos de madera plástica, los cuales están formados por harina de madera o fibras de madera (que se obtienen de desechos de madera), este tipo de materiales compuestos permite reducir los costos de los productos, tomando en cuenta que la harina o las fibras de madera pueden estar en una proporción de 30 al 70% del compuesto. La fórmula general puede describirse como:

Fibra de Madera_x + Polímero Termoplástico_y + Aditivos_z donde x, y, y z representan las proporciones respectivas de cada componente, si bien estas proporciones pueden variar según la aplicación específica y las propiedades deseadas del material final.

1. Polietileno y Madera: Es uno de los tipos más comunes de WPC y suele utilizarse en aplicaciones exteriores como cubiertas y cercas.
2. Polipropileno y Madera: Este tipo ofrece una mayor resistencia al calor y se emplea en automoción y aplicaciones industriales.
3. PVC y madera: conocidos por su alta resistencia a la humedad, se utilizan principalmente en aplicaciones interiores como suelos y paneles de pared (Connor, 2023).

Los polímeros biodegradables pueden clasificarse en cuatro categorías principales: a) polímeros naturales, como la celulosa, el almidón y las proteínas. B) polímeros naturales modificados: como el acetato de celulosa o los polihidroxialcanoatos. C) materiales compuestos: combinan partículas biodegradables (por ejemplo, el almidón, la celulosa regenerada o gomas naturales) con polímeros sintéticos (mezclas de almidón y poliestireno, o almidón y policaprolactona). D) polímeros sintéticos: como los poliésteres, las poliesteramidas, los poliuretanos, en general, para seleccionar un polímero como material biodegradable se consideran tanto las propiedades

mecánicas requeridas como el tiempo de degradación necesario para la aplicación particular. Las características de estos dos parámetros son: a) propiedades mecánicas: los factores que influyen en las propiedades mecánicas son la selección del monómero y del iniciador de reacción, la presencia de aditivos y las condiciones de procesamiento; b) velocidad de degradación: condiciones del medio: temperatura, humedad y pH (Zapata *et al.*, 2012).

Para los materiales aligerados se menciona la mezcla de yeso prensado con residuos de papel periódico o de papel de imprenta. De la misma manera, hay experiencias con el uso de agregados de partículas de madera para la obtención de paneles de yeso; las perlas de EPS también se han estudiado como cargas aligerantes en hormigón. Con líneas cercanas otros grupos de investigadores han preparado y ensayado materiales de cementos espumados y aligerados con gránulos de EPS (Ospina *et al.*, 2009) En el tema de la fabricación de morteros aligerados se han encontrado trabajos como los de Serrano *et al.* (2012), donde analizan morteros elaborados con cascarilla de arroz, depositando 100 g de cáscara de arroz para aligerar la mezcla, permitiendo la mejora en la trabajabilidad y la colocación en moldes, en cuanto a las densidades presentaron resistencias mecánicas entre 2 y 4 MPa, mencionando que los materiales resultantes no presentan las propiedades mecánicas de los morteros y hormigones tradicionales, sin embargo son interesantes para ser aplicados en componentes de construcción livianos y de uso no portante (aislamientos térmicos/acústicos o rellenos).dejando abierta la posibilidad de analizarlos por sus propiedades aislantes o como por ejemplo algunas investigaciones donde se muestra el resultado de propiedades de mezclas aligeradas, utilizadas en la construcción, con materiales diversos o de tipo alternativo, mostrando materiales muy ligeros (con densidades por debajo de 1,5 g/cm³) y una resistencia de 0.87- 4.13 MPa, o como es el caso de Barros *et al.*, (1981), quienes estudiaron la utilización de fibra de vidrio para concreto reforzado. También se han estudiado sustituciones de materiales para generar mezclas con propiedades mecánicas más apropiadas utilizando arcillas expandidas; tal es el caso de Del Río *et al.* (2005) y Marco *et al.* (2012), con materiales alternativos, basando sus resultados en propiedades mecánicas de los morteros sin fibras de vidrio que presentaron una resistencia de 1.59 Mpa. En cuanto a la mezcla que contiene fibra, obtuvieron 1.87 Mpa, por lo que la adición de fibras de vidrio en estos morteros mejoró la resistencia mecánica. En la Tabla 3 se describe la resistencia de los materiales de construcción.

Tabla 4 Resistencia de los materiales aligerados

Material	Resistencia a la tracción
Poliestireno	27-48 MPa
Polietileno	37 MPa
Polipropileno	25-45 MPa
Cloruro de polivinilo	6-151 MPa
Acrílicos	75-130 MPa
Nylon	46-164 MPa
Policarbonato	85-130 MPa

Epóxicos	6 MPa
Silicones	0.6 MPa
Poliésteres	82-343 MPa
Vidrio	117 MPa
Maple	48 MPa

Fuente: Malaver, J. A. M. 2017; Connor, N. 2021.

Materiales aligerados biodegradables utilizados

Se ha experimentado con sistemas constructivos como ensambles, el ahogado de bambú en concreto, el reforzamiento mediante codales y arcos, estructuras en cúpula, muros inclinados y paneles para muros. En techos se han probado estrillas (soportes) con teja, planchado con láminas, planchado y entrepisos de concreto, hasta mallas ligeras recubiertas con concreto. En el caso de muros, se han aplicado sistemas de estirilla tejida, planchado adherido a un panel, paneles con bambú y malla plafón y caña abierta. Para los acabados, se ha experimentado con cancelería de bambú en puertas y ventanas, detalles de los baños, pinturas a base de tierra, baba de nopal y sellador (Téllez, 2008). Por ejemplo, en el estado de Tamaulipas, precisamente al este de Ciudad Victoria, se encuentran numerosos poblados con viviendas techadas con palma, alternando los materiales de los muros entre tapial y bajareque. Para la colocación de la palma se utiliza un soporte estructural a base de bambú (López, 1993), por lo que el bambú es una excelente alternativa de construcción frente a los sistemas convencionales de construcción (hormigón) debido a su accesibilidad por su bajo costo. Además, señala que es un material fácilmente renovable (Paredes, 2017).

Actualmente, la investigación en fibras orgánicas, ya sea mezclada con cemento, mortero u hormigón, indica una mejora en algunas propiedades mecánicas, tales como resistencia al impacto, la tensión, la flexión y la unión (Lertwattanaruk y Suntijitto, 2015). Además, se logra una reducción del 30-40% en el costo del material compuesto, por lo que se convierte en una alternativa a considerar para su uso como aislante térmico en la construcción de viviendas. Alavez *et al.* (2012) realizaron un estudio que evaluó el posible uso de la fibra de coco como relleno aislante térmico para paneles de ferrocemento de paredes en configuración sándwich de escuelas y techos de casas en Puerto Escondido, Oaxaca, México. Se realizaron mediciones de conductividad térmica para comparar el comportamiento térmico del ferrocemento y de paredes de paneles llenos de fibra de coco con el de otros materiales de construcción típicos de la región. Lertwattanaruk *et al.* (2015) presentan la investigación de las propiedades de los materiales compuestos de mortero de cemento que contienen fibra de coco y fibra de palma de aceite. Se centró principalmente en los efectos de las dos fibras de celulosa sobre las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de los productos, lo que permitió concluir que las mezclas de productos de fibrocemento que contienen hasta 15% de fibras naturales en peso de aglutinante, dadas sus propiedades físicas y mecánicas, resultaron aceptables. Además, la conductividad térmica de las láminas de cemento de fibra natural era un 60% menor que la de la muestra de control.

5.2 Micomateriales a base de micelio

La implementación de los subproductos agroindustriales y forestales, para utilizarlos como sustrato para obtener materiales ligeros junto con el micelio de los hongos, es una alternativa a los materiales tradicionales compuestos de polímeros sintéticos. Sabemos que la construcción ha estado presente en cada etapa de la historia de la humanidad, desde el uso de materiales de origen natural en la Edad de Piedra hasta la actualidad, con el desarrollo de plásticos y otros polímeros sintéticos de origen petroquímico que marcaron tendencia durante el siglo XX. Sin embargo, aunado al crecimiento de la población mundial, la producción masiva de dichos materiales muchas veces está asociada a impactos ambientales negativos, tanto a nivel local como global, implicando con frecuencia la generación de desechos tóxicos que son contaminantes, así como un alto consumo de energía durante la producción, su liberación constante de gases de efecto invernadero a lo largo de toda su cadena de valor, el incremento de la temperatura atmosférica y concomitante cambio global (Cerimi *et al.*, 2019). Entre los desafíos actuales está la búsqueda de nuevas tecnologías que promuevan la innovación, teniendo en cuenta la responsabilidad ambiental en el aprovechamiento de los recursos naturales en procesos productivos de alta huella ecológica (Appels, 2019).

Dentro de las primeras exploraciones en el uso de hongos como biomateriales, estas comenzaron a partir de 1990 con el científico japonés Shigeru Yamanaka, quien investigó el micelio para la producción de papel y materiales de construcción (Yamanaka y Kikuchi 1991). Desde entonces, los compuestos a base de micelio han sido investigados para su comercialización y explorados por su potencial. Para las empresas, la pionera en comercializar el producto a base de micelio fue Ecovative Design, en Nueva York, en el 2007, creada por Eben Mayer y Gavin McIntyre (Illana-Esteban 2014). Por otro lado, la exposición "Fungal Futures" ha impulsado la investigación en Europa sobre compuestos a base de micelio, iniciada por Maurizio Montalti, en colaboración con la Universidad de Utrecht, que ha probado la tecnología del micelio (Jiang *et al.*, 2016).

Las espumas a base de micelio o MBFs (por sus siglas en inglés, mycelium-based foams) son biomateriales de baja densidad, porosos y altamente anisotrópicos, es decir, sus propiedades mecánicas son asimétricas en diferentes direcciones, a excepción de ladrillos y paneles de micelio, no necesitan de un prensado (calor o frío), dentro de los principales sustratos mencionados en la literatura son fibras, cáscaras o pulpas de madera con partículas de 5-25 mm de diámetro. Su incubación se realiza en un microambiente relativamente húmedo 70-78%, temperatura 24-28 °C y sin necesidad de luz, riego o insumos químicos (Meyer, 2020) Una vez que el micelio coloniza el sustrato es sometido a calor y prensado, para inactivar el micelio y reducir la humedad relativa hasta 10-15%, dando como resultados materiales con propiedades similares a las espumas de poliestireno expandido u otras espumas para embalaje, aislamiento térmico o acústico y/o materiales de construcción (Girometta, 2019; Elsacker *et al.*, 2020). Estos materiales presentan buena elasticidad y capacidad de amortiguación adecuadas como materiales de

embalaje. Entre las ventajas de fabricación destacan su baja densidad, resistencia competitiva, propiedades mecánicas de tracción e impacto y estabilidad a altas temperaturas y a la radiación ultravioleta, lo que los vuelve competitivos frente a materiales sintéticos (como las espumas de poliestireno) (Elsacker *et al.*, 2020).

Los compuestos tipo sándwich a base de micelio o MBSCs (por sus siglas en inglés mycelium-based sandwich composites) consisten generalmente en un núcleo de composición recubierto por dos o más capas secas, esterilizadas, compuestas de fibras lignocelulósicas o textiles naturales (lino, yute o celulosa) con la forma deseada del producto a obtener (Ross *et al.*, 2018). Posteriormente, el micelio se inactiva mediante prensado térmico y se cura con resina natural. El uso de láminas de lino reporta una colonización más eficiente y una mayor producción de biomasa. En general, los MBSCs presentan un factor adicional de heterogeneidad entre las capas laminadas y el núcleo, que, desde un punto de vista mecánico, son estructuras más fuertes y rígidas, mostrando un módulo de elasticidad y resistencia a la tracción mayores que los MBFs. Su manufactura es enfocada a la fabricación de biotextiles, ya que las condiciones controladas, las propiedades físicas, mecánicas y termodinámicas, tales como la morfología, densidad, textura, apariencia, cinética de crecimiento, resistencia a la tracción y flexión, absorción de agua y humedad son factores cualitativos y cuantitativos (Lukacs, y Bhadra, 2017; Deeg *et al.*, 2017; Ross *et al.*, 2018; Girometta, 2019).

Bitting *et al.* (2022) mencionan que el método más sencillo para fabricar materiales a base de micelio es cultivarlo en un molde, dentro de la fabricación se utilizan componentes o paneles MBC prefabricados, que luego se modifican mediante corte, o algún otro proceso, el cual los transforma en una amplia gama de productos y componentes arquitectónicos para la construcción, generalmente se asocian con formas como bloques rígidos y productos a base de micelio personalizado. La metodología típicamente utilizada para producir MBC incluye tres pasos principales que vienen después de la preparación y la esterilización del sustrato seleccionado: (1) inoculación de los sustratos en un ambiente controlado; (2) incubación del material durante un período que oscila entre 7 y 30 días, dependiendo de la especie fúngica bajo condiciones específicas de humedad, temperatura y aire; y (3) la transferencia del material de micelio colonizado fuera del entorno controlado junto a la exposición a altas temperaturas para detener y finalizar el proceso de crecimiento. Debido a la alta sensibilidad a la humedad, la temperatura y la calidad del aire, los dos primeros pasos suele consistir en contener la mezcla en moldes predefinidos. Estos moldes pueden fabricarse con geometría personalizada y luego sellarse para mantener un entorno controlado constante para la propagación del micelio (Holt *et al.*, 2012).

El uso de MBC como aislante aprovecha las propiedades térmicas y de resistencia al fuego inherentes del material a base de micelio. Los paneles aislantes de micelio de la empresa Biohm son capaces de alcanzar una conductividad térmica de $0.024 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, lo que supera los valores que pueden alcanzar los materiales líderes en el mercado, pero insostenibles, como la fibra de

vidrio (0.032-0.044 W/m·K), la lana mineral (0.032-0.044 W/m·K), el poliestireno expandido (0.036 W/m·K) y el poliestireno extruido (0.029-0.036 W/m·K) (BIOHM, 2021). Además, el costo de fabricación es lo suficientemente bajo como para competir con los materiales estándar, lo cual es una ventaja única en esta implementación del micelio.

Las altas propiedades aislantes también se utilizan en el sistema de losas de hormigón de Elsacker *et al.* (2021), sobre fabricación sustractiva, que implementa el corte de alambre y bloques de micelio para cortar un encofrado para hormigón que se deja en su lugar para convertirse en aislamiento. Después de cortar los bloques, se agrega cera de abejas a la superficie del micelio para ayudar a evitar que el concreto penetre completamente en la forma porosa de MBC. Cualquier encofrado que no se deje en su lugar es compostable, aprovechando así la circularidad de los materiales a base de micelio. Otra propiedad material inherente de MBC son sus propiedades acústicas favorables. El rendimiento acústico varía de un producto a otro, pero varias empresas y artistas experimentan con sistemas de paneles acústicos elaborados con materiales a base de micelio. Según Pelletier *et al.* (2017) en "Un estudio de evaluación de absorbentes acústicos comprimidos a presión cultivados en subproductos agrícolas", una placa de techo acústico con una densidad de 0.71 g/cm³ y una baldosa MBC con una densidad de 0.42 g/cm³ presentan una atenuación acústica de 7.6 y 7.1, respectivamente; por lo tanto, los paneles MBC son una alternativa comparable a las baldosas acústicas comerciales.

Los paneles de micelio comprimido son productos que aún no han llegado al mercado de consumo, pero constituyen una variación minuciosamente investigada de MBC. Estos paneles son MBC que han sido prensados en frío o en caliente (Javadian *et al.*, 2020). Mencionan que, una vez prensados, estos materiales se vuelven mucho más densos, ya que el aire que antes hacía que el material fuera liviano y aireado ahora se pierde en favor de un material condensado con propiedades estructurales mejoradas. Los MBC prensados en frío tienen una mayor resistencia a la tracción y un módulo elástico en comparación con los MBC no prensados, y dan como resultado un aumento de densidad de 2 veces. El MBC prensado en caliente mejora aún más la resistencia a la tracción y el módulo elástico, además de tener un aumento de más de 3 veces en la densidad (Appels *et al.*, 2019). Los MBC comprimidos, que han sido prensados con calor, tienen características similares a las de un panel y una resistencia a la compresión comparable a los productos de madera, como los tableros de virutas orientadas (OSB) o los tableros de fibra de densidad media (MDF). Esto se debe al ablandamiento de la lignina, que reacciona para formar nuevos enlaces cruzados que aumentan la resistencia del material (Bouajila *et al.*, 2005). Además de las características estructurales mejoradas, el prensado en caliente también da como resultado una disminución de la variación de la densidad en todos los paneles y un espesor constante.

Las baldosas de suelo a base de MBC fabricadas por la empresa italiana Mogu consisten en una capa de acabado de una pintura a base de agua, una capa de cobertura de poliuretano de base biológica al 67% con conchas de ostra y una capa central de paneles de fibra de alta densidad

100% de base biológica (Mogu, 2021). El producto está hecho de micelio además de otros materiales, no contiene plásticos a base de petróleo e incorpora productos reciclados. Es posible biodegradar las baldosas al final de su ciclo de vida, siempre que se proporcionen las condiciones industriales correctas. Esto sirve como ejemplo de un producto en el que el micelio se desarrolla de una manera que permite su uso en combinación con distintos materiales.

Los materiales a base del micelio de hongos filamentosos y residuos lignocelulósicos presentan la posibilidad de solucionar varios problemas; por ejemplo, la acumulación de residuos lignocelulósicos es un problema ambiental que ha ido creciendo, pues debido a la dificultad que poseen para biodegradarse, contribuyen a la contaminación de los suelos y las aguas y promueven la producción de gases de efecto invernadero producto de la quema a cielo abierto de estos residuos (Muñoz, 2012). Actualmente, la reincorporación de residuos agroindustriales es una alternativa sostenible, pues aporta una solución al desaprovechamiento y a la contaminación generados por su disposición final (Piñeros-Castro, 2014). Estos materiales contribuyen a reducir las emisiones de CO₂ asociadas a la producción de plástico. Además, al estar compuestos por residuos agroindustriales, los materiales compuestos a base de micelio permiten reintegrar algunos residuos en nuevos procesos productivos, disminuyendo la contaminación de los suelos y el agua y previniendo su quema a cielo abierto (Muñoz, 2012).

Pelletier *et al.* (2013), Jones *et al.* (2018) y Camere y Karana (2018) mencionan que los subproductos o desechos agrícolas o forestales lignocelulósicos de bajo costo se usan comúnmente como sustratos fibrosos, como la paja, o sustratos, como el aserrín, para mantener un bajo costo de los compuestos de micelio y facilitar el reciclaje de desechos y la economía circular. Sin embargo, el uso de estos materiales baratos y de baja calidad tiene el desafortunado efecto secundario de limitar el crecimiento de los hongos y, por lo tanto, comprometer las propiedades materiales del compuesto. Sin embargo, este compromiso es aceptable para la producción de compuestos de micelio tipo espuma, lo que permite mantener bajos los costos y alta la sostenibilidad ambiental. A veces se utilizan sustratos de mayor calidad y más costosos, como granos de trigo nutritivos y aserrín, con el propósito de mejorar o priorizar las propiedades mecánicas (Xing *et al.*, 2018; Elsacker *et al.*, 2019). Otro ejemplo es el ensamblaje compuesto que se completa mediante un proceso natural de crecimiento fúngico, que une el material lignocelulósico en geometrías 3D que reflejan la forma del molde en el que se empaqueta el sustrato, ya que Holt *et al.* (2012) y Jones *et al.* (2017) mencionan que, después de la inoculación, los moldes pueden almacenarse en condiciones ambientales o en un entorno de temperatura controlada a ~25–27 °C durante un período de crecimiento de días a meses, dependiendo de la especie de hongo y el sustrato utilizado y el grado de unión deseado (Jones *et al.*, 2017). Obviamente, las condiciones ambientales son más económicas y energéticamente eficientes de mantener, pero darán como resultado un crecimiento más lento que el de los entornos de temperatura elevada. Después del período de crecimiento, los materiales compuestos pueden retirarse de los moldes y prensarse en caliente, y luego secarse en horno o al aire para deshidratar el material y neutralizar el hongo. Esto garantiza, simultáneamente, que no pueda crecer más ni

propagarse mientras se endurece el material compuesto (McIntyre *et al.*, 2012). El prensado en caliente y el secado en horno son los preferidos por la industria, ya que son los procesos de deshidratación más rápidos, y el prensado en caliente también consolida y densifica el material, lo que se traduce en propiedades mecánicas más altas. Los materiales compuestos de micelio totalmente procesados son completamente biodegradables y comprenden ~95 % en peso de material lignocelulósico unido, con ~5 % en peso de micelio fúngico, para sustratos ricos en nutrientes (Monahan y Powell, 2011).

Appels *et al.* (2019), presentó un diseño experimental con especies de *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor* inoculados en sustratos de paja, aserrín y algodón, obteniendo diferencias significativas en el rendimiento mecánico de materiales compuestos según el sustrato y el proceso de fabricación, específicamente el prensado. Los materiales a base de algodón fueron menos rígidos y más resistentes a la humedad que compuestos a base de paja. Con respecto al proceso de fabricación, el prensado con calor aumentó la densidad tres veces más (0.35 - 0.39 g/cm³) que la de materiales sin prensado, mejorando la homogeneidad, la resistencia a la tracción (0.15 - 0.24 MPa) y la rigidez de los materiales, independientemente del sustrato y la cepa utilizada. Además, presentó una gran similitud con la densidad y el módulo de elasticidad longitudinal, o módulo de Young (35 - 97 MPa), de espumas de poliestireno, corcho y madera (Appels *et al.*, 2019). Los biomateriales autogenerados por la cepa *Pycnoporus cinnabarinus* también presentaron una buena elasticidad y una capacidad de amortiguación adecuadas para su uso como material de embalaje. Como ventajas de fabricación, destacan su baja densidad, resistencia competitiva, propiedades mecánicas de tracción e impacto y estabilidad a altas temperaturas y a la radiación ultravioleta, lo que los vuelve competitivos frente a materiales sintéticos (espumas de poliestireno), biológicos y nanoestructurados (Haneef *et al.*, 2017; Girometta *et al.*, 2019; Elsacker *et al.*, 2019).

Appels (2018) menciona que el micelio exhibe propiedades mecánicas típicas de los materiales lignocelulósicos, como la madera y el corcho; sin embargo, los compuestos de micelio que comprenden un aglutinante de micelio que interactúa con una fase de relleno de sustrato disperso de residuos agrícolas tienen densidades y módulos elásticos más bajos que los del micelio puro y generalmente se clasifican como espumas (Ashby *et al.*, 2018; Appels *et al.*, 2019). Esto se debe a la cantidad de aire contenido tanto dentro como entre el relleno de sustrato, que es poroso y poco compacto. Aiduang *et al.* (2024) mencionan los modelos compuestos de MBC para aplicaciones en materiales de construcción de base biológica, como tableros, ladrillos y baldosas.

Uno de los primeros productos a base de micelio en llegar al mercado de consumo es el envase de micelio de Ecovative, este producto utiliza una mezcla de crecimiento de cáñamo y una cepa de hongos. Después de su uso, el empaque de micelio se puede romper y compostar sin ningún paso adicional para descomponerse naturalmente (Ecovative, 2022). Si bien esta alternativa de espuma es una mejora significativa con respecto al material de embalaje sintético convencional en términos de impacto ambiental, la principal desventaja es el mayor peso y volumen, donde la espuma de poliestireno convencional tiene una densidad aproximada de 10-50 kg/m³; un envase alternativo de micelio puede tener una densidad de entre 55 y 210 kg/m³. Dado que los costos

de envío generalmente se determinan por el peso, el empaque de micelio aún no puede reemplazar por completo las espumas de poliestireno tradicionales (Jones *et al.*, 2017). En la Tabla 4 se describen algunas empresas que comercializan los micomateriales. Actualmente, Ecovative Designs LLC fabrica una madera micelial denominada comercialmente MycoBoard™ que posee una densidad (0.685 g/cm³) mucho más baja que los paneles de vidrio y el poliéster (1.522 g/cm³). Los paneles de micelio son más fuertes, mecanizables, personalizables y resistentes al fuego (<https://ecovative.com/>) (Tabla 4).

En la tabla 5 Principales empresas que fabrican micomateriales

Empresa	País	Material	Referencia
Ecovative Design LLC	New Jersey, Estados Unidos	Espumas para empaquetamiento MycoComposite™ Espumas de micelio puro Mycoflex™	Ecovative, 2020
Mogu	Inarzo, Italia	Paneles modulares acústicos Mogu™	Feijóo <i>et al.</i> , 2021
Ford Global Technologies LLC	Michigan, estados Unidos	Piezas moldeadas de espuma de micelio para equipamiento de interiores de vehículos	Mogu, 2020
Radial Biomateriales	Jalisco, México	Materiales diseñados a la medida para paquetería y embalaje	Kalisz y Rocco, 2011
Loop Biotech	JD Delft, Países bajos	Ataudes Loop Cocoon™ paredes fabricadas de micelio y residuos agrícolas	Radial, 2020
Ecovative Design LLC	New Jersey, Estados Unidos	Paneles de construcción MycoBoard™ para diseños arquitectónicos Kits y manual para la producción de biomateriales a base de micelio	Ecovative, 2020
Mycomaker	Quito, Ecuador	Kits de micotectura, asesoría para la producción de biomateriales a base de micelio	Mycel, 2019
Radial Biomateriales	Jalisco, México	Productos de diseño industrial o interiorismo	Kalisz y Rocco, 2011
Mycel Project	Republica de Korea	Diseño y producción de materiales como lámparas y módulos de	Sporatex, 2021

		decoración interiores	para	
--	--	--------------------------	------	--

Los materiales derivados del micelio tienen varias ventajas clave sobre los materiales sintéticos tradicionales, incluidas su bajo costo, densidad, bajo consumo de energía, biodegradabilidad, bajo impacto ambiental y huella de carbono (Arifin, 2013; Haneef *et al.*, 2017; Abhijith *et al.*, 2018). Se ha empleado una gran variedad de sustratos, junto con técnicas de procesamiento controlado (entorno de crecimiento y prensado en caliente), que permiten que los materiales derivados del micelio cumplan con requisitos estructurales y funcionales, incluidos la resistencia al fuego y el aislamiento térmico y acústico (Pelletier *et al.*, 2013; Jones *et al.*, 2017; Haneef *et al.*, 2017). Esto no solo permite su uso como alternativas respetuosas con el medio ambiente derivadas de residuos a materiales sintéticos planos (láminas de plástico) y objetos más grandes de baja densidad (espumas sintéticas y plásticos) (Holt *et al.*, 2012; Pelletier *et al.*, 2013; Haneef *et al.*, 2017), sino también como materiales semiestructurales (paneles, suelos, muebles, cubiertas), explorando el camino de nuevas posibilidades en la construcción ambientalmente sostenible. Sin embargo, varios factores limitan la aplicación y el uso actuales de los materiales de micelio, principalmente debido a sus propiedades mecánicas, típicamente similares a las de la espuma, a su alta absorción de agua y a las numerosas limitaciones en la documentación de las propiedades del material. Estas limitaciones hacen necesarios una mayor investigación y desarrollo de estos materiales, además del uso específico en aplicaciones específicas, como aislamiento, núcleos de puertas, paneles, suelos, armarios y otros muebles (Abrams, 2014; Islam *et al.*, 2017; Jiang *et al.*, 2017).

Las propiedades físicas y mecánicas similares a las de la espuma hacen que los compuestos de micelio sean adecuados para aplicaciones de construcción no estructurales, incluidos los materiales de aislamiento y los núcleos de puertas. Los compuestos de micelio están actualmente disponibles comercialmente para estas aplicaciones en los Estados Unidos e Indonesia, aunque la documentación sobre sus propiedades físicas y mecánicas aún no está disponible públicamente (Ecovative 2019; MycoTech 2019). Las espumas de aislamiento acústico compuestas de micelio también son un producto popular disponible comercialmente en la Unión Europea y en los Estados Unidos y se anuncian como materiales renovables que exhiben propiedades de absorción acústica competitivas con otros materiales de construcción comerciales tradicionales (Ecovative 2019; Mogu, 2019).

A pesar del gran potencial de estos materiales, su adopción ha sido lenta. Sin embargo, la empresa Dell utiliza espumas de micelio para el embalaje de servidores empresariales e IKEA también ha expresado su interés en adoptar embalajes a base de micelio (Dell Inc. 2016; Gosden, 2016). La mayoría de estos materiales de micelio siguen siendo un producto delimitado, favorecido por un grupo selecto de artistas y diseñadores, utilizado para producir todo, desde muebles como sillas y pantallas de lámparas hasta estructuras artísticas, como la casa de té "Mycotectural Alpha" de Philip Ross, hasta la torre compostable orgánica "Hy-Fi" de 12 m de altura, que comprende más

de 10.000 ladrillos, exhibida por el Museo de Arte Moderno de Nueva York en 2014 (Jones *et al.*, 2017; Austin 2013; Superflux. 2014; Rajagopal. 2014; Fisher. 2010). Esta infrautilización podría deberse a un monopolio de patentes sobre materiales de micelio, lo que se traduce en una falta de viabilidad comercial e industrial, una falta de confianza en esta nueva plataforma de materiales para aplicaciones más allá del envasado, o una falta de conocimiento entre la industria y el público en general. Por ello, el interés en los materiales de micelio está creciendo, con empresas ahora activas en EE. UU. UU., Italia, Indonesia, Países Bajos e investigaciones que abarcan EE. UU., Italia, Bélgica, Países Bajos, Australia, Austria y Suiza (Ecovative 2019; Mogu. 2019; MycoWorks. 2019).

Las propiedades de tracción se encuentran mejor caracterizadas en los compuestos de micelio, las reportadas varían significativamente entre estudios para sustratos; como ejemplo, el aserrín (0,05–0,18 MPa), el cual parece estar asociado con resistencias a la tracción más altas que los sustratos de paja (0,01–0,04 MPa) (Green y Winandy, 1999; Buschow *et al.*, 2001). Desafortunadamente, se dispone de datos inconsistentes y limitados sobre las propiedades de compresión de los compuestos de micelio. Elsacker *et al.*, 2019 describe que los módulos de compresión de los compuestos cultivados que utilizan sustratos de cáñamo fibroso y estopa de lino fueron más altos que los de las virutas de pino particuladas (0,64 y 0,73 MPa en comparación con 0,14 MPa, respectivamente); sin embargo, su estudio solo probó una deformación del 70-80% y posteriormente no evaluó la resistencia a la compresión. Por el contrario, Ghazvinian *et al.*, 2019, evaluaron la resistencia a la compresión de los compuestos de micelio cultivados en un sustrato de aserrín de roble blanco y uno de paja de trigo, y encontraron que el sustrato de aserrín particulado tenía una resistencia a la compresión mucho mayor que la paja fibrosa (1,1 MPa en comparación con 0,17 MPa, respectivamente), pero no evaluaron la rigidez. En la Tabla 5 se muestran algunos hongos, sustratos y resistencia a la tracción.

Tabla 6 Hongos, sustratos y resistencia que tienen los micomateriales

Hongo	Sustrato	Resistencia a la tracción	Referencia
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Paja de colza	0,01 MPa a 0,03 MPa	Butterfield <i>et al.</i> , 1992
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Paja, aserrín y algodón	0.15–0.24 MPa	Appels <i>et al.</i> , 2019
<i>Trametes versicolor</i>	Paja, aserrín y algodón	0.15–0.24 MPa	Appels <i>et al.</i> , 2019
<i>Pleurotus ostreatus</i>	cáscaras de arroz y aserrín	265 kPa y 0,615 MP	Mbabali <i>et al.</i> , 2024
<i>P. ostreatus</i>	Café combinado con fibra natural de piña	220–240 V 50Hz	Kohphaisansombat <i>et al.</i> , 2023
<i>Ganoderma fornicatum</i> , <i>Ganoderma williamsianum</i> ,	aserrín, hojas de maíz y paja de arroz	1,87, 0,62 y 0,36 MPa	Aiduang <i>et al.</i> , 2022

<i>Lentinus sajorcaju</i> y <i>Schizophyllum commune</i>			
<i>Fomes fomentarius</i>	cáñamo y paja de colza	0,2 MPa y 0,3 MPa	Pohl <i>et al.</i> , 2022

5.3 Uso de los hongos para elaborar micomateriales

Los hongos se pueden usar para producir reemplazos para productos como espumas sintéticas para embalaje, aislamiento, textiles y materiales similares al papel de alto rendimiento, estos materiales similares al cuero y espumas derivados de hongos son ahora el foco de los recientes y rápidos esfuerzos de comercialización en América del Norte, Europa y Asia. Los materiales fúngicos han avanzado en aplicaciones, que van desde bioimpresión hasta el tratamiento de heridas y la purificación del agua. Los hongos han permitido realizar innovación dentro de la comunidad académica y social en los últimos años (Antinori *et al.*, 2020; Attias 2020). El micelio se ha explorado durante algún tiempo en la industria del embalaje, como por ejemplo empresas como Ecovative Design LLC (Green Island, NY, EE. UU.), siendo líderes en el mercado (<https://www.ecovative.com/>), con su tecnología utilizan el micelio de los hongos y lo cultivan en ambientes controlados para producir empaques tridimensionales (3D), este principio también lo está utilizando la empresa MycoWorks (San Francisco, CA, EE. UU.; <http://www.mycoworks.com/2018>), mencionando que se están analizando diferentes especies, ya que los hongos presentan características diversas como: resistencia, térmicos, moldeable, impermeable, inflamable, ligero, transpirable y biodegradables, además de que se pueden manipular para nuestro beneficio.

En cuanto a Jones (2018), resalta que como factor importante es la especie de hongo utilizada como micelio para unir el relleno agrícola disperso en los compuestos de micelio, la cual afecta la densidad de crecimiento y el grado de unión interfacial en la interfaz micelio-sustrato, que varía significativamente según la especie y el sustrato y parece afectar las propiedades mecánicas del material. En cuanto a la estructura de la red de unión del micelio, también afecta las propiedades mecánicas de los compuestos del micelio. Su conformación como matriz es micelio y el refuerzo es la fibra natural; el micelio rodea las fibras y mantiene su posición relativa dentro del material. Estas fibras van influyendo en gran medida en las propiedades mecánicas y físicas del compuesto (Elsacker *et al.*, 2021).

Dentro de las especies de hongos utilizadas para fabricar compuestos de micelio (Figura 7), se encuentran especialmente los hongos saprobios; se utilizan para reciclar los desechos agrícolas en biomateriales conocidos como materiales a base de micelio (MBC). Los géneros fúngicos comunes utilizados, *Pleurotus* (25%), *Ganoderma* (22.2%), *Trametes* (18.1%) y *Pycnoporus* (4.2%), que se han clasificado como hongos de podredumbre blanca y podredumbre marrón, se pueden utilizar en la producción de MBC debido a su alta tasa de colonización y capacidad para descomponer una gran cantidad de biomasa orgánica (Catto *et al.*, 2014; Attias *et al.*, 2017; Bajwa *et al.*, 2017; Xing *et al.*, 2017; Apples *et al.*, 2019; Attias *et al.*, 2019; Elsacker *et al.*, 2019; Ghazvinian

et al., 2019; Girometta *et al.*, 2019; Wimmers *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2020; Tacer-Caba *et al.*, 2020; Schritt *et al.*, 2021; Chan *et al.*, 2021; Răut *et al.*, 2021; Pohl *et al.*, 2022). Hay una enorme importancia científica en estas dos especies *Pleurotus* y *Ganoderma*), por su sistema enzimático que degrada eficientemente los componentes vegetales difíciles para hidrolizar (Islam *et al.*, 2015; Haneef *et al.*, 2017).

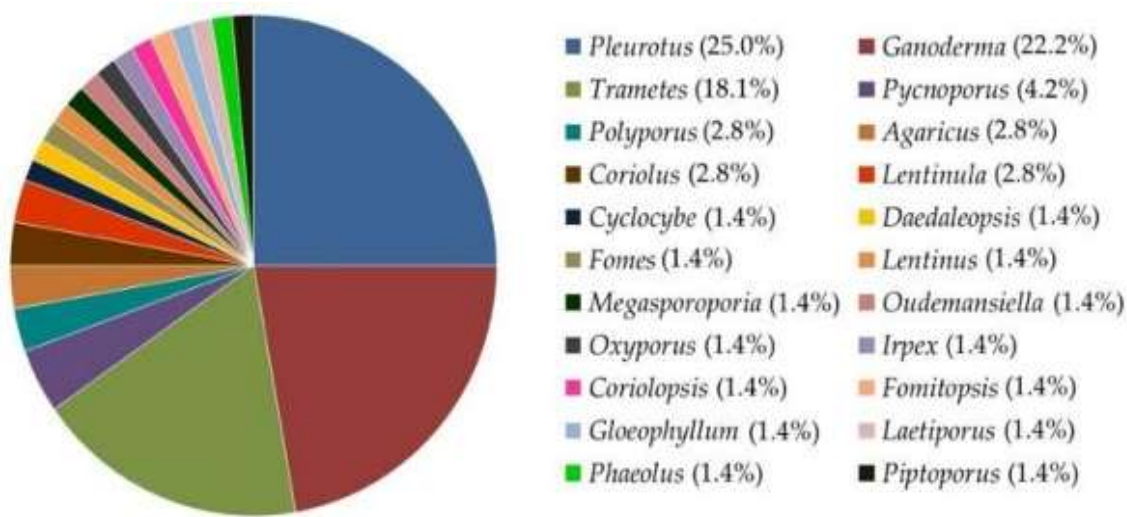


Figura 7. Principales especies de hongos reportados para fabricar compuestos de micelio (Fuente: Aiduang *et al.*, 2022).

5.4 Normativas aplicadas a micomateriales

Al implementar pruebas a los materiales de micelio con estos estándares de calidad y seguridad establecidos, los investigadores y desarrolladores pueden garantizar la consistencia y la comparabilidad con otros materiales convencionales. Por ejemplo, el uso de ISO 9427, ASTM D1622 y JIS A 5908 para mediciones de densidad (Aiduang *et al.*, 2022; Mbabali *et al.*, 2024; Teeraphantuvat *et al.*, 2024) o ASTM D1037 para la absorción de agua y el módulo de elasticidad puede ayudar a comparar las propiedades de los MBC con los paneles tradicionales a base de madera y los plásticos celulares rígidos (Kohphaisansombat *et al.*, 2023; Teeraphantuvat *et al.*, 2024; Picco *et al.*, 2024). Este enfoque no solo ayuda a optimizar las propiedades del material a través de pruebas iterativas y refinamiento, sino que también facilita el cumplimiento normativo y la aceptación en el mercado al demostrar que los MBC cumplen o superan los estándares existentes de la industria. En la tabla 6 se muestran algunas normas utilizadas en otros trabajos para los micomateriales.

Tabla 7 Normativas implementadas en trabajos para realizar pruebas a los micomateriales

Propiedades	Prueba de identificación estándar	Descripción	Nivel	Referencia
Densidad	ISO 9427	Paneles a base de madera: determinación de la densidad	Escala de laboratorio	Aiduang <i>et al.</i> , 2022
	ASTM D1622	Método de prueba estándar para la densidad aparente de plásticos celulares rígidos	Escala de laboratorio	Picco <i>et al.</i> , 2024
	JIS A 5908	Norma industrial japonesa: tableros de partículas	Escala de laboratorio	Shakir <i>et al.</i> , 2023
Contenido de humedad	ISO 16979	Determinación del contenido de humedad	Escala de laboratorio	Mbabali <i>et al.</i> , 2024
Absorción de agua	ASTM D1037	Métodos de prueba estándar para evaluar las propiedades de los materiales de paneles de partículas y fibras a base de madera	Escala de laboratorio	Kohphaisansombat <i>et al.</i> , 2023
	ASTM C272/272M	Absorción de agua de los materiales del núcleo	Escala de laboratorio	Aiduang <i>et al.</i> , 2022
	JIS A 5908	Norma industrial japonesa: tableros de partículas	Escala de laboratorio	Shakir <i>et al.</i> , 2023
	ISO 15148	Comportamiento higrotérmico de materiales y productos de construcción: determinación del coeficiente de absorción de agua por inmersión parcial	Escala de laboratorio	Pittau <i>et al.</i> , 2022
	ASTM D570	Método de prueba estándar para la absorción de agua de los plásticos.	Escala de laboratorio	Aiduang <i>et al.</i> , 2022
Espesor de la hinchazón	ASTM D1037	Métodos de prueba estándar para	Escala de laboratorio	Zimele <i>et al.</i> , 2020

		evaluar las propiedades de los materiales de paneles de partículas y fibras a base de madera		
	TIS 876	Norma industrial tailandesa: tableros de partículas prensados planos	Escala de aplicación	Kohphaisansombat <i>et al.</i> , 2023
	JIS A 5908	Norma industrial japonesa: tableros de partículas	Escala de aplicación	Shakir <i>et al.</i> , 2023
Resistencia a la compresión	EN 1015	Métodos de ensayo para mortero para mampostería. Parte 11: determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión del mortero endurecido.	Escala de aplicación	Vašatko <i>et al.</i> , 2022
	ASTM D3501	Métodos de ensayo estándar para paneles estructurales a base de madera en compresión	Escala de aplicación	Mbabali <i>et al.</i> , 2024
	DIN 50134	Prueba de materiales metálicos: prueba de compresión de materiales celulares metálicos	Escala de laboratorio	Pohl <i>et al.</i> , 2022
	ASTM D1621	Método de prueba estándar para las propiedades de compresión de plásticos celulares rígidos	Escala de laboratorio	Picco <i>et al.</i> , 2024
	ASTM C109	Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico	Escala de laboratorio	Kohphaisansombat <i>et al.</i> , 2023
	ISO 844	Plásticos celulares rígidos:	Escala de laboratorio	Räut <i>et al.</i> , 2021

		determinación de las propiedades de compresión		
	ASTM D2166	Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión sin confinamiento del suelo cohesivo	Escala de laboratorio	Houette <i>et al.</i> , 2022
Resistencia a la tracción	ASTM D1037	Métodos de prueba estándar para evaluar las propiedades de los materiales de paneles de partículas y fibras a base de madera	Escala de aplicación	Shen <i>et al.</i> , 2024
	ASTM D 638	Método de ensayo estándar para las propiedades de tracción de los plásticos	Escala de laboratorio	Aiduang <i>et al.</i> , 2022; Früchtl <i>et al.</i> , 2023
	DIN 53292	Ensayo de sándwiches; ensayo de tracción perpendicular a las caras	Escala de aplicación	Früchtl <i>et al.</i> , 2023
Resistencia al impacto	ASTM D256	Métodos de prueba estándar para determinar la resistencia al impacto del péndulo Izod de los plásticos	Escala de laboratorio	Aiduang <i>et al.</i> , 2022
	ASTM D7136	Método de prueba estándar para medir la resistencia al daño de un compuesto de matriz de polímero reforzado con fibra ante un impacto de caída de peso	Escala de laboratorio	Cai <i>et al.</i> , 2023
Módulo de elasticidad	ASTM D1037	Métodos de prueba estándar para evaluar las propiedades de los materiales de paneles de	Escala de aplicación	Rigobello y Ayres 2022

		partículas y fibras a base de madera		
	ASTM D3504	Especificación estándar para anhídrido maleico	Escala de laboratorio	Mbabali <i>et al.</i> , 2024
	ISO 16978	Paneles a base de madera: determinación del módulo de elasticidad a la flexión y de la resistencia a la flexión	Escala de aplicación	Elsacker <i>et al.</i> , 2022
Resistencia a la flexión/flexión	JIS A5908	Norma industrial japonesa: tableros de partículas	Escala de aplicación	Shakir <i>et al.</i> , 2023
	ASTM D1037	Métodos de prueba estándar para evaluar las propiedades de los materiales de paneles de partículas y fibras a base de madera	Escala de aplicación	Vašatko <i>et al.</i> , 2022
	ASTM C78	Método de prueba estándar para la resistencia a la flexión del hormigón (utilizando una viga simple con carga en el tercer punto)	Escala de laboratorio	Houette <i>et al.</i> , 2022
	ISO 16978	Paneles a base de madera: determinación del módulo de elasticidad a la flexión y de la resistencia a la flexión	Escala de aplicación	Kohphaisansombat <i>et al.</i> , 2023
	ASTM D790	Métodos de ensayo estándar para las propiedades de flexión de plásticos no reforzados y reforzados y materiales aislantes eléctricos	Escala de laboratorio	Mbabali <i>et al.</i> , 2024

	DIN 52186	Prueba de madera; prueba de flexión	Escala de laboratorio	Aiduang <i>et al.</i> , 2022
	DIN 53293	Prueba de sándwiches; prueba de flexión	Escala de aplicación	Zimele <i>et al.</i> , 2020
Enlace interno	JIS A 5908	Norma industrial japonesa: tableros de partículas	Escala de aplicación	Früchtl <i>et al.</i> , 2023
	EN 319:1993	Tableros de partículas y tableros de fibra. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular al plano del tablero	Escala de aplicación	Shakir <i>et al.</i> , 2023
	ASTM D1037	Métodos de prueba estándar para evaluar las propiedades de los materiales de paneles de partículas y fibras a base de madera	Escala de laboratorio	Elsacker <i>et al.</i> , 2022
Resistencia al corte	DIN-EN 12090	Productos de aislamiento térmico para aplicaciones en edificación. Determinación del comportamiento al corte	Escala de aplicación	Liu <i>et al.</i> , 2020
	DIN EN 205	Adhesivos— Adhesivos para madera para aplicaciones no estructurales— Determinación de la resistencia al corte por tracción de juntas traslapadas	Escala de aplicación	Saez <i>et al.</i> , 2022
Propiedad de aislamiento térmico	ISO 22007-2	Plásticos: determinación de la conductividad térmica y la difusividad térmica	Escala de laboratorio	Özdemir <i>et al.</i> , 2022
	ASTM C1113	Método de prueba estándar para la conductividad	Escala de laboratorio	Carcassi <i>et al.</i> , 2022

		térmica de refractarios mediante hilo caliente (técnica del termómetro de resistencia de platino)		
	ISO 12664	Comportamiento térmico de materiales y productos de construcción: determinación de la resistencia térmica mediante métodos de placa calefactora protegida y medidor de flujo de calor. Productos secos y húmedos de resistencia térmica media y baja	Escala de aplicación	Mbabali <i>et al.</i> , 2024
Absorción del aislamiento acústico	ASTM E1050	Método de prueba estándar para impedancia y absorción de materiales acústicos utilizando un tubo, dos micrófonos y un sistema de análisis de frecuencia digital	Escala de aplicación	Pittau <i>et al.</i> , 2022
	DIN 4109:1989	Aislamiento acústico en edificios: ejemplos de construcción y métodos de cálculo	Escala de aplicación	Kohphaisansombat <i>et al.</i> , 2023
Evaluación ambiental	DIN EN 15978	Sostenibilidad de las obras de construcción—Evaluación del desempeño ambiental de los edificios—Método de cálculo	Escala de aplicación	Rossi <i>et al.</i> , 2022
	DIN EN 15804	Sostenibilidad de las obras de construcción - Declaraciones ambientales de	Escala de aplicación	Rossi <i>et al.</i> , 2022

		producto - Normas básicas para la categoría de productos de construcción		
Inflamabilidad	ISO 5660-1	Pruebas de reacción al fuego: liberación de calor, producción de humo y tasa de pérdida de masa	Escala de laboratorio	Alaux <i>et al.</i> , 2024
	ASTM D7309	Método de prueba estándar para determinar las características de inflamabilidad de plásticos y otros materiales sólidos mediante calorimetría de combustión a microescala.	Escala de laboratorio	Früchtel <i>et al.</i> , 2023
	ISO 5660-1	Pruebas de reacción al fuego: liberación de calor, producción de humo y tasa de pérdida de masa	Escala de laboratorio	Kohphaisansombat <i>et al.</i> , 2023
Resistencia a las termitas	ASTM D3345-08	Método de prueba estándar para la evaluación en laboratorio de la madera y otros materiales celulósicos para determinar su resistencia a las termitas	Escala de laboratorio	Jones <i>et al.</i> , 2017
Biodegradabilidad	EN 13432:2000	Requisitos para envases recuperables mediante compostaje y biodegradación. Esquema de pruebas y criterios de evaluación para la aceptación final de envases	Escala de laboratorio	Jones <i>et al.</i> , 2018

	ISO 16929:2021	Plásticos: determinación del grado de desintegración de materiales plásticos en condiciones de compostaje definidas en una prueba a escala piloto	Escala piloto	Bajwa <i>et al.</i> , 2017
	ISO 20200:2015	Plásticos: determinación del grado de desintegración de materiales plásticos en condiciones simuladas de compostaje en una prueba a escala de laboratorio	Escala de laboratorio	Sisti <i>et al.</i> , 2021
	ISO 846/2000	Plásticos— Evaluación de la acción de los microorganismos	Escala de laboratorio	Aiduang <i>et al.</i> , 2024

Capítulo VI. CONCLUSIÓN

Son varias especies de hongos que se pueden utilizar para elaborar biomateriales, entre las que se pueden mencionar: *Agaricus*, *Coriolus*, *Coriolopsis*, *Cyclocybe*, *Daedaleopsis*, *Fomes*, *Fomitopsis*, *Ganoderma*, *Gloeophyllum*, *Irpex*, *Laetiporus*, *Lentinula*, *Lentinus*, *Megasporoporia*, *Oudemansiella*, *Oxyporus*, *Pleurotus*, *Phaeolus*, *Piptoporus*, *Polyporus*, *Pycnoporus* y *Trametes*, debido a su alta tasa de colonización, la gran variedad de sustratos junto con técnicas de procesamiento controlado (entorno de crecimiento y prensado en caliente) permiten que los materiales derivados de micelio puedan cumplir con los requisitos estructurales y funcionales, incluida la resistencia al fuego y el aislamiento térmico y acústico, aportando atribuciones en la mezcla de estos residuos junto con el micelio de diferentes hongos logrando obtener paneles con propiedades similares a las espumas de poliestireno expandido u otras espumas para embalaje, el aislamiento térmico o acústico, haciéndolos escalables para la obtención de objetos más grandes de baja densidad (espumas sintéticas y plásticos), también como materiales semiestructurales (paneles, suelos, muebles, cubiertas y empaques).

También se utilizan en el sistema de losas de hormigón y en baldosas de suelo; sirven como ejemplo de un producto en el que el micelio se desarrolla de manera que puede combinarse con otros materiales. Estos materiales derivados del micelio tienen varias ventajas clave sobre los materiales sintéticos tradicionales, incluidas su bajo costo, densidad, bajo consumo de energía, biodegradabilidad, bajo impacto ambiental y huella de carbono. Esto permite su uso como alternativa respetuosa con el medio ambiente y abre el camino a nuevas posibilidades en la construcción sostenible. Sin embargo, varios factores limitan la aplicación y el uso actual de los materiales de micelio, principalmente debido a sus propiedades mecánicas, típicamente similares a las de la espuma, a su alta absorción de agua y a las numerosas limitaciones en la documentación de sus propiedades. Estas limitaciones hacen necesaria una mayor investigación y desarrollo de estos materiales, además del uso en aplicaciones específicas, como aislamiento, núcleos de puertas, paneles, suelos, armarios y otros muebles, por lo que se pueden obtener micomateriales dirigidos a materiales no estructurales o materiales aligerados, como el poliestireno expandido, aligerantes de hormigón, la mezcla de yeso prensado con residuos de papel periódico o de papel de imprenta, cementos espumados y aligerados con gránulos de poliestireno expandido, morteros aligerados elaborados con cascarilla de arroz y la fibra de vidrio para concreto reforzado, el cual los micomateriales reportados para materiales estructurales y semiestructurales podrían ser una alternativa, cumpliendo con los requisitos de normatividad para validar su competitividad. Por ello, es de gran importancia incrementar la investigación en este campo para contar con materiales amigables con el ambiente y disminuir el impacto de los desechos de la construcción.

Referencias bibliográficas

- Abbas, A., & Ansumali, S. (2010). Global potential of rice husk as a renewable feedstock for ethanol biofuel production. *Bioenergy Research*, 3, 328–334.
- Adapa, P. K., Tabil, L. G., Schoenau, G. J., Canam, T., & Dumonceaux, T. (2011). Quantitative analysis of lignocellulosic components of non-treated and steam-exploded barley, canola, oat and wheat straw using Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Agricultural Science*, 1, 177–188.
- Aiduang, W., Jatuwong, K., Jinanukul, P., Suwannarach, N., Kumla, J., Thamjaree, W., Teeraphantuvat, T., Waroonkun, T., Oranratmanee, R., & Lumyong, S. (2024). Sustainable innovation: Fabrication and characterization of mycelium-based green composites for modern interior materials using agro-industrial wastes and different species of fungi. *Polymers*, 16, 550.
- Aiduang, W., Jinanukul, P., Thamjaree, W., Kiatsiriroat, T., Waroonkun, T., & Lumyong, S. (2024). A comprehensive review on studying and developing guidelines to standardize the inspection of properties and production methods for mycelium-bound composites in bio-based building material applications. *Biomimetics*, 9(9), 549.
- Aiduang, W., Kumla, J., Srinuanpan, S., Thamjaree, W., Lumyong, S., & Suwannarach, N. (2022). Mechanical, physical, and chemical properties of mycelium-based composites produced from various lignocellulosic residues and fungal species. *Journal of Fungi*, 8, 1125.
- Aiduang, W., Suwannarach, N., Kumla, J., Thamjaree, W., & Lumyong, S. (2022). Valorization of agricultural waste to produce myco composite materials from mushroom mycelia and their physical properties. *Agriculture and Natural Resources*, 56, 1083–1090.
- Alaux, N., Vašatko, H., Maierhofer, D., Saade, M. R. M., Stavric, M., & Passer, A. (2024). Environmental potential of fungal insulation: A prospective life cycle assessment of mycelium-based composites. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 29, 255–272.
- Alavez, R., Chiñas, F., Morales, V., & Ortiz, M. (2012). Thermal conductivity of coconut fibre filled ferrocement sandwich panels. *Construction and Building Materials*, 37, 425–431.
- American Elements. (2011, agosto). Retrieved from <http://www.americanelements.com/fe.html>
- Appels, F. V., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M., Dijksterhuis, J., & Wösten, H. A. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials & Design*, 161, 64–71.
- Bajwa, D. S., Holt, G. A., Bajwa, S. G., & Duke, S. E. (2017). McIntyre, G. Enhancement of termite (*Reticulitermes flavipes* L.) resistance in mycelium reinforced biofiber-composites. *Industrial Crops and Products*, 107, 420–426.
- Barragán, B., Téllez, y Laguna, A. (2008). Utilización de residuos agroindustriales. *Revista Sistemas*.
- Barros, A., Caballero, J. M., & Zaldo, V. (1981). Aplicaciones del cemento reforzado con fibra de vidrio. *Informes de la Construcción*, 33(333), 73–81.

- Billar, P., Johannsen, I., dos Passos, J. S., & Ottosen, L. D. M. (2018). Primary sewage sludge filtration using biomass filter aids and subsequent hydrothermal co-liquefaction. *Water Research*, 130, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.048>
- BIOHM | MyceliumInsulation. (2021, noviembre 9). Retrieved from <https://www.biohm.co.uk/mycelium>
- Bitting, S., Derme, T., Lee, J., Van Mele, T., Dillenburger, B., & Block, P. (2022). Challenges and opportunities in scaling up architectural applications of mycelium-based materials with digital fabrication. *Biomimetics*, 7(2), 44.
- Bogner, J., Abdelrafie Ahmed, M., Diaz, C., Faaij, A., Gao, Q., Hashimoto, S., Mareckova, K., Pipatti, R., & Zhang, T. (2007). Waste Management. In B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, & L. A. Meyer (Eds.), *Climate Change Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Bouajila, J., Limare, A., Joly, C., & Dole, P. (2005). Lignin plasticization to improve binderless fiberboard mechanical properties. *Polymer Engineering & Science*, 45, 809–816.
- Buzala, K., Przybysz, P., Rosicka-Kaczmarek, J., & Kalinowska, H. (2015). Comparison of digestibility of wood pulps produced by the sulfate and TMP methods and woodchips of various botanical origins and sizes. *Cellulose*, 22, 2737–2747.
- Cai, J., Han, J., Ge, F., Lin, Y., Pan, J., & Ren, A. (2023). Development of impact-resistant mycelium-based composites (MBCs) with agricultural waste straws. *Construction and Building Materials*, 389, 131730.
- Carcassi, O. B., Minotti, P., Habert, G., Paoletti, I., Claude, S., & Pittau, F. (2022). Carbon footprint assessment of a novel bio-based composite for building insulation. *Sustainability*, 14, 1384.
- Cárdenas, M., Schanack, F., & Ramos, O. R. (2010). Diseño, construcción y ensayo de una estructura de sección mixta madera laminada-hormigón para su uso en puentes. *Revista de la Construcción*, 9(2), 63-75. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2010000200007>
- Cardoso, W. S., Tardin, F. D., Tavares, G., Queiroz, P. V., Mota, S. S., Kasuya, M. C. M., & de Queiroz, J. H. (2013). Use of sorghum straw (*Sorghum bicolor*) for second generation ethanol production: Pretreatment and enzymatic hydrolysis. *Química Nova*, 36, 623–627.
- Carrijo, O. A., Liz, R. S., & Makishima, N. (2002). Fiber of green coconut shell as an agricultural substrate. *Horticultura Brasileira*, 20, 533–535.
- Cerimi, K., Akkaya, K. C., Pohl, C., Schmidt, B., & Neubauer, P. (2019). Fungi as source for new bio-based materials: A patent review. *Fungal Biology and Biotechnology*, 6, 1–10.
- Choonut, A., Saejong, M., & Sangkharak, K. (2014). The production of ethanol and hydrogen from pineapple peel by *Saccharomyces cerevisiae* and *Enterobacter aerogenes*. *Energy Procedia*, 52, 242–249.

- Chuayplod, P., & Aht-ong, D. A. (2018). Study of microcrystalline cellulose prepared from parawood (*Hevea brasiliensis*) sawdust waste using different acid types. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 28, 106–114.
- Clasificación del vidrio: tipos, propiedades y aplicaciones. (2025, octubre 21). Bariloche Glass. <https://barilocheglass.com.ar/clasificacion-vidrio/>
- Connor, N. (2021). Poliestireno: densidad, resistencia, punto de fusión, conductividad térmica. *Material Properties*. Retrieved from <https://material-properties.org/es/poliestireno-densidad-resistencia-punto-de-fusion-conductividad-termica>
- Connor, N. (2023, 18 de septiembre). Compuestos de madera y plástico: fórmula, propiedades y aplicación. *Material Properties*. Retrieved from <https://material-properties.org/es/compuestos-de-madera-y-plastico/>
- Crearal. (2025, octubre 21). *Tipos de materiales cerámicos más usados en la construcción*. Crearal. <https://crearal.com/blog/tipos-de-materiales-ceramicos/>
- Crossette, B. (2011). Estado de la Población Mundial 2011. Retrieved from https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/SPSWOP2011_Final.pdf
- Cuadros, S. (2008). Residuos agrícolas, forestales y lodos (70 pp.). EOI Escuela de Negocios. Retrieved from https://www.prb.org/pdf14/2013-population-data-sheet_spanish.pdf
- Dávila, J. L., Galeas, S., Guerrero, V. H., Pontón, P., Rosas, N. M., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales.
- Del Río, M., Santa Cruz, J., & González, M. (2005). Morteros aligerados con arcilla expandida: Influencia de la granulometría y la adición de fibras de vidrio AR en el comportamiento mecánico. *Informes de la Construcción*, 57(497), 39–46.
- Demirbas, A., & Biodiesel, A. (2008). A realistic fuel alternative for diesel engines. London: Springer-Verlag. ISBN 10: 1846289947.
- Ecovative Design LLC. (2020). We Grow Materials. Retrieved from <https://ecovativdesign.com/>
- Ecovative. (2022, 8 de febrero). Retrieved from <https://ecovative.com>
- Elastómeros en la construcción. (2025, octubre 24). *Padua Materiales*. <https://paduamateriales.com/elastomeros-en-la-construccion/>
- Elsacker, E., De Laet, L., & Peeters, E. (2022). Functional grading of mycelium materials with inorganic particles: The effect of nanoclay on the biological, chemical and mechanical properties. *Biomimetics*, 7, 57.
- Elsacker, E., Søndergaard, A., Van Wylick, A., Peeters, E., & De Laet, L. (2021). Growing living and multifunctional mycelium composites for large-scale formwork applications using robotic abrasive wire-cutting. *Construction and Building Materials*, 283, 122732.
- Elsacker, E., Vandeloek, S., Brancart, J., Peeters, E., & De Laet, L. (2019). Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. *PLOS one*, 14(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954>

- Elsacker, E., Vandelook, S., Damsin, B., Van Wylick, A., Peeters, E., & De Laet, L. (2021). Mechanical characteristics of bacterial cellulose-reinforced mycelium composite materials. *Fungal Biology and Biotechnology*, 8, 1–14.
- Elsacker, E., Vandelook, S., Van Wylick, A., Ruytinx, J., De Laet, L., & Peeters, E. (2020). Un marco integral para la producción de compuestos lignocelulósicos a base de micelio. *Science of the Total Environment*, 725, 138431.
- El-Tayeb, T. S., Abdelhafez, A. A., Ali, S. H., & Ramadan, E. M. (2012). Effect of acid hydrolysis and fungal biotreatment on agro-industrial wastes for obtainment of free sugars for bioethanol production. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43, 1523–1535.
- Fajardo, J., Valarezo, L., López, L., & Sarmiento, A. (2013). Experiencias in obtaining polymeric composites reinforced with natural fiber from Ecuador. *Ingenius*, 9, 28–35. <https://doi.org/10.17163/ings.n9.2013.04>
- Feijóo Vivas, K., Bermúdez Puga, S. A., Rebolledo, H., Figueroa, J. M., Zamora, P., & Naranjo Briceño, L. (2021). Bioproductos desarrollados a partir de micelio de hongos: una nueva cultura material y su impacto en la transición hacia una economía sostenible.
- Fletcher, I. A. (2019). Effect of temperature and growth media on mycelium growth of *Pleurotus ostreatus* and *Ganoderma lucidum* strains. *Cohesive Journal of Microbiology and Infectious Disease*, 2(5).
- Früchtl, M., Senz, A., Sydow, S., Frank, J. B., Hohmann, A., Albrecht, S., Fischer, M., Holland, M., Wilhelm, F., & Christ, H. A. (2023). Sustainable pultruded sandwich profiles with mycelium core. *Polymers*, 15, 3205.
- Fuentes, J., Magaña, C., Suárez, L., Peña, R., Rodríguez, S., & Ortiz, B. (2001). Análisis químico y “digestibilidad in vitro” de rastrojo de maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 12, 189–192.
- FunHM, A. A. (2022, diciembre 19). Top metales más usados en la industria de la construcción. Fundiciones y Aleaciones HM. <https://www.aleacionesyfundidos.com/top-metales-mas-usados-en-la-industria-de-la-construccion/>
- Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., & Savino, E. (2019). Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: a review. *Sustainability*, 11(1), 281.
- Gogotsi, Y. (2007). *Nanomaterial Handbook*. United States: Taylor & Francis Group.
- Gómez, F., Trejo, L., Velasco, J., & Lara, L. (2016). Herramientas moleculares para estudios ambientales de actividades agroindustriales. *Agroproductividad*, 8, 3–9.
- González, A. (2021, mayo 17). *Polímeros*. Lifeder. <https://www.lifeder.com/polimeros/>
- González, M., González, E., González, V., & Albornas, Y. (2012). Impacto de la integración de los procesos de azúcar y derivados. *Tecnología Química*, 33, 21–31.
- Gouvea, B. M., Torres, C., Franca, A. S., Oliveira, L. S., & Oliveira, E. S. (2009). Feasibility of ethanol production from coffee husks. *Biotechnology Letters*, 31, 1315–1319.

- Graminha, E. B. N., Gonçalves, A. Z. L., Pirota, R. D. P. B., Balsalobre, M. A. A., da Silva, R., & Gomes, E. (2008). Enzyme production by solid-state fermentation: application to animal nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 144, 1–22.
- Guarin, A. S., Molina, J. S., & Díaz, J. C. L. (2017). Uso de nutrientes tecnológicos como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular. *Respuestas*, 22(1), 6–16.
- Guerrero, R., & Valenzuela, L. (2011). Agroindustria y medio ambiente. *Trilogía. Ciencia Tecnología Sociedad*, 23, 63–83.
- Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced materials from fungal mycelium: Fabrication and tuning of physical properties. *Scientific Reports*, 7(1), 41292.
- Haselein, R. (2002). Fabricação de chapas de partículas aglomeradas usando gesso como material cimentante. *Ciencia Forestal*, 12(1), 81–87. https://doi.org/10.5902/198050981703_periodicos.ufsm.br
- Hassan, F. R. H. (2007). Cultivation of the monkey head mushroom (*Hericium erinaceus*) in Egypt. *Journal of Applied Sciences Research*, 3, 1229–1233.
- Hassan, S. S., Williams, G. A., & Jaiswal, A. K. (2019). Lignocellulosic biorefineries in Europe: Current state and prospects. *Trends in Biotechnology*, 37(3), 231–234. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2018.07.002>
- Holt, G. A., McIntyre, G., Flagg, D., Bayer, E., Wanjura, J. D., & Pelletier, M. G. (2012). Fungal mycelium and cotton plant materials in the manufacture of biodegradable molded packaging material: Evaluation study of select blends of cotton by-products. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 6, 431–439.
- Houette, T., Maurer, C., Niewiarowski, R., & Gruber, P. (2022). Growth and mechanical characterization of mycelium-based composites towards future bioremediation and food production in the material manufacturing cycle. *Biomimetics*, 7, 103.
- Javadian, A., Ferrand, H. L., Hebel, D. E., & Saeidi, N. (2020). Application of mycelium-bound composite materials in construction industry: A short review. *SOJ Materials Science and Engineering*, 7, 1–9.
- Jones, M., Bhat, T., Kandare, E., Thomas, A., Joseph, P., Dekiwadia, C., Yuen, R., John, S., Ma, J., & Wang, C. H. (2018). Thermal degradation and fire properties of fungal mycelium and mycelium-biomass composite materials. *Scientific Reports*, 8, 17583.
- Jones, M., Bhat, T., Wang, C. H., Moinuddin, K., & John, S. (2017). Thermal degradation and fire reaction properties of mycelium composites. En *Proceedings of the 21st International Conference on Composite Materials* (pp. 20–25). Xi'an, China.
- Jones, M., Huynh, T., Dekiwadia, C., Daver, F., & John, S. (2017). Mycelium composites: A review of engineering characteristics and growth kinetics. *Journal of Bionanoscience*, 11, 241–257.

- Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., & John, S. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials & Design*, 187, 108397.
- Kalisz, R. E., & Rocco, C. A. (2011). *Foamend mycelium structure and method* (Patent, Vol. 1, pp. 1–32).
- Knob, A., Forthamp, D., Prolo, T., Izidoro, S. C., & Almeida, J. M. (2014). Agro-residues as alternative for xylanase production by filamentous fungi. *BioResources*, 9, 5738–5773.
- Kohphaisansombat, C., Jongpipitaporn, Y., Laoratanakul, P., Tantipaibulvut, S., Euanorasetr, J., Rungjindamai, N., Chuaseeharon Nachaid, C., Kwantong, P., Somrithipol, S., & Boonyuen, N. (2023). Fabrication of mycelium (oyster mushroom)-based composites derived from spent coffee grounds with pineapple fibre reinforcement. *Mycology*, 1–18.
- Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J., & Stroeve, P. (2009). Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Industrial & Engineering Chemistry*, 48, 3713–3729.
- Laukaitis, A. (2005). The effect of polystyrene granules on cement composite properties. *Cement & Concrete Composites*, 27, 41–47. Institute of Thermal Insulation, Elsevier Ltd.
- Laurichesse, S., & Avérous, L. (2014). Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. *Progress in Polymer Science*, 39, 1266–1290.
- Lertwattanaruk, P., & Suntijitto, A. (2015). Properties of natural-fiber cement materials containing coconut coir. *Construction and Building Materials*, 94, 664–669.
- LGEEPA. (2024). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de enero de 2021 (pp. 18–19).
- LGPGIR. (2015). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de mayo de 2015.
- Limayema, A., & Ricke, S. C. (2012). Lignocellulosic biomass for bioethanol production: Current perspectives, potential issues and future prospects. *Progress in Energy and Combustion Science*, 38, 449–467.
- Liu, R., Li, X., Long, L., Sheng, Y., Xu, J., & Wang, Y. (2020). Improvement of mechanical properties of mycelium/cotton stalk composites by water immersion. *Composites Interfaces*, 27, 953–966.
- López, F., Martínez, A. A., Caparrós, S., Gómez, M. M. G., Pérez, A., & Velasco, G. G. (2008). Aprovechamiento energético e integrado por fraccionamiento de biomasa lignocelulósica forestal y agroindustrial. *Boletín Informativo CIDEU*, (5), 7–19.
- López, M. F. J. (1993). *Arquitectura vernácula en México*. México: Trillas.

- Macedo, B. R. J. (2000). *Análisis del sistema de alimentación pecuario...* [Tesis Doctoral, Universidad de Colima]. Colima, México.
- Maki-Arvela, P., Salmi, T., Holmbom, B., Willför, S., & Murzin, D. Y. (2011). Synthesis of sugars by hydrolysis of hemicelluloses: A review. *Chemical Reviews*, 111, 5638–5666.
- Malaver, J. A. M. (2017, 22 de junio). Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de construcción [PowerPoint]. SlideShare. Retrieved from <https://es.slideshare.net/slideshow/propiedades-fisicasy mecanicasydelos materiales de construccion/77179927>
- Mandeep, Kaur, & Sodhi, H. S. (2016). Selection of high-yielding single-spore cultures of *Volvariella volvacea* (Bull., Fr.) Singer. *International Journal of Advanced Research*, 4, 487–493.
- Marco, J., García, E., Más, M. I., Alcaraz, V., & Luizaga, A. (2012). Estudio de la resistencia a compresión de morteros fabricados con conglomerante compuesto de polvo de vidrio. *Informes de la Construcción*, 64(528), 529–536.
- Marqués, S. (2010). *Valorización de diferentes cultivos lignocelulósicos para la fabricación de pasta de papel* [Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla]. Sevilla.
- Mbabali, H., Lubwama, M., & Yiga, V. A. (2024). Development of rice husk and sawdust mycelium-based bio-composites: Optimization of mechanical, physical and thermal properties. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series D*, 105, 97–117. <https://doi.org/10.1007/s40033-023-00458-x>
- McIntyre, G., Eben, B., & Palazzolo, A. (2018). *Mycological biomaterial* (Vol. 1).
- Mera Aguas, M. C., & Simbaña Villarreal, E. A. (2016). Evaluación de la capacidad calorífica de biocombustible sólido a partir de residuos lignocelulósicos de café. *Axioma*, 35(41). Retrieved from <http://pucesinews.pucesi.edu.ec/index.php/axioma/article/view/457/443>
- Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28–41.
- Mogu. (2020). *Mogu Radical by Nature: Mogu aoustics*. Retrieved from <https://mogu.bio/>
- Montoya, S., Sánchez, O. J., & Levin, L. (2014). Evaluación de actividades endoglucanasa, exoglucanasa, lacasa y lignina peroxidasa en diez hongos de pudrición blanca. *Biotechnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 12(2), 115–124.
- Moraga, D., & Cruz Sotelo, A. (2011). Sistema constructivo tradicional adobe. Universidad Nacional de Ingeniería. Retrieved May 2022, from <https://bit.ly/3OjIVyB>
- Moutta, R. O., Chandel, A. K., Rodrigues, R. C. L. B., Silva, M. B., Rocha, G. J. M., & da Silva, S. S. (2012). Statistical optimization of sugarcane leaves hydrolysis into simple sugars by dilute sulfuric acid catalyzed process. *Sugar Technology*, 13, 53–60.
- Muñoz, L. (2012). *Evaluación de enzimas degradadoras de lignina producidas por aislamientos fúngicos de cultivos de arroz* [Tesis].

- Mycel Project – FromHence Design. (2019). *Mycel Project*. Retrieved from <http://fromhence.design/portfolio/mycel-project/>
- Nawirska, A., & Kwaśniewska, M. (2005). Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chemistry*, 91(2), 221–225. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.10.005> [ResearchGate](https://www.researchgate.net/publication/23441111)
- Ndika, E. V., Chidozie, U. S., & Ikechukwu, U. K. (2019). Chemical modification of cellulose from palm kernel de-oiled cake to microcrystalline cellulose and its evaluation as a pharmaceutical excipient. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 13, 49–57. <https://doi.org/10.5897/ajpac2019.0787> [readpaper.com](https://www.readpaper.com/)
- Nigam, P. S., Gupta, N., & Anthwal, A. (2009). Pre-treatment of agro-industrial residues. In P. S. Nigam & A. Pandey (Eds.), *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilization* (pp. 13–33). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Ocampo, A. R. A. (2022). Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para la producción de hongos funcionales. [Tesis o trabajo técnico].
- Ojeda, A. (2018). Simulación de un reactor para devolatilización de residuos lignocelulósicos de banano y rosas. *Universidad Central del Ecuador*.
- Ospina, M., De Gutiérrez, R. M., Delvasto, S., Monzó, J., Borrachero, M. V., & Payá, J. (2009). Modificación de la morfología de la ceniza de cascarilla de arroz por molienda de altas energías y su efecto en las propiedades reológicas de pastas de cemento Portland adicionadas. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 51(2), 577–584.
- Özdemir, E., Saeidi, N., Javadian, A., Rossi, A., Nolte, N., Ren, S., Dwan, A., Acosta, I., Hebel, D. E., & Wurm, J. (2022). Wood-veneer reinforced mycelium composites for sustainable building components. *Biomimetics*, 7, 39.
- Padua & Padua. (2025, 18 de abril). Materiales estructurales y no estructurales para la construcción. *Padua Materiales*. Retrieved from https://paduamateriales.com/materiales-estructurales-y-no-estructurales-para-la-construccion/#google_vignette
- Pared Celular: qué es, función y estructura (procariota, vegetal y ...). (s.f.). *Bing*. Retrieved from <https://sl.bing.net/dlJPMrcFl9g>
- Paredes Angulo, V. H. (2017). Uso del bambú como material estructural: caso vivienda ecológica en Tarapoto–2017.
- Pauly, M., & Keegstra, K. (2010). Plant cell wall polymers as precursors for biofuels. *Current Opinion in Plant Biology*, 13, 305–312.
- Pelletier, M. G., Holt, G. A., Wanjura, J. D., Lara, A. J., Tapia-Carillo, A., McIntyre, G., & Bayer, E. (2017). An evaluation study of pressure-compressed acoustic absorbers grown on agricultural by-products. *Industrial Crops and Products*, 95, 342–347.
- Perea, E. (2024, octubre 21). *Producción de maíz en México en 2024, al mínimo en una década*. Imagen Agropecuaria. <https://imagenagropecuaria.com/2024/produccion-de-maiz-en-mexico-en-2024-al-minimo-en-una-decada/>

- Picco, C. M., Suarez, N. E., & Regenhardt, S. A. (2024). Exploring the impact of substrate composition and process parameters on biomaterial derived from fungus mycelium (*Pleurotus ostreatus*) and agricultural wastes. *MRS Advances*, 9, 33–38.
- Piña Guzmán, A. B., Nieto Monteros, D. A., & Robles Martínez, F. (2016). Utilización de residuos agrícolas y agroindustriales en el cultivo y producción del hongo comestible seta (*Pleurotus* spp.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(Especial Residuos Sólidos), 141–151. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.10>
- Piñeros Castro, Y. (2014). Aprovechamiento de biomasa lignocelulósica: algunas experiencias de investigación en Colombia. *Universidad Jorge Tadeo Lozano*.
- Pittau, F., Carcassi, O. G., Servalli, M., Pellegrini, S., & Claude, S. (2022). Hygrothermal characterization of bio-based thermal insulation made of fibers from invasive alien lake plants bounded with mycelium. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1078, p. 012069). Berlin, Germany: IOP Publishing.
- Pohl, C., Schmidt, B., & Nunez Guitar, T. (2022). Establishment of the basidiomycete *Fomes fomentarius* for the production of composite materials. *Fungal Biology and Biotechnology*, 9, 4. <https://doi.org/10.1186/s40694-022-00133-y>
- Population Reference Bureau-PRB. (2013). Cuadro de Datos de la Población Mundial. Retrieved from https://www.prb.org/pdf14/2013-population-data-sheet_spanish.pdf
- Profesionales, R., & Profesionales, R. (2022, 17 de agosto). Estructura de la celulosa. *MaderaPedia | El Portal de la Madera*. Retrieved from https://www.maderapedia.com/madera/estructura_de_la_celulosa.html#google_vignette
- Puig, R. P. (2023, 8 de diciembre). Hemicelulosa. *Lifeder*. Retrieved from <https://www.lifeder.com/hemicelulosa/>
- Radial. (2020). RADIAL – BIOMATERIALES. Tecnología. Retrieved from <https://radialbio.com/>
- Răut, I., Călin, M., Vuluga, Z., Oancea, F., Paceagiu, J., Radu, N., Doni, M., Alexandrescu, E., Purcar, V., & Gurban, A. M. (2021). Fungal based biopolymer composites for construction materials. *Materials*, 14, 2906.
- Restrepo, M. (2006). Producción más limpia en la industria alimentaria. *Producción + Limpia*, 1, 87–101.
- Rigobello, A., & Ayres, P. (2022). Compressive behaviour of anisotropic mycelium-based composites. *Scientific Reports*, 12, 6846.
- Rivas, B., Torrado, A., Torre, P., Converti, A., & Domínguez, J. M. (2008). Submerged citric acid fermentation on orange peel autohydrolysate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 2380–2387.
- Rodríguez, G., Lama, A., Rodríguez, R., Jiménez, A., Guillén, R., & Fernández-Bolaños, J. (2008). Olive stone: an attractive source of bioactive and valuable compounds. *Bioresource Technology*, 99, 5261–5269.

- Rodríguez, R. (1999). Aportaciones al conocimiento del estado medioambiental de microsistemas de interés internacional situados en Castilla-La Mancha [Tesis doctoral, Universidad de Castilla-La Mancha].
- Rosero-Delgado, E. A., Dustet-Mendoza, J. C., Díaz-Rodríguez, D., & León-G. (2016). Fermentación en estado sólido de residuos lignocelulósicos con *Auricularia auricula*. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(3), 28–36.
- Rossi, A., Javadian, A., Acosta, I., Özdemir, E., Nolte, N., Saeidi, N., Dwan, A., Ren, S., Vries, L., & Hebel, D. (2022). Home: Wood-mycelium composites for CO₂-neutral, circular interior construction and fittings. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1078, p. 012068). Berlin, Germany: IOP Publishing.
- Saad, M. B. W., Oliveira, L. R. M., Candido, R. G., Quintana, G., Rocha, G. J. M., & Goncalves, A. R. (2008). Preliminary studies on fungal treatment of sugarcane straw for organosolv pulping. *Enzyme and Microbial Technology*, 45, 220–225.
- Saez, D., Grizmann, D., Trautz, M., & Werner, A. (2022). Exploring the binding capacity of mycelium and wood-based composites for use in construction. *Biomimetics*, 7, 78.
- SAGARPA. (2015, 20 de julio). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Retrieved from <https://www.siap.gob.mx/>
- Sánchez Morales, V., Martínez Salinas, B. A., Mina Hernández, J. H., Córdoba Urrutia, E., Fajardo Cabrera de Lima, L. d. P., Maturana Peña, H., Valadez González, A., Ríos-Soberanis, C. R., & Pérez-Pacheco, E. (2024). Using Plantain Rachis Fibers and Mopa-Mopa Resin to Develop a Fully Biobased Composite Material. *Polymers*, 16, 329. <https://doi.org/10.3390/polym16030329>
- Sánchez, A., Gutiérrez, A., Muñoz, J., & Rivera, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Revista Tumbaga*, 1, 61–91.
- Sanchez, Y. (2018). Adsorción de arsénico y antimonio en soluciones acuosas mediante aplicación de biomasa lignocelulósica de cáscara de cacao. *Universidad Técnica de Machala*.
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A.C.*, 16, 14–46.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024, abril 4). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON)*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon?idiom=es>
- Serrano, T., Borrachero, M. V., Monzó, J. M., & Payá, J. (2012). Morteros aligerados con cascarilla de arroz: diseño de mezclas y evaluación de propiedades. *Dyna*, 79(175), 128–136.
- Shakir, M. A., Ahmad, M. I., Yusup, Y., & Rafatullah, M. (2023). From waste to wealth: converting rubber wood sawdust into green mycelium-based composite. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1–19.

- Shen, S.C., Lee, N.A., Lockett, W.J., Acuil, A.D., Gazdus, H.B., Spitzer, B.N., & Buehler, M.J. (2024). Robust myco-composites: a biocomposite platform for versatile hybrid-living materials. *Materials Horizons*, 11, 1689–1703.
- SIACON-SIAP. (2011). SIACON 1980–2011 [en línea]. Distrito Federal, México: SIAP.
- Silveira, M. L. L., Furlan, S. A., & Ninow, J. L. (2008). Development of an alternative technology for the oyster mushroom production using liquid inoculum. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28, 858–862.
- Sisti, L., Gioia, C., Totaro, G., Verstichel, S., Cartabia, M., Camere, S., & Celli, A. (2021). Valorization of wheat bran agro-industrial byproduct as an upgrading filler for mycelium-based composite materials. *Industrial Crops and Products*, 170, 113742.
- Somerville, C., Bauer, S., Brininstool, G., Facette, M., Hamann, T., Milne, J., Osborne, E., Paredes, A., Persson, S., Raab, T., Vorwerk, S., & Youngs, H. (2004). Toward a systems approach to understanding plant cell walls. *Science*, 306, 2206–2211.
- Sporatex, un biotextil creado a base de micelio de hongos. (2021). Retrieved from <https://sporabiotech.com/>
- Taher, I. B., Fickers, P., Chniti, S., & Hassouna, M. (2017). Optimization of enzymatic hydrolysis and fermentation conditions for improved bioethanol production from potato peel residues. *Biotechnology Progress*, 33(2), 397–406. <https://doi.org/10.1002/btpr.2427>
- Tamayo Gutiérrez, E., Sarasty Miranda, O., & Mosquera Quelal, E. (2017). Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos en la elaboración de empaques secundarios ecológicos. *Industrial Data*, 20(2), 37. <https://doi.org/10.15381/idata.v20i2.13959>
- Tan, L., Eberhard, S., Pattathil, S., Warder, C., Glushka, J., Yuan, C., Hao, Z., Zhu, X., Avci, U., Miller, J. S., Baldwin, D., Pham, C., Orlando, R., Darvill, A., Hahn, M. G., Kieliszewski, M. J., & Mohnen, D. (2013). An Arabidopsis cell wall proteoglycan consists of pectin and arabinoxylan covalently linked to an arabinogalactan protein. *The Plant Cell*, 25, 270–287.
- Tapia, P., Pavez, O., Santander, M., & Sepúlveda, B. (2017). Remoción de iones cobre con sorbentes orgánicos. *Holos*, 8, 42. <https://doi.org/10.15628/holos.2017.6661>
- Tarrés, Q., Espinosa, E., Domínguez-Robles, J., Rodríguez, A., Mutjé, P., & Aguilar, M. D. (2017). The suitability of banana leaf residue as raw material for the production of high-lignin content micro/nano fibers: From residue to value-added products. *Industrial Crops and Products*, 99, 27–33.
- Teeraphantuvat, T., Jatuwong, K., Jinanukul, P., Thamjaree, W., Lumyong, S., & Aiduang, W. (2024). Improving the physical and mechanical properties of mycelium-based green composites using paper waste. *Polymers*, 16, 262.
- Tejada Tovar, C. (2016). Adsorción de Ni (II) por cáscaras de ñame (*Dioscorea rotundata*) y bagazo de palma (*Elaeis guineensis*) pretratadas. *Revista Luna Azul*, 42(enero-junio), 30–43. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.4>

- Téllez, G. B. (2008). Construcciones con bambú en la Sierra Nororiental del Estado de Puebla. Conferencia impartida en el 2° Congreso Mexicano del Bambú. Puebla, México.
- Tello, P. (2011). *Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en ALC 2010*. Organización Panamericana de la Salud (OPS); Banco Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS); Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 164 p.
- Tufail, T., Saeed, F., Imran, M., Arshammad, M. U., Anjum, F. M., Afzaal, M., Ain, H. B. U., Shahbaz, M., Gondal, T. A., & Hussain, S. (2018). Biochemical characterization of wheat straw cell wall with special reference to bioactive profile. *International Journal of Food Properties*, 21, 1303–1310.
- VanWylick, A., Elsacker, E., Yap, L. L., Peeters, E., & De Laet, L. (2022). Mycelium composites and their biodegradability: An exploration on the disintegration of mycelium-based materials in soil. *Construction, Technology and Architecture*, 1, 652–659.
- Vargas, Y. A., & Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14, 1–14.
- Vašatko, H., Gosch, L., Jauk, J., & Stavric, M. (2022). Basic research of material properties of mycelium-based composites. *Biomimetics*, 7, 51.
- Ververis, C., Georghiou, K., Danielidis, D., Hatzinikolaou, D. G., Santas, P., Santas, R., & Corleti, V. (2007). Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements. *Bioresource Technology*, 98, 296–301.
- Vinueza, J. C. V., dos Santos, A. F., Bassan, J. C., Goulart, A. J., & Monti, R. (2013). Bromophenol blue discoloration using peroxidase immobilized on highly activated corncob powder. *Revista de Ciencias Farmacéuticas Básica e Aplicada*, 34(3), 321–326.
- Wortmann, S. C., Klein, R. N., & Shapiro, C. A. (2012). Harvesting crop residues. University of Nebraska.
- Xinyuan, J., Yuanyuan, L., Zhong, G., An, M., Zecai, H., & Suwen, Y. (2015). Pyrolysis characteristics and correlation analysis with the major components of seven kinds of nutshell. *Scientia Silvae Sinicae*, 51, 79–86.
- Zainudin, M. H. M., Rahman, N. A., Abd-Aziz, S., Funaoka, M., Shinano, T., & Shirai, Y. (2012). Utilization of glucose recovered by phase separation system from acid-hydrolysed oil palm empty fruit bunch for bioethanol production. *Sains Malaysiana Journal of Tropical Agriculture*, 35, 117–126.
- Zapata, D., Pujol, R., & Coda, F. (2012). Polímeros biodegradables: una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente. *Técnica Industrial*, 297, 76–80.
- Zeller, P., & Zocher, D. (2012). Ecovative's breakthrough biomaterials. *Fungi Magazine*, 5(1), 51–56.
- Zeng, Y., Himmel, M. E., & Ding, S. Y. (2017). Visualizing chemical functionality in plant cell walls. *Biotechnology for Biofuels*, 10, 263.

- Zhao, X., Peng, F., Cheng, K., & Liu, D. (2009). Enhancement of enzymatic digestibility of sugarcane bagasse by alkali-peracetic acid pretreatment. *Enzyme and Microbial Technology*, 44, 17–23.
- Zimele, Z., Irbe, I., Grinins, J., Bikovens, O., Verovkins, A., & Bajare, D. (2020). Novel mycelium-based biocomposites (MBC) as building materials. *Journal of Renewable Materials*, 8, 1067–1076.