UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA AGROINDUSTRIA

TRABAJO DE INTEGRCIÓN CURRICULAR

TEMA:

"Los residuos de la madera: Una fuente de materia prima para la industria biotecnológica"

AUTOR(ES):

Andrade Bone Limara Nicole

Ninacuri Silva Evelin Elizabeth

DOCENTE – TUTOR:

Dr. Amaury Pérez Martínez,PhD

Puyo – Pastaza - Ecuador

2023

UEA
UNIVERSIDAD
ESTATAL AMAZÓNICA

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.

Criterios	Puntaje	Argumentos de la calificación
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5.0 / 5	Si cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de que se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales harrazgos y conclusiones.	3.0 / 5	El objetivo y las conclusiones no están escritas de manera explícita
3. INTRODUCCIÓN		
Entrega información sobre temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	18.0 / 20	La presentación del problema es insuficiente
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	14.0 / 15	Es insuficiente la revisión bibliográfica actualizada
5. METODOLOGÍA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordo la información.	15.0 / 15	Si cumple

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y estan claramente representados. El texto no repite infromación entregada en los cuadros y figuras.	23.0 / 25	Los resultados encontrados no son expuestos claramente
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	8.0 / 10	No hay una reflexión de los resultados obtenidos
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5.0 / 5	Si cumple
VALORACIÓN TOTAL	91	NOVENTA Y UNA

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	Marque con X
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	91

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
VICTOR
RODRIGO CERDA
MEJIA

VÍCTOR RODRIGO CERDA MEJÍA (PAR CIEGO)

Dado en la ciudad de PUYO, a los 11 días del mes de SEPTIEMBRE de 2023

UEA
UNIVERSIDAD
ESTATAL AMAZÓNICA

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.

Criterios	Puntaje	Argumentos de la calificación
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5.0 / 5	Si cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de que se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales harrazgos y conclusiones.	4.0 / 5	Faltan algunos signos de puntuación en la redacción del texto.
3. INTRODUCCIÓN		
Entrega información sobre temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20.0 / 20	Si cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	14.0 / 15	Mantiene algunos errores gramaticales.
5. METODOLOGÍA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordo la información.	14.0 / 15	Mantiene algunos errores gramaticales.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y estan claramente representados. El texto no repite infromación entregada en los cuadros y figuras.	24.0 / 25	Mantiene algunos errores gramaticales.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10.0 / 10	Si cumple
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	4.0 / 5	Variabilidad entre el espacio interlineado
VALORACIÓN TOTAL	95	NOVENTA Y CINCO

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	Marque con X
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	95

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
MONICA PAULINA ECHEVERRIA GUEVARA

MÓNICA PAULINA ECHEVERRÍA GUEVARA (PAR CIEGO)

Dado en la ciudad de PUYO, a los 08 días del mes de SEPTIEMBRE de 2023

Ouriginal by Turnitin

Document Information

Firmado electrónicamente por: AMAURY PEREZ

Analyzed document	TIC-Andrade_Ninacuri.pdf (D172791580)
Submitted	2023-08-14 03:58:00
Submitted by	
Submitter email	agi2016007@uea.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	amperez.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / TIC_MAYRA CHIRIBOGA_FINAL-RV-30012022.docx
Document TIC_MAYRA CHIRIBOGA_FINAL-RV-30012022.docx (D126542979)
Submitted by: agi2015039@uea.edu.ec
Receiver: pmaerez.uea@analysis.urkund.com
9

SA

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / CHIRIBOGA MAYRA_HONGOS COMESTIBLES.docx
Document CHIRIBOGA MAYRA_HONGOS COMESTIBLES.docx (D110344582)
Submitted by: agi2015039@uea.edu.ec
Receiver: pmaerez.uea@analysis.urkund.com
1

W

URL: https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401877
Fetched: 2023-08-14 03:58:00
1

W

URL: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1335294
Fetched: 2023-08-14 03:58:00
1

W

URL: http://www.conicit.go.cr/prensa/boletincyt/palabras_investigador/Palabras-FabioD-Araya-Carvajal.pdf
Fetched: 2023-08-14 03:58:00
1

W

URL: https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/10012/T-1490.pdf
Fetched: 2023-08-14 04:01:00
1

"Los residuos de la madera: Una fuente de materia prima para la industria biotecnológica"

"Waste from the wood industry: a source of raw material for the biotechnology industry"

Andrade Bone Limara Nicole[1]
agi2016007@uea.edu.ec

Ninacuri Silva Evelin Elisabeth[1]
ee.ninacuris@uea.edu.ec

Pérez Martínez Amaury, Ph. D[2]
amperez@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera de Agroindustrias (1)

Resumen

Los residuos de madera, como el polvo, las virutas y el aserrín, contienen compuestos químicos valiosos como la celulosa, lignina y hemicelulosa. Históricamente, se han usado para generar energía mediante tratamientos térmicos. Sin embargo, se pueden aprovechar en procesos biotecnológicos. En este trabajo, se ha sistematizado las investigaciones que exploran cómo aprovechar los residuos de la industria maderera en la biotecnología, para ello se utilizó la metodología PRISMA para recuperar información de diferentes bases de datos y clasificarla según criterios de elegibilidad. Se compiló 47 artículos sobre tratamientos biotecnológicos para estos residuos, los tratamientos biotecnológicos son prometedores para la producción sostenible de bioetanol de segunda generación a partir de biomasa lignocelulósica. Esto reduce la dependencia de cultivos alimentarios y evita la competencia por recursos, además, algunos hongos como el *Agaricus bisporus*, Shiitake y Champiñón, que crecen en residuos madereros, no solo destacan por su sabor, sino también por sus propiedades medicinales. Esto ha aumentado su demanda en la industria alimentaria. También se exploran aplicaciones como la fabricación de bioplásticos, reduciendo la dependencia de plásticos derivados del petróleo y disminuyendo las emisiones de CO_2. Esto fortalece la sostenibilidad. Por otro lado, la hidrólisis de la madera es clave para producir biogás en su proceso el pre tratamiento alcalino diluido se ha mostrado como la opción más eficiente para mejorar la hidrólisis enzimática de los residuos de madera de especies como Lenga y Eucalipto. Esta diversificación de usos, desde biocombustibles y productos químicos hasta enzimas y materiales biodegradables, busca crear productos valiosos para la industria.

Palabras Clave: madera, procesos bioquímicos, aprovechamiento, biotecnología.

Abstract

Wood residues, such as dust, chips and sawdust, contain valuable chemical compounds such as cellulose, lignin and hemicellulose. Historically, they have been used to generate power through heat treatment. However, they can be used in biotechnological processes. In this work, the research that explores how to use waste from the wood industry in biotechnology has been systematized, for which the PRISMA methodology was used to retrieve information from different databases and classify it according to eligibility criteria. 47 articles on biotechnological treatments for these residues were compiled, biotechnological treatments are promising for the sustainable production of second generation bioethanol from lignocellulosic biomass. This reduces dependence on food crops and avoids competition for resources. In addition, some mushrooms such as Agaricus bisporus, Shiitake and Champignon, which grow on wood residues, not only stand out for their flavor, but also for their medicinal properties. This has increased its demand in the food industry. Applications such as the manufacture of bioplastics are also being explored, reducing dependence on plastics derived from petroleum and reducing CO2 emissions. This strengthens sustainability. On the other hand, the hydrolysis of wood is key to producing biogas in its process. The diluted alkaline pre-treatment has been shown to be the most efficient option to improve the enzymatic hydrolysis of wood residues from species such as Lenga and Eucalyptus. This diversification of uses, from biofuels and chemicals to enzymes and biodegradable materials, seeks to create valuable products for the industry.

Keywords*:* wood, biochemical process, use, biotechnology.

INTRODUCCIÓN

La producción global de astillas, partículas y residuos de la madera de acuerdo a los datos de la *FAO (Food Agriculture Organisation)* entre los años 2000-2023, alcanzó los 511,468,793 millones de metros cúbicos. En el año 2021 esta cifra reflejó la realidad de la demanda creciente de recursos materiales para satisfacer las necesidades de una población en aumento. En consecuencia, se proyecta un incremento en su utilización a nivel mundial, (FAO,2023). Es probable que la demanda prevista de papel/madera solo en China, supere las 180 toneladas a finales de 2050 lo que dará enormes problemas de eliminación de residuos no aprovechables de origen forestal (Rehman et al., 2023), en esa misma línea, las investigaciones sobre el aprovechamiento de los residuos generados por la industria de la madera son una preocupación dentro del escenario medioambiental (Oteiza et al., 2006).

Se conoce que, en América Latina, se produjo en promedio 51,674,813 millones de m^3 de residuos de madera durante los años 2016 - 2021 (FAO, 2000-2023). También, se evidencia la incapacidad de gestión de estos recursos no aprovechados a nivel individual y empresarial; según Bermúdez Alvite, (2004). Esta incapacidad se genera por aspectos como el exceso de residuos, la peligrosidad, variedad, y la dispersión de los puntos donde son generados.

Al mismo tiempo, en Ecuador, la FAO, (2000-2023) estimó aproximadamente 358,000 m^3 de residuos que representa el 70% de biomasa no aprovechable de diferentes especies, de la cantidad de biomasa total transportada a los aserraderos (González et al., 2023). Se puede

señalar que los residuos generados por la producción de especies forestales, está destinada principalmente tanto al almacenamiento como a la quema y existe una escasa información sobre su disposición final (Darío Aristizábal, 2011).

Los residuos de la madera provenientes de polvo, virutas, aserrín y despuntes, (Peñalba Berríos & Pérez Coronado, 2022) contienen altos porcentajes de compuestos químicos como, celulosa, lignina y hemicelulosa, que pueden ser utilizados para producir diferentes productos de procesos térmicos como pirólisis, torrefacción, gasificación, donde se obtiene energía eléctrica o térmica con la finalidad de producir líquido o bio aceite, *biochar* y gases (López-Chalarca et al., 2021). Estos tratamientos a pesar de generar energía y reducir lodos, plantea problemas económicos y medioambientales, es decir, la emisión antropogénica de CO_2 (Rehman et al., 2023).

Aunque se evidencian muchas investigaciones en los tratamientos termo-energéticos para la madera, existen otras alternativas para los residuos lignocelulósicos donde pueden ser descompuestos y empelados por microorganismos (Rodríguez et al., 2012). Son también llamados tratamientos biológicos entre los que pueden estar: fermentación, hidrólisis enzimática, cultivo de hongos.

Estos han sido investigados por diferentes autores cuya finalidad es generar los siguientes productos: bioplástico, sustrato para el crecimiento de microorganismos, fuente de enzimas (Ostos Ortíz et al., 2019), blanqueo biológico, degradación de la madera con hongos, fermentación de hidrolizado hemicelulósico, siendo materia prima en sectores industriales (Peñalba Berríos & Pérez Coronado, 2022). Como las industrias: de alimentos, cosmetología, medicina, industria farmacéutica, construcción. (López-Chalarca et al., 2021)

En relación con el ámbito biotecnológico, de acuerdo con Bárány et al. (2018), es posible reemplazar los procesos químicos convencionales mediante el empleo de herramientas químicas biotecnológicas. Esta tendencia al uso de la biotecnología ha ido en aumento, especialmente en la mejora de los problemas vinculados a los residuos de la biomasa forestal. Esta tendencia conlleva a la reducción de consumos energéticos, la disminución de contaminantes en el aire y una menor carga en los efluentes. Por consiguiente, la incorporación de residuos de madera en la biotecnología también presenta beneficios para el medio ambiente, ya que, al utilizarse como materia prima, se evita la explotación de recursos no renovables (Clauser, 2019).

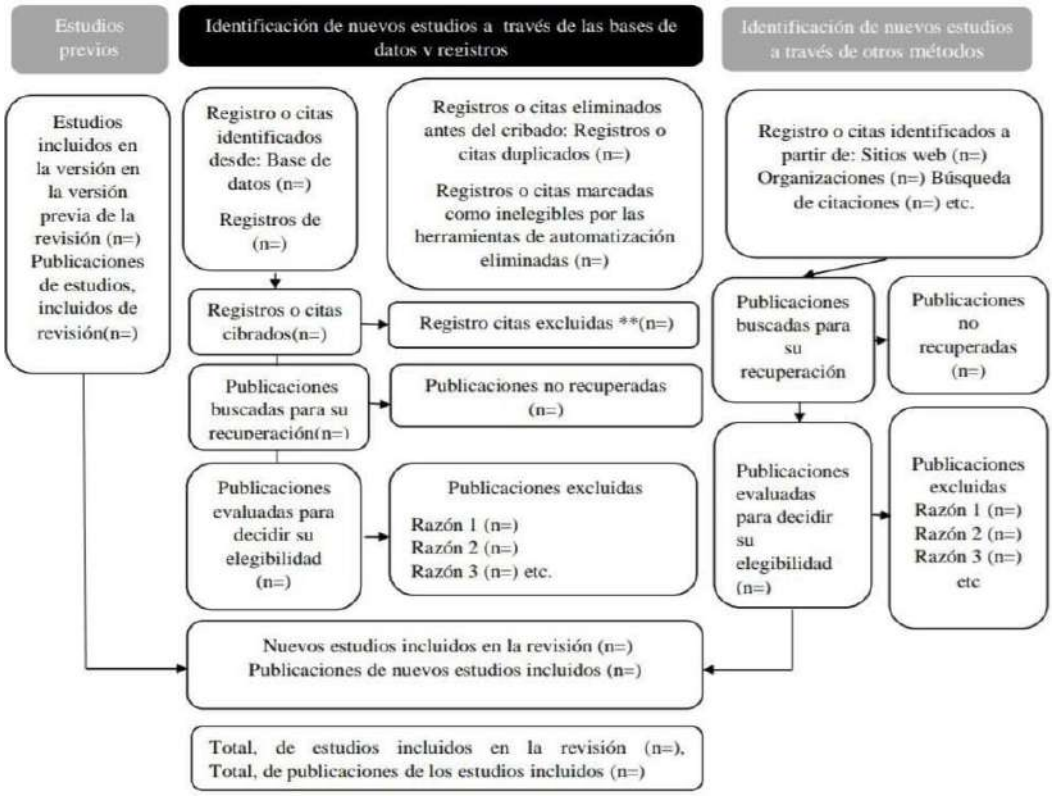
En este contexto, dado el volumen de residuos no aprovechados y su considerable potencial para la generación de productos biotecnológicos con valor añadido, el objetivo principal de este estudio fue sistematizar las investigaciones que aborden la utilización de residuos de la industria maderera como fuente de materia prima en el ámbito de la biotecnología.

2 METODOLOGÍA

La metodología *PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses)* propuesta por Page et al., (2021) fue utilizada para la recuperación de la información. El diagrama de flujo de la metodología posibilita la incorporación de múltiples

aspectos novedosos en términos conceptuales y metodológicos relacionados con los archivos relevantes en los últimos años. Estos aspectos se basan en una serie de pasos secuenciales que deben ser claramente delineados y explícitos (Figura 1)

Figura 1. Diagrama de flujo de PRISMA



Fuente: Adaptado de Page et al., (2021)

Los métodos para la verificación de *PRISMA* constan de cuatro pasos que permiten la identificación, puesta en pantalla, elegibilidad e inclusión de documentos. La identificación planteó generar registros a través de bases de datos, además registros adicionales de diferentes fuentes para ser expuestas. La (Tabla 1) permite diferenciar y eliminar archivos duplicados o que no cumplan con criterios de elegibilidad descritos, generando un registro de documentos excluidos. Para desarrollar el procedimiento de declaración *PRISMA* se debe tener en cuenta varios ítems antes de realizar una verificación en una publicación dentro de la revisión sistemática o sin metaanálisis. Estos ítems son señalados por Page et al., (2021).

Tabla 1 Métodos para la verificación de PRISMA

MÉTODOS		
Criterios de	1	Se debe especificar los criterios de inclusión (investigaciones donde los

elegibilidad		residuos de la madera podrían ser utilizados como materias primas) y exclusión aquellos estudios que no tuvieron información en el área forestal y agroindustrial de la revisión y la forma de agrupar los estudios para la síntesis. Se seleccionaron los artículos desde 1994-2023, que abordaron el tema acerca de los residuos generados en la industria maderera porque a partir de este momento se observó un mayor incremento en las investigaciones del uso de residuos como materia prima para la industria biotecnológica.
Fuentes de información	2	Especificar las bases de datos, registros, sitios web, organizaciones, listas de referencias y otros recursos de búsqueda o consultas para identificar los recursos de búsqueda con su respectiva fecha. La investigación se realizó con motores de búsqueda en lengua inglesa y castellana tales como *(Wiley Online Library, Dialnet, Scopus)*, repositorios académicos de diversas universidades y sistemas indexación (*ScienceDirect y Scielo*).
Estrategia de búsqueda	3	Se utilizó las siguientes estrategias de búsqueda con las bases de datos, registros y sitios web utilizando las palabras claves: "Wood Industry AND wasted AND biotecthnology ". El cual permitió tener un criterio de elegibilidad en los artículos científicos consultados.
Proceso de selección de los estudios	4	Especificar los métodos utilizados para decidir si el estudio cumple con los criterios de inclusión y cuántos autores son además de incluir los registros de cada publicación recuperada. La información recuperada es seleccionada por la relevancia y similitud en cuanto al aprovechamiento de los residuos de la madera. La estrategia es la combinación de palabras claves, mediante la herramienta *VOSviewer Online* para obtener un resultado de búsqueda preciso.
Proceso de extracción de los datos	5	Se debe indicar los métodos utilizados para extraer los datos de los informes o publicaciones, detallando si son varios autores o si trabajaron de forma independiente para confirmar los datos por parte de los investigadores. Los datos obtenidos son de relevancia información sobre los residuos de la industria maderera y su uso como materia prima en el sector biotecnológico, por medio de *Mendeley* y *VOSviewer* que procesa la información obtenida.
Lista de datos	6 a	La lista de datos fue por medio de investigaciones divididas en rangos de años según la cantidad de información que se obtuvo.
	6 b	Se enumeró los datos y se describieron los supuestos formulados sobre cualquier información ausente o incierta.

Fuente: Adaptado de (Page et al., 2021)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

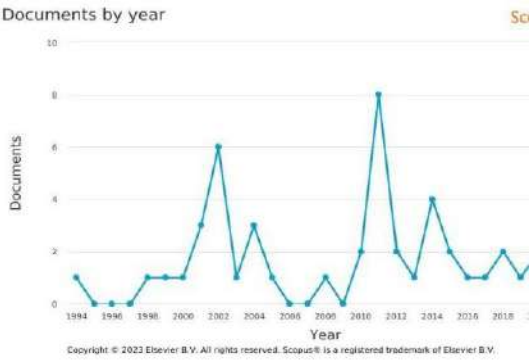
3.1 Comportamiento de las investigaciones sobre la utilización de los residuos de la madera en la industria biotecnológica:

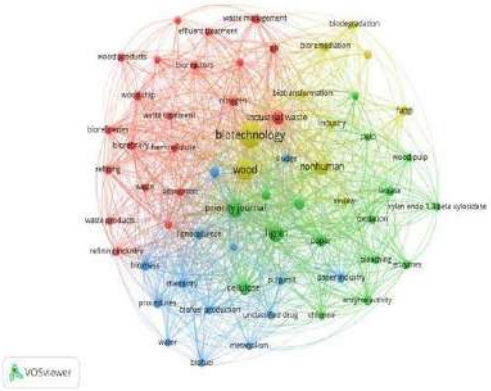
A partir de los 47 artículos recopilados se determinó que en el año 2011 (Figura 2 A) hubo

una mayor cantidad de artículos relacionados con el tema central del presente trabajo. En consecuencia, la (Figura 2 B) indica la concurrencia de términos importantes, donde cada uno de los cuatro colores (rojo, azul, verde y amarillo) representan un clúster de información, a su vez, las palabras de mayor tamaño son las que tienen más afluencia de búsqueda donde se ha centralizado la investigación.

Figura 2. Comportamiento de las investigaciones. **A:** Comportamiento cronológico. **B:** Concurrencia de las palabras claves**.**

A B





Fuente: Tomado de Scopus (2023) **Fuente:** Tomado de Vosviewer (2023)

Estos artículos se distribuyen por los tipos de documentos (Figura 3 A), teniendo un 59.6% de los artículos de investigación, aquellos de revisión 19.1%, documentos de sesión 8.5%, encuestas cortas 8.5%, revisión de conferencias 2.1%, notas 2.1% y otros 0.1%. Fundamentalmente las áreas de conocimiento que publicaron con mayor relevancia fueron: Ingeniería Química 25.8%, Medio Ambiente 19.5%, Energía 17.2 %, Bioquímica 14.1%, Inmunología 10.2%, Ingeniería 5.5%, Química 2.3%, Agricultura 1.6%, Tierra y planeta 1.6%, Medicina 1.6% y otras áreas 0.8%, como se muestra en la (Figura 3 B):

Figura 3. Distribución de las publicaciones. **A:** Tipos de documentos. **B:** Áreas de conocimiento.

A **B**



Fuente: Adaptado de Scopus (2023)

En la (Tabla 2) se muestran los resultados de estos artículos en cuanto a tipo de madera, tipo de residuo, porcentajes de la composición química (lignina, celulosa, hemicelulosa), tratamientos biotecnológicos, productos, país y referencia:

Tabla 2. Tratamientos biotecnológicos empleados en la biomasa

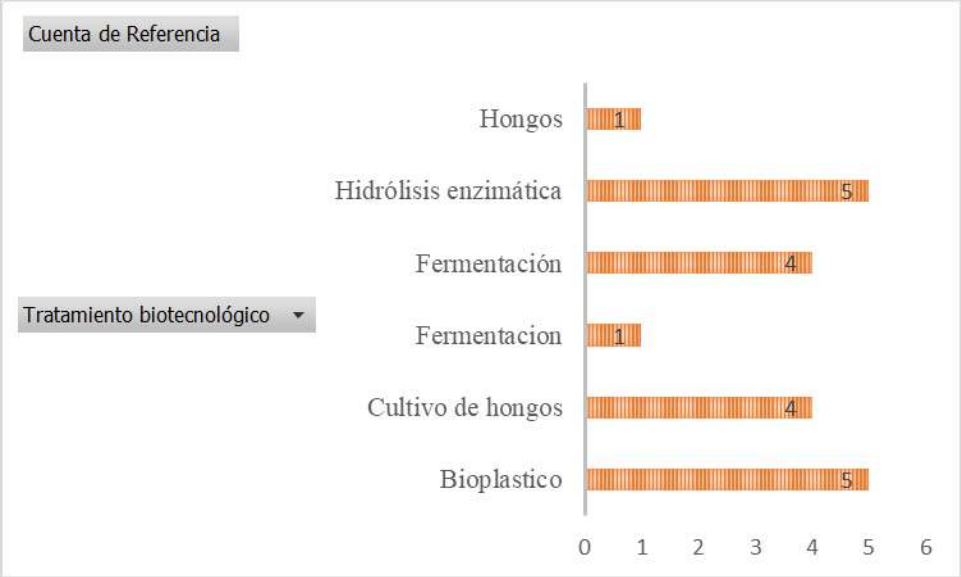
Tipo de madera / Especie Forestal	Tipo de residuo	Composición química %			Tratamiento biotecnológico	Producto	País	Referencia
		L.	H.	C.				
Quercus acutissima	Astillas (1–2 cm)	0,2	20-30	40-50	Fermentación	Mezcla de acetona, butanol y etanol	Japón	(Sasaki et al., 2014)
Eucalyptus	Astillas	25-35	20-30	40-50	Fermentación	Bioetanol	Francia	(Messaoudi et al., 2015)
Quercus serrata	Polvo	25-30	20-35	40-50	Fermentación	Bioetanol	Japón	(Kamei et al., 2012)
Pinus sylvestris	Trozos de madera	15-40	10-35	35-50	Fermentación	Etanol	Alemania	(Willke & Vorlop, 2004)
Nothofagus pumilio	Residuos	20-30	20-35	40-50	Fermentación	Bioetanol	Chile	(Salazar & Farrow, 2010)
Populus nigra y Eucalytus globulus	Astillas, aserrín	20-30	20-35	40-50	Cultivo de hongos	Sustratos	Chile	(Varnero et al., 2010)
Populus alba	Aserrín	20-30	20-35	40-50	Cultivo de hongos	Sustratos de crecimiento para hongos comestibles	Chile	(France et al., 2000)
Árboles muertos	Astillas, aserrín	25-35	20-30	40-50	Cultivo de hongos	Sustratos de crecimiento para hongos comestibles	Israel	(Cohen L. Persky Y. Hadar, 2002)
Pinus sylvestris	Residuos	0,45	0,15	0,25	Hongos	Blanqueo enzimático	Alemania	(Mai et al., 2004)
Quercus spp	Aserrín	19.5	0,35	0,39	Cultivo de hongos	Hongo comestible *Shiitake (Lentinula edodes (Berk) Pegler)*	Bolivia	(Pilco, 2011)
Nothofagus pumilio y Eucalyptus globulus	Astillas	20-30	20-35	40-50	Hidrólisis enzimática	Bioetanol	Chile	(Cotínez,. 2010)

Pinus	Aserrín	20-30	20-35	35-50	Hidrólisis enzimática	Azúcares fermentables	México	(López et al., 2009)
Pinus	Astillas	20-30	20-35	35-50	Hidrólisis enzimática	Azúcares fermentables	España	Morales, 2015)
Eucalyptus globulus	Astillas	20-30	20-35	40-50	Hidrólisis enzimática	-------	Cota Rica	(Carvajal et al., (2015)
Pinus patula y Eucalyptus camaldulensis	Astillas	20-30	20-35	35-50	Hidrólisis enzimática	------	Colombia	(Gómez et al., 2013)
Corchorus capsularis	Fibras	15-20	20-25	55-65	Bioplástico	Plásticos reforzados	México	(Majewski & Błędzki, 2013)
Calycophyllum spruceanum Be	Aserrín	20-30	20-35	35-50	Bioplástico	Probetas del compuesto polimérico	Perú	(Gago et al., 2011)
Pinuscaribaea	Aserrín	25-35	20-30	40-50	Bioplástico	Tableros de madera plástica	Cuba	(Martínez-López et al., 2017)
Pinus taeda L. y Eucalyptus saligna	Aserrín	28-29	17	36-45	Bioplástico	Compuesto de aglomerado	Brasil	(Rodrigues et al., 2023)
Pinus radiata	Corteza	25-35	20-30	40-50	Bioplástico	Biodegradación acelerada	------	(Moya-Villablanca et al., 2014)

L: Lignina; H: Hemicelulosa; C: Celulosa;-: Información no disponible

A partir de estos resultados se pueden agrupar las investigaciones Figura 4 en función del procedimiento biotecnológico.

Figura 4 Número de artículos científicos por tratamientos biotecnológicos



Fuente: Elaboración propia

3.2 PROCEDIMIENTOS BIOTECNOLOGICOS

3.2.1 Fermentación Alcohólica

Los residuos de la madera, los cuales son un subproducto abundante en la industria maderera forestal, están siendo cada vez más valorados como una valiosa fuente de materia prima en la producción de etanol mediante procesos de fermentación (Salazar & Farrow, 2010). Gracias a la implementación de tecnologías de fermentación avanzadas, se ha logrado incrementar el rendimiento y eficiencia en la producción de biocombustibles a partir de biomasa lignocelulósica como indican (Messaoudi et al., 2015). Esto ha logrado reducir el impacto ambiental al eliminar el uso de productos químicos tóxicos en los procesos de pretratamiento de la biomasa como señala (Sasaki et al., 2014).

Según Kamei et al., (2012). El etanol generado a partir de biomasa vegetal ha sido ampliamente considerado como una alternativa viable para sustituir los materiales a base de almidón en el proceso de fermentación, ya que proporciona una fuente de azúcar fácilmente accesible. Estos avances en la ingeniería de procesos y biotecnología han permitido aprovechar el potencial de la biomasa lignocelulósica como una fuente renovable de energía.

Se ha utilizado la madera como bioenergía, convirtiendo la glucosa en combustible biolíquido mediante la fermentación. Sin embargo, los autores Sasaki et al., (2014) mencionan que, debido a la presencia de lignina en la madera, es necesario realizar un pretratamiento respetuoso con el medio ambiente para descomponerla. La explosión de vapor es un método de pretratamiento hidrotermal que utiliza vapor a alta presión y temperatura sin la necesidad de adicionar productos químicos tóxicos. (Messaoudi et al., 2015).

Se ha considerado a *Q. acutissima* por (material celulósico) una de las especies con potencial para la producción de acetona-butanol-etanol (ABE) (Sasaki et al., 2014). Al igual que menciona Willke & Vorlop, (2004) de la especie *N. pumilio* también conocida lenga todos estos a partir de sus residuos forestales permitiendo aumentar la producción de bioetanol en cada uno de los casos.

La ingeniería de procesos se limitaba a la fermentación a través de hongos o bacterias (Salazar & Farrow, 2010). La utilización de hongos de pudrición blanca como fermentadores directos de celulosa ha abierto nuevas posibilidades para la obtención de bioetanol de manera más eficiente y sostenible Willke & Vorlop, (2004). Un caso ilustrativo, es el empleo de la cepa *Red Star* de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* como micoorganismo destinado a la fermentación.

El proceso de sacarificación y fermentación simultáneas (SSF) se ha evidenciado como una tecnología con un alto potencial, en especial, en la producción de bioetanol utilizando recursos forestales residuales. Esto demuestra el potencial que tienen los recursos lignocelulósicos como materia prima y su contribución al desarrollo de fuentes de energía renovable.

Es importante destacar que la producción de bioetanol de segunda generación, a partir de biomasa lignocelulósica, evita la competencia directa con los cultivos alimentarios, lo que garantiza la sostenibilidad y la seguridad alimentaria (Messaoudi et al., 2015). Según Salazar & Farrow, (2010), concluye que la utilización de biomasa lignocelulósica, como la madera, en la producción de bioenergía ha demostrado pruebas de ser una alternativa sostenible y prometedora.

3.2.3 Cultivos de hongos comestibles

Los hongos comestibles son una importante fuente de alimento y en países en desarrollo como Chile se consideran una alternativa nueva para obtener alimentos a bajo costo. Además, el uso de residuos de madera como sustrato para su cultivo también aprovecha los productos del bosque nativo. La madera de pequeño tamaño y los residuos de madera industrial tienen un potencial industrial adicional (Varnero et al., 2010). Esto permite usar un residuo muy económico y fácil de obtener (France et al., 2000). Según Ortega et al., (2005), los componentes estructurales de las células vegetales, como la lignina, celulosa y hemicelulosa, pueden experimentar degradación en distintos niveles a través de sistemas enzimáticos de diferentes especies de hongos. Estos experimentos se han llevado a cabo en medios ricos en nutrientes, los hongos tienen el potencial para ser utilizados en la descontaminación de suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) Cohen L. Persky y Hadar, (2002).

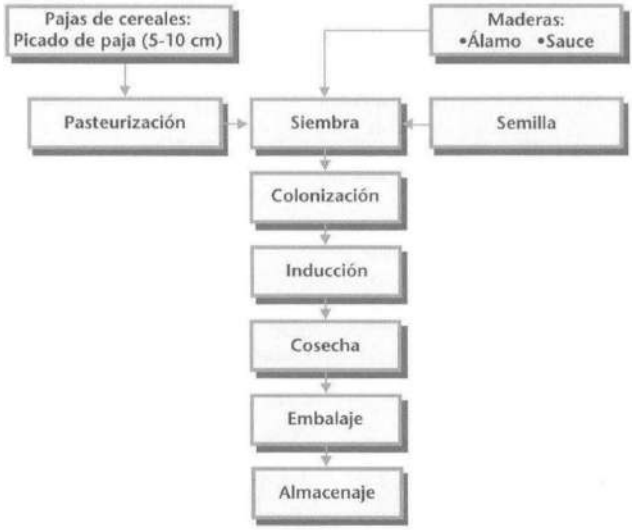
La producción hongos del género *Pleurotus* (Figura 5) se ha seleccionado entre los hongos cultivados debido a su facilidad de cultivo en comparación con el champiñón de París. Para su cultivo, se recomienda el uso de maderas blandas como álamo y sauce, ya que las maderas

como pinos o eucaliptos pueden resultar en un sabor fuerte y desagradable debido a la presencia de resinas. Según (Varnero et al., 2010) es la tercera seta más comercializada a nivel mundial y la segunda a nivel nacional. Es un hongo saprófito que crece en madera y se le conoce como hongo ostra. Es altamente nutritivo, rico en proteínas y vitaminas, y una buena fuente de calcio y fósforo.

Este género de hongos es muy versátil y puede adaptarse a diferentes condiciones ambientales, y se recomienda cosechar en el momento en que los sombreros alcanzan un diámetro de 3 centímetros, en el caso de los especímenes más pequeños y antes de que los ejemplares más grandes cambien su forma. En el proceso de cultivo, se observa que las maderas de mayor densidad tienen períodos de cosecha más largos que las maderas de menor densidad. Además, la fermentación produce cambios en la composición de los sustratos, con una mayor degradación de la hemicelulosa y la lignina. Se pueden obtener hasta tres cosechas de carpóforos en un período de 30 a 60 días de cultivo.

El *Pleurotus spp* también se puede cultivar en cultivos líquidos sumergidos para la producción de proteína fúngica o como fuente de semilla o agentes aromatizantes (Cohen L. Persky y Hadar, 2002). Aunque Chile produce hongo ostra, lo hace en cantidades muy bajas y alcanza un alto precio en el comercio mundial France et al., (2000)

Figura 5 Producción de Hongos Ostra



Fuente: Tomado de France et al., (2000)

En los estudios realizados destacan una serie de hongos como *Agaricus bisporus*, *Volvariella volvacea*, *L. edodes* y *Pleurotus*. Estos hongos tienen la capacidad de metabolizar selectivamente la fracción de lignina, dejando un residuo de pudrición blanca. Recalca (Ortega et al., 2005) que de los mencionados es el *A. bisporus* es el más versátil, ya que ofrece una variada selección de especies comestibles que muestran la capacidad de adaptación a diversas condiciones ambientales. Esto implica que su cultivo no está limitado

a un lugar específico, lo que lo convierte en una opción atractiva para los agricultores e investigadores interesados en producir alimentos.

Por otro lado, Pilco, (2011) señala, que el *L. edodes*, conocido como Shiitake, es mencionado como el segundo hongo comestible cultivado más importante después del Champiñón. Se destaca por su sabor y ha generado una gran demanda en la industria alimentaria. La producción mundial de *Shiitake en 1997* alcanzó las 1.564,400 toneladas, lo que demuestra su popularidad y la importancia económica que tiene.

Además de ser apreciados por su sabor, los hongos comestibles también tienen beneficios medicinales. El Shiitake, por ejemplo, se ha utilizado durante siglos en la medicina tradicional china debido a sus propiedades medicinales. Se cree que tiene efectos antibacterianos, antivirales y antitumorales, lo que lo convierte en un ingrediente valioso en la medicina natural y alternativa.

Es importante resaltar que el cultivo de hongos comestibles como el Shiitake no solo genera ingresos económicos significativos, sino que también contribuye a la creación de empleo. La demanda de este producto mueve cientos de millones de dólares al año, lo que representa una oportunidad de negocio para muchas personas. Además, el cultivo de hongos requiere mano de obra, lo que proporciona empleo a la población local.

Por lo tanto, los autores Pilco, (2011) y Ortega et al., (2005) están de acuerdo con que los hongos comestibles mencionados en el texto, como el *A. bisporus* y el *L. edodes*, presentan beneficios tanto económicos como medicinales. Su versatilidad y demanda en la industria alimentaria los convierten en una opción atractiva para los agricultores e inversores. Además, el cultivo de hongos comestibles genera empleo, lo que contribuye al desarrollo económico de una región o país.

3.2.4 Producción de bioplástico

El bioplástico ha demostrado ser muy versátil en términos de resistencia y utilidad como envase. Además de su uso en la creación de bolsas y envases, este material también ha encontrado aplicaciones en la construcción de edificios y vehículos (Gago et al., 2011). Las ventajas de los materiales compuestos a base de termoplásticos reciclados y fibras vegetales, también conocidos como *WPCs (Wood-Plastic Composites)* (Moya-Villablanca et al., 2014). Estos materiales ofrecen varias ventajas desde el punto de vista de la sostenibilidad, como la reducción de la dependencia de los plásticos derivados del petróleo y la disminución de las emisiones de CO_2.

Una de las ventajas más importantes de los WPCs es su capacidad para reducir la dependencia de los plásticos convencionales derivados del petróleo. Los plásticos convencionales son altamente contaminantes y contribuyen significativamente a la acumulación de residuos plásticos en el medio ambiente (Rodrigues et al., 2023). Al utilizar termoplásticos reciclados, se puede reducir la demanda de plásticos nuevos y, por lo tanto,

disminuir su impacto negativo en el medio ambiente Majewski, T., et al. (2013).

Según Moya-Villablanca et al., (2014), los WPCs también pueden disminuir las emisiones de CO_2. Esto se debe a que, en lugar de usar plásticos derivados del petróleo, se utilizan termoplásticos reciclados que ya han sido extraídos de la atmósfera como emisiones de CO_2. Al hacerlo, se reduce la huella de carbono de estos materiales y se contribuye a la lucha contra el cambio climático (Martínez-López et al., 2017), empleando fibras naturales recicladas como lo son los residuos de madera siendo una alternativa que busca atenuar la contaminación mediante un producto que pueda ser rehusado varias veces.

Menciona Majewski, T., et al. (2013) otra ventaja de utilizar residuos de la madera es la utilización de materiales reciclados y renovables. Al emplear termoplásticos reciclados, se aprovechan materiales que de otra manera podrían terminar en vertederos o incineradoras. Además, al utilizar fibras vegetales, se puede reducir aún más el impacto ambiental, ya que estas fibras son renovables y pueden provenir de fuentes sostenibles, como el bambú o la madera certificada. Además, pueden ser fabricados usando procesos de fabricación convencionales, lo que facilita su adopción en la industria.

Se combinan diferentes fibras naturales provenientes de especies como (*Corchorus capsularis, Calycophyllum spruceanum Be, Pinuscaribaea, Pinus taeda L. y Eucalyptus saligna*), junto con harina o aserrín de estas maderas secas, con plásticos como PP, PE, PVC Majewski, T., et al. (2013). Según Gago et al., (2011) en Alemania, el método más común de producción de plásticos reforzados es la presión de moldeo. Se realizaron mezclas de polvo de capirona (aserrín) tamizado a 400 µm con pellets de polietileno de alta densidad en proporciones iguales. En cuanto a los ensayos de biodegradación, se observa una mejora del 22% en comparación con la madera de capirona, frente a una pérdida de peso del 0,5% en el Compuesto Madera Polímero (CMP).

3.2.5 Hidrolisis enzimática

El proceso de hidrólisis de la madera es de gran importancia para la producción de biogás, ya que permite aprovechar los residuos de madera como una fuente de energía renovable. En este estudio, se evaluaron diferentes pretratamientos para mejorar la hidrólisis enzimática de los residuos de madera de Lenga y Eucalipto que contienen aproximadamente 40-50% de celulosa, 25-35% de hemicelulosa y 20-35% de lignina y son la principal fuente de material lignocelulósico en Colombia (Gómez et al., 2013).

En este caso, se aprovechan las propiedades de la madera como fuente de carbono para alimentar a estos microorganismos, que se encargan de descomponerla y transformarla en metano. Cuando se forma con residuos de madera presenta varias ventajas que la convierten en una opción interesante para la producción de biogás ayudando a reducir el impacto ambiental de estos materiales, evitando su acumulación en vertederos u otros sitios de disposición final (López et al., 2008). Al transformarlos en biogás, se genera un valor añadido al aprovechar estos residuos como fuente energética

El pretratamiento alcalino diluido se encontró que fue el más eficiente para generar azúcares reductores durante la sacarificación enzimática. Esto puede deberse a que el tratamiento alcalino ayuda a romper las estructuras lignocelulósicas, facilitando así la acción de las enzimas en la celulosa y hemicelulosa. En comparación con los pretratamientos con ácido diluido y explosión de vapor, los rendimientos de sacarificación fueron notablemente más altos con el pretratamiento alcalino diluido (Gómez et al., 2013).

Según Carvajal et al., (2010), El tratamiento alcalino *kraft* previo permitió que la lignina se disolviera y se eliminara, lo que redujo la obstrucción de agarre y favoreció la eficacia de las enzimas al disminuir los sitios de adsorción no productivos. Además, aumentó el tamaño del poro y el área superficial interna. Por otro lado, el tratamiento ácido de autohidrólisis redistribuyó la lignina de la fibra, lo que mejoró el acceso de las enzimas y facilitó la sacarificación de la celulosa.

Los resultados también mostraron que las variables probadas en este estudio, como el tiempo y la concentración del pretratamiento, así como el tiempo de hidrólisis, tuvieron un impacto significativo en la eficiencia de la hidrólisis enzimática. Estos hallazgos son consistentes con estudios anteriores que han demostrado la influencia de variables como la temperatura, el pH y la concentración de pretratamiento en la descomposición de la madera y la liberación de azúcares fermentables.

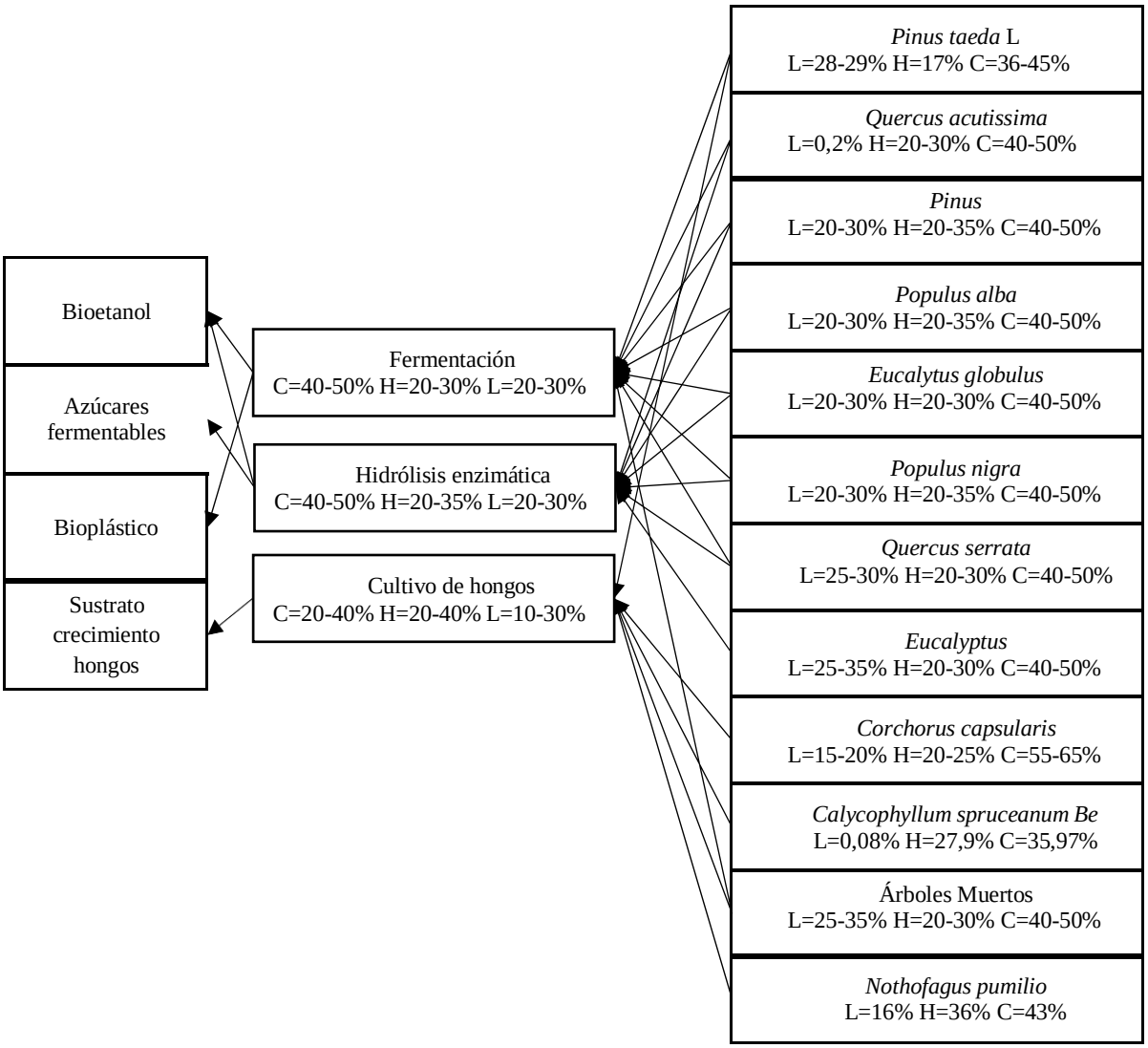
Es importante destacar que este estudio se llevó a cabo utilizando residuos de dos especies diferentes de madera, Lenga y Eucalipto en las investigaciones de (Cotínez,. 2010). Esto proporciona una perspectiva más amplia sobre la eficiencia de los pretratamientos en diferentes tipos de residuos, lo que puede ser útil para el diseño de procesos de hidrólisis enzimática a escala industrial.

El pretratamiento alcalino diluido mostró ser el más eficiente para mejorar la hidrólisis enzimática de los residuos de madera de Lenga y Eucalipto Carvajal et al., (2010). Estos hallazgos son relevantes para la producción de biogás y la valorización de residuos de madera como una fuente de energía renovable. Sin embargo, es necesario realizar más investigaciones para optimizar los parámetros de pretratamiento y estudiar la viabilidad económica de estos procesos a gran escala Gómez et al., (2013).

Durante el análisis e identificación del tratamiento biotecnológico respecto a los diversos autores estudiados se determinó que los residuos de la madera de las investigaciones en ocasiones no cumplían con los requerimientos ideales, por lo tanto, a partir de residuos lignocelulósicos se establecerá e identificará que los residuos de la (Tabla 2) estén vinculados al tratamiento biotecnológico ideal (Figura 5), para los residuos cuya composición química incluya 40-50% de celulosa, 20 – 35% de hemicelulosa y 20-30% de lignina, son ideales para los tratamientos biotecnológicos de fermentación e hidrólisis enzimática porque la celulosa es una fuente de azúcares fermentables, que puede ser convertida en biocombustibles y productos químicos, la hemicelulosa también puede ser hidrolizada, esto mejora la el

rendimiento total del proceso, por su parte, la lignina no es directamente fermentable pero proporciona nutrientes que facilitan el acceso a la celulosa y hemicelulosa al degradar parte de la matriz lignocelulósica. Mientras que aquellos residuos que su composición química contenga 20-40% de celulosa, 20-40% de hemicelulosa y 10-30% de lignina es eficiente para crecimiento y producción de hongos porque contiene C y N.

Figura 5 Selección de residuos para un tratamiento biotecnológico ideal:



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

La investigación resalta el potencial de la industria maderera como fuente valiosa de materias primas alternativas para la industria biotecnológica, recopilando y sistematizando la información, se dedujo las diversificaciones de aplicaciones de estos residuos, desde la producción de biocombustibles y productos químicos hasta la generación de enzimas y materiales biodegradables, en la búsqueda de soluciones sostenibles para gestionar los

residuos generados por la industria de la madera ha llevado al desarrollo de tratamientos biotecnológicos innovadores. Estos procesos permiten la transformación de los desechos en importantes bioproductos, como bioplásticos, enzimas, biocombustibles y compuestos químicos útiles. Al emplear enfoques biotecnológicos, no solo se reduce la cantidad de residuos en el medio ambiente, sino que también se fomenta una economía circular al maximizar el aprovechamiento de recursos disponibles. Específicamente, investigaciones destacan el potencial de especies como *Q. acutissima* y *N. pumilio* en la producción de acetona-butanol-etanol (ABE) y bioetanol a partir de sus residuos celulósicos y forestales, resaltando así la importancia de maderas de coníferas y frondosas en la generación de bioproductos mediante procesos biotecnológicos.

A pesar de los avances en el campo de los tratamientos biotecnológicos para los residuos de madera, se observa una carencia de información concreta. La ausencia de referencias claras en la literatura dificulta que las personas puedan discernir la ruta biotecnológica más adecuada para un tipo específico de madera y su respectivo residuo. Esta falta de orientación limita la capacidad de aprovechar de manera efectiva y beneficiosa los recursos disponibles.

REFERENCIAS

Ayala-Mendivil, N., & Sandoval, G. (2018). Bioenergía a partir de residuos forestales y de madera. *Madera y bosques, 24*. https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401877

Bárány, I., Berenguer, E., Solís, M.-T., Pérez-Pérez, Y., Santamaría, M. E., Crespo, J. L., Risueño, M. C., Díaz, I., & Testillano, P. S. (2018). Autophagy is activated and involved in cell death with participation of cathepsins during stress-induced microspore embryogenesis in barley. *Journal of Experimental Botany*, *69*(6), 1387-1402. https://doi.org/10.1093/jxb/erx455

Barco Joya, A. C. (2014). *Producción de alcohol a partir de residuos de la madera*. https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/1432/2014_Tesis_Ana_Cristina_Barco_Joya.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bermúdez Alvite, J. D. (2004). La gestión de los residuos de madera. *CIS madera: Revista del Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera*, *13*, 55-79. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1335294

Carvajal, D. F., Freer, J., Troncoso, E., Teixeira Mendonça, R., Ralph, J., Rencolet, J., Carlos, J., & Río, D. (2010). *Determinación de parámetros relevantes para la eficiencia de la hidrólisis enzimática de pulpas obtenidas por procesos de autohidrólisis y kraft de Eucalyptus globulus*. Conicit.go.cr. http://www.conicit.go.cr/prensa/boletincyt/palabras_investigador/Palabras-FabioD-

Araya-Carvajal.pdf

Clauser, N. M. (2019). *Estudio técnico-económico de la biorrefinería de los residuos de industrialización primaria de la madera y agroindustriales* [Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Doctorado en Ciencias Aplicadas]. https://rid.unam.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12219/2379/CLAUSER%20Nicol%C3%A1s%20Mart%C3%ADn_2019_%20Estudio%20t%C3%A9cnico-econ%C3%B3mico%20de%20la%20biorrefiner%C3%ADa... pdf?sequence=1

Cohen L. Persky Y. Hadar, R. (2002). Biotechnological applications and potential of wood-degrading mushrooms of the genus Pleurotus. *Applied microbiology and biotechnology*, *58*(5), 582-594. https://doi.org/10.1007/s00253-002-0930-y

Cortínez, V. A. (2010). *Comparación de Pretratamientos en Residuos Forestales para la Producción de Bioetanol de Segunda Generación: Hidrólisis Ácida y Líquidos Iónicos*. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102377

Darío Aristizábal, J. (2011). Desarrollo de modelos de biomasa aérea en sombríos de cafeto (coffea arabica L.) Mediante datos simulados developing above-ground biomass models for coffee (coffea arabica L.) Shade trees via simulated data. *U.D.C.A*. http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v14n1/v14n1a07.pdf

FAO. (2000). *Faostat: FAO Statistical Databases*. Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO). https://www.fao.org/faostat/es/#data/FO/visualize

FAO. (2023). *Comisión forestal para américa latina y el caribe*. Fao.org. https://www.fao.org/3/cc6233es/cc6233es.pdf

France, A., Cañimir, J. A., & Cortez, M. A. (2000). *Produccion de hongos ostra*. https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/146284/Produccionde hongosostra_BolINIA23.pdf?sequence=1

Gago, J., Ramos, V., León, K., López, A., Hernández, Y., Huatay, L., Santiago, J., & Solís, J. (2011). *Desarrollo de una extrusora de laboratorio para compuestos poliméricos basado en residuos de fibras naturales y polietileno*. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Desarrollo+de+una+extrusora.pdf

Gómez, E. A., Ríos, L. A., & Peña, J. D. (2012). Madera, un Potencial Material Lignocelulósico para la Producción de Biocombustibles en Colombia. *CIT*

Informacion Tecnologica, *23*(6), 73-86. https://doi.org/10.4067/s0718-07642012000600009

Gómez, E. A., Ríos, L. A., & Peña, J. D. (2013). Efecto del Pretratamiento de Biomasa Maderera en el Rendimiento a Etanol. *CIT Informacion Tecnologica*, *24*(5), 113-122. https://doi.org/10.4067/s0718-07642013000500013

González, J. E., Ledesma, R. D., & Abreu Naranjo, R. (2023). Energía Limpia Evaluación de residuos forestales de especies potenciales para la obtención del carbono como energía limpia de la Amazonia Ecuatoriana: Evaluación de residuos forestales de especies potenciales para la obtención del carbono como energía limpia de la Amazonia Ecuatoriana. *Enfoque UTE*. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.889

Herrera Builes, J. F., Osorio Saraz, J. A., Sepúlveda Villarroel, V. A., & Ananías Abuter, R. A. (2022). Chemical and structural changes of ocote pine (Pinus oocarpa) wood caused by thermal modification. *Revista Facultad Nacional De Agronomia Medellin*, *75*(2), 9999-10007. https://doi.org/10.15446/rfnam.v75n2.97576

Kamei, I., Hirota, Y., & Meguro, S. (2012). Integrated delignification and simultaneous saccharification and fermentation of hard wood by a white-rot fungus, Phlebia sp. MG-60. *Bioresource Technology*, *126*, 137-141. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.09.007

López, J., Soto, N. O., Rutiaga, O. M., Medrano, H., & Arévalo Niño, y. K. (2008). *Optimización del proceso de obtención enzimática de azúcares fermentables a partir de aserrín de pino*. 8.

López-Chalarca, L. T., Vega Rodriguez, L. Y., Rendón Colorado, C. D., & Tobón-Rojas, S. (2021). Characterization of wood industry waste for use in different applications. *Ingeniería y Desarrollo*, *38*(1), 104-124. https://doi.org/10.14482/inde.38.1.691.1

Majewski, T., & Błędzki, A. (2013). *Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales.* http://somim.org.mx/memorias/memorias2013/pdfs/A3/A3_141.pdf

Martínez-López, Y., García-Gonzalez, M., Fernández-Concepción, R. R., Álvarez-Lazo, D., & Martínez-Rodríguez, E. (2017). Proceso de transformación de la materia prima para tableros de madera plástica. *Ingenieria Industrial*, *38*(3), 235-246. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-

59362017000300002&lang=es

Messaoudi, Y., Smichi, N., Allaf, T., Allaf, K., & Gargouri, M. (2015). Effect of instant controlled pressure drop pretreatment of lignocellulosic wastes on enzymatic saccharification and ethanol production. *Industrial Crops and Products*, *77*, 910-919. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.074

Moya-Villablanca, C., Oses-Pedraza, R., Poblete-Wilson, H., & Valenzuela-Hurtado, L. (2014). Efectos del contenido de harina de corteza y madera de Pinus radiata sobre la biodegradación acelerada de compuestos madera-plástico. *Maderas Ciencia y tecnología*, *16*(1), 37-48. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2014005000004&script=sci_arttext

Ortega, G. M., Bueno, G., Betancourt, D., Álvarez, I., & González., A. L. (2005). Biotransformación de Residuos Lignocelulósicos con Hongos Pleurotus. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 36.* https://www.redalyc.org/pdf/1812/181220525083.pdf

Ostos Ortíz, O. L., Rosas Arango, S. M., & González Devia, J. L. (2019). Aplicaciones biotecnológicas de los microorganismos. *Nova*, *17*(31), 129-163. https://doi.org/10.22490/24629448.3629

Oteiza, I., Hernández Olivares, F., & A, Acosta (Eds.). (2006). *View of Encapsulation and re-use of wood industry waste: varnish powder* (Vol. 54, Números 282, 63-77). Instituto Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/28/40

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., & Moher, D. (2021). Updating guidance for reporting systematic reviews: development of the PRISMA 2020 statement. *Journal of Clinical Epidemiology*, *134*, 103-112. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.02.003

Peñalba Berríos, D. E., & Pérez Coronado, I. A. (2022). Residuos de madera generados en talleres de carpintería del municipio de Camoapa. *La Calera*, *22*(38), 41-45. https://doi.org/10.5377/calera.v22i38.14271

Pilco, J. J. V. (2011). *Efecto del sustrato en la producción del hongo comestible shiitake (lentinula edodes (berk) pegler) En ambiente protegido, en el departamento de tarija* [Universidad mayor de San Andrés].

https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/10012/T-1490.pdf

Pozzer, J. A., & Guzowski, E. (2011). *Materiales y materias primas*. https://www.inet.edu.ar/. http://(https://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/madera.pdf)

Rehman, Z. ur, Ijaz, N., Ye, W., & Ijaz, Z. (2023). Design optimization and statistical modeling of recycled waste-based additive for a variety of construction scenarios on heaving ground. *Environmental Science and Pollution Research International*, *30*(14), 39783–39802. https://doi.org/10.1007/s11356-022-24853-1

Rincón, C., & Emilia, L. (2009). Biotecnología en la industria de la pulpa, y el papel: mapeo de patentes. *Revista Escuela de Administracion de Negocios*, *67*, 139-151. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-81602009000300010

Rodrigues, F. R., Bispo, R. A., Cazell, P. H., Silva, M. J., Christoforo, A. L., & Silva, S. A. M. (2023). Particleboard composite made from Pinus and eucalyptus residues and polystyrene waste partially replacing the castor oil-based polyurethane as binder. *Materials research*, *26*(suppl 1). https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2022-0594

Rodríguez, A. Á., García, C. P., & Díaz, M. B. F. (2012). *Caracterización química de biomasa y su relación con el poder calorífico*. 12.

Romera, A. (2022, marzo 23). *Procesos de biotecnología industrial y valorización residuos*. ITENE; webmaster. https://www.itene.com/tecnologias/biotecnologia-industrial/

Salazar, O., & Farrow, A. (2010). *Selección de condiciones de fermentación de residuos de lenga para la producción de bioetanol* [universidad de chile]. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103642/cf-niklitschek_tc.pdf;sequence=3

Sasaki, C., Kushiki, Y., Asada, C., & Nakamura, Y. (2014). Acetone–butanol–ethanol production by separate hydrolysis and fermentation (SHF) and simultaneous saccharification and fermentation (SSF) methods using acorns and wood chips of Quercus acutissima as a carbon source. *Industrial Crops and Products*, *62*, 286-292. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.049

Varnero, M. T., Quiroz, M. S., & Álvarez, C. H. (2010). Utilización de Residuos Forestales Lignocelulósicos para Producción del Hongo Ostra (Pleurotus ostreatus). *CIT Informacion Tecnologica*, *21*(2), 13-20. https://doi.org/10.4067/s0718-07642010000200003

Willke, T., & Vorlop, K.-D. (2004). Industrial bioconversion of renewable resources as an alternative to conventional chemistry. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *66*(2), 131-142. https://doi.org/10.1007/s00253-004-1733-0

ANEXOS

MARCO TEÓRICO

Residuos de la madera

La madera es un componente biológico de origen de las plantas, que forma parte del tronco de los árboles. Su función principal es la de transportar agua y nutrientes que se encuentran alojados en el suelo para llevarlo hasta las hojas, también es responsable de brindar apoyo a las ramas de la copa y retener sustancias de reserva al acumular los productos modificados de interés que se producen en las hojas. (Pozzer & Guzowski, 2011). En el transcurso de la obtención de madera, se origina una considerable cantidad de desechos, los cuales se categorizan en dos grupos: 1) aquellos que derivan de actividades forestales como la recolección y extracción, y 2) los que se crean en la industria mientras se lleva a cabo el proceso de manufactura de la madera (Ayala-Mendivil & Sandoval, 2018).

Composición de la Madera

La madera al igual que la mayoría de las plantas, se compone de muchas células. Inicialmente, su pared celular es delgada y flexible, pero con el pasar del tiempo se endurece, en gran parte por la acumulación de celulosa, glúcidos y lignina que le confiere rigidez e impermeabilidad Pozzer & Guzowski, (2011). Las fibras de celulosa crean una estructura en la que se almacena la lignina, únicamente cuando este compuesto se deposita en la pared celular es cuando se configura el material que se conoce como madera. Es una fibra vegetal que parece cabello humano al microscopio cuya longitud y grosor varían según el tipo de árbol o planta (Barco Joya, 2014).

La célula de madera madura es sólida, resistente y adopta una forma definitiva. La composición química de la madera varía según la parte del árbol, tipo de madera, ubicación geográfica y condiciones. Datos acumulados a lo largo de años y de diferentes laboratorios han definido valores promedio para su composición química (Gómez et al., 2012). De manera general, la madera contiene aproximadamente un 50% de carbono, un 6% de hidrógeno, un 44% de oxígeno y trazas de varios iones metálicos. El análisis químico común diferencia entre maderas duras (angiospermas) y blandas (gimnospermas), pero no puede identificar especies individuales debido a variaciones y similitudes entre ellas (Gómez et al., 2012).

Propiedades de la madera

Para aquellos involucrados en el trabajo con madera, es crucial comprender las variaciones en sus propiedades estéticas, físicas y mecánicas. Además, es necesario evaluar su durabilidad, opciones de preservación y su idoneidad en diversos contextos y para distintos fines. La madera exhibe una gama de características que la convierten en una materia prima de alta calidad para la elaboración de productos específicos.

- Presenta una relación altamente favorable entre el peso específico y la resistencia mecánica.
- Posee una baja relación tener peso y volumen.
- Es de fácil manejo y se acopla por medio de uniones simples.
- Al secarse, funciona como un aislante acústico, eléctrico y térmico de alta calidad.
- Su apariencia brillante y natural le proporciona un valor comercial elevado por su estética y diseño.

En su mayoría la biomasa es celulosa, que se compone de cadenas largas de glucosa mediante enlaces β (1-4), que a su vez se organizan en estructuras de orden superior con alta cristalinidad (Barco Joya, 2014). La modificación térmica es un proceso ambientalmente amigable que mejora las propiedades de la madera sin usar sustancias químicas dañinas. Esto resulta en una mayor estabilidad dimensional, densidad y resistencia a la degradación, junto con un cambio de color valioso para diversos propósitos. (Herrera Builes et al., 2022) A pesar de las cualidades mencionadas, hay escasos obstáculos para su empleo, destacando su susceptibilidad a la descomposición por ser de origen orgánico y su tendencia a cambiar de tamaño debido a su capacidad de absorber y perder agua. En un análisis detenido, tratamos estas propiedades notables, su densidad varía según la especie, generalmente siendo menos densa que los metales, Además su dureza cambia, desde maderas duras y resistentes hasta maderas más suaves y maleables. La durabilidad también variable y puede requerir tratamientos para mejorarla. La madera ofrece flexibilidad y elasticidad, lo que permite absorber impactos. También su origen renovable y potencialmente sostenible la convierte en una elección eco amigable. Cada tipo de madera tiene propiedades únicas, lo que lo hace adecuada para una amplia gama de aplicaciones. específicas Pozzer & Guzowski, (2011).

Industria Biotecnológica

La mayoría de los desechos provenientes de la agroindustria poseen un potencial considerable, ya que pueden funcionar como una fuente rica en nutrientes para los procesos de la biotecnología industrial, abarcando la producción de una amplia variedad de productos químicos y combustibles, entre otros. En última instancia, la utilización diversa de los desechos agroindustriales representa una propuesta de gran importancia para la generación de biocombustibles y otros artículos, lo que a su vez contribuye a reducir la dependencia exclusiva de recursos como la caña de azúcar, esto, a su vez, añade valor y fomenta el desarrollo social en las comunidades comprometidas con el uso sostenible de las materias primas y los residuos. La industria biotecnológica utiliza residuos de madera para desarrollar productos y procesos sostenibles, lo que Esto implica la aplicación de microorganismos y enzimas para descomponer la madera y obtener productos químicos, materiales biobasados y energía (Rincón & Emilia, 2009).

Estas tecnologías buscan reducir la huella de carbono y promover la utilización eficiente de los recursos vegetales. Posibilitando la conversión de diversos residuos y subproductos,

que abarcan desde materia orgánica hasta desechos de envases, en productos valiosos mediante el empleo de enzimas y microorganismos. Se trata de instalaciones industriales que transforman por completo los residuos en diversos bioproductos, beneficiando sectores como el envase y embalaje, la industria química, la alimentaria, la farmacéutica y la cosmética (Romera, 2022).