

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PAPEL ELABORADO CON HOJAS SECAS VERSUS EL COMÚN: UN MODELO DE NEGOCIO

Arboleda_Álvarez, Luis

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
luisf.arboleda@esPOCH.edu.ec
ORCID N° 0000-0001-5541-6239

Bravo_Avalos, María

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
maria.bravo@esPOCH.edu.ec
ORCID N° 0000-0003-1840-1200

Cabezas_Oviedo, Nilo

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
nilo.cabezas@esPOCH.edu.ec
ORCID N° 0000-0002-4130-0347

Almeida_Guzmán, Manuel

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
maalmeida@esPOCH.edu.ec
ORCID N° 0009-0008-8286-9733

RESUMEN

El estudio evaluó y comparó las propiedades físicas, mecánicas, la durabilidad y el impacto ambiental del papel elaborado a partir de hojas secas frente al papel común, obtenido de la pulpa de madera. Se buscó determinar si el papel de hojas secas puede ser una alternativa ecológica al convencional. La investigación se basó en una metodología bibliográfica se realizó una revisión sistemática de la literatura y un análisis comparativo para investigar la producción de papel a partir de hojas secas. Se combinaron métodos cualitativos y cuantitativos para obtener una visión completa del estado actual de la investigación en este campo. Se analizaron propiedades físicas como grosor y resistencia, así como características mecánicas, deformaciones y el uso de aditivos para mejorar la durabilidad. También se compararon los procesos de producción para identificar cuál es más sostenible. Los resultados mostraron que el papel de hojas secas, hecho de jacinto de agua y flores secas, es más delgado pero resistente, y sus propiedades varían según el método de secado. Aunque puede deformarse, los aditivos mejoran su resistencia. Además, es más duradero que el papel convencional y su proceso de fabricación utiliza menos agua, lo que lo convierte en una opción más ecológica.

Palabras claves: Hojas secas, producción, sostenibilidad, físicas, mecánicas.

ABSTRACT

The study evaluated and compared the physical and mechanical properties, durability and environmental impact of paper made from dried leaves versus common paper obtained from wood pulp. We sought to determine if dry leaf paper can be an ecological alternative to conventional paper. The research was based on a bibliographic methodology, a systematic review of the literature and a comparative analysis were carried out to investigate the

production of paper from dry leaves. Qualitative and quantitative methods were combined to obtain a comprehensive view of the current state of research in this field. Physical properties such as thickness and resistance were analyzed, as well as mechanical characteristics, deformations and the use of additives to improve durability. Production processes were also compared to identify which is more sustainable. The results showed that dried leaf paper, made from water hyacinth and dried flowers, is thinner but stronger, and its properties vary depending on the drying method. Although it can deform, the additives improve its resistance. In addition, it is more durable than conventional paper and its manufacturing process uses less water, making it a more ecological option.

Key words: Dry sheets, production, sustainability, physical, mechanical.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el papel desempeña un papel crucial en nuestra sociedad debido a su variabilidad y utilidad en múltiples ámbitos. El papel es conocido como medio de comunicación, que facilita la transmisión y preservación de información a través de la escritura e impresión. En la educación, el papel es utilizado en los libros y cuadernos los cuales son herramientas fundamentales para el aprendizaje del estudiante, ya que este sector en la actualidad es el que más ocupa este material. A pesar del avance digital, el papel continúa siendo un elemento indispensable en nuestra vida cotidiana y en diversos sectores profesionales (Cantavalle, 2024). La producción del papel mejoro la vida del ser humano, pero también contribuye significativamente en la destrucción y contaminación de medio ambiente, uno de los problemas que está viviendo el mundo actualmente son las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Su impacto ambiental es severo ya que el proceso de fabricación del papel es uno de los procesos que más contaminantes que se emite al aire y al agua, ya que el papel se produce a partir de fibras vírgenes, principalmente de origen natural. El consumo de papel continúa aumentando en todo el mundo, por lo también aumenta la contaminación y una de las consecuencias más grandes es el dióxido de carbono (CO₂), uno de los gases que más contribuye al efecto invernadero y, por tanto, acelera el cambio climático, es el principal gas liberado a la atmósfera durante la producción de papel y cartón (Vidal Daza & Perez Vidal, 2018).

El papel producido a partir de hojas caídas de árboles, como la corona de piña, la hierba elefante y el jacinto de agua, exhibe propiedades físicas y químicas únicas en comparación con el papel convencional hecho de pulpa de madera. Las investigaciones muestran que estas fuentes alternativas contienen diferentes niveles de celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que afecta propiedades como la longitud de la fibra, el contenido de humedad y el contenido extractivo (Iglesias et al., 2023). Por ejemplo, los papeles hechos a partir de fibras de hojas de piña después de la biopulpa y los tratamientos enzimáticos mostraron un mayor contenido de celulosa y menores propiedades mecánicas, mientras que el papel de jacinto de agua y flores secas demostró una buena resistencia a la tracción en seco y un menor espesor, lo que indica potencial para una producción ecológica (Moya et al., 2023). Además, las características físicas de las hojas de papel resultantes, incluido el espesor, la opacidad y la resistencia a la tracción en seco, variaron según el material vegetal utilizado, lo que resalta las diversas propiedades de los papeles derivados de hojas caídas en comparación con el papel tradicional a base de madera (Kalimuthu et al., 2022).

La producción de papel común involucra varios procesos como mezclar fibras vegetales con agua, batir las fibras para crear pulpa, transferir la pulpa a una tela para fabricar papel, prensar el papel para reducir el contenido de agua, secado inicial, compactación entre rodillos, secado final y acabado a máquina (Marmol & Livipoma, 2014). Además, los métodos para crear características específicas en el papel incluyen la incorporación de materiales especiales como fibras diferentes a las de la pulpa base, rellenos y aglutinantes para producir vetas continuas, transparentes o translúcidas o campos delimitados junto con la formación de la estructura del papel (Marmol & Livipoma, 2014). Comprender la dimensión epistemológica de los sistemas de salud como el Sistema Único de Salud (SUS) es crucial para que las partes interesadas reflexionen sobre sus prácticas y las alineen con las demandas de salud pública, asegurando una prestación de atención médica eficaz (Moya et al., 2023). Además, analizar el impacto de materiales como el TiO₂ en las composiciones de vidrio bioactivo revela cómo pequeñas adiciones pueden alterar la bioactividad del material resultante, mostrando la importancia de la composición del material para determinar las propiedades (Marmol & Livipoma, 2014).

Mientras que el papel de hojas caídas ofrece importantes beneficios ambientales al utilizar hojas caídas, un recurso natural que normalmente se descarta, en el proceso de fabricación (Inyeong Kim, 2015). Este enfoque sostenible ayuda en la utilización de recursos y reduce los desechos, lo que contribuye a la conservación del medio ambiente. Además, el papel de hojas caídas y los contenedores hechos de hojas caídas son biodegradables, se descomponen naturalmente con el tiempo sin causar contaminación cuando se desechan (Kalimuthu et al., 2022). El uso de papel de hojas caídas en varias aplicaciones, como contenedores de alimentación para animales y macetas de cultivo de plantas, promueve prácticas ecológicas y reduce la dependencia de los métodos tradicionales de producción de papel que pueden implicar impactos ambientales más significativos (Inyeong Kim, 2015). Además, la invención de dispositivos de recolección de hojas caídas, como camiones y dispositivos de limpieza, agiliza la recolección y el procesamiento de hojas caídas, mejorando la eficiencia y reduciendo el trabajo manual, lo que en última instancia respalda un enfoque más sostenible y respetuoso con el medio ambiente para la gestión de desechos y la utilización de recursos (Inyeong Kim, 2015).

La elaboración de papel a partir de hojas caídas es un proceso ecológico que aprovecha recursos naturales renovables y promueve la sostenibilidad. Primero, las hojas se recolectan de forma sostenible en parques, jardines o zonas forestales, asegurando que no se dañe el ecosistema ni se afecte la biodiversidad (Eldoradocounty, 2024).

El proceso para elaborar el papel a base de hojas caídas empieza en la recolectadas, luego las hojas se limpian y clasifican, eliminando impurezas como ramas, tierra o piedras. Diferentes tipos de hojas, como las de arce, roble, tilo o plátano, pueden ser utilizadas, cada una aportando sus propias características de textura y color al papel final. Este paso es importante para asegurar la calidad y consistencia del producto (Sánchez, 2021). Las hojas limpias se hidratan y se cocinan en agua con sosa cáustica, una sustancia química natural que ayuda a descomponer las fibras vegetales y liberar la celulosa, la materia prima esencial del papel. La sosa cáustica es elegida por su efectividad y su bajo impacto ambiental comparado con otros productos químicos. Luego, la mezcla de hojas cocidas se tritura y se bate vigorosamente para crear una pulpa fina. Este proceso puede ser optimizado

utilizando energías renovables como la solar o la eólica, reduciendo así el consumo energético y el impacto ambiental. La innovación en este paso puede contribuir significativamente a la sostenibilidad del proceso. La pulpa resultante se vierte en moldes y se prensa para eliminar el exceso de agua. La forma del molde determina el tamaño y la forma del papel final, lo que permite la creación de productos personalizados y variados. Finalmente, el papel moldeado se seca al aire libre o con calor controlado, eliminando la humedad restante y dando al papel su consistencia final (Sánchez, 2021).

Los materiales utilizados incluyen las hojas caídas como principal insumo, sosa cáustica para descomponer las fibras vegetales, agua para los procesos de hidratación y cocción, moldes de diversos materiales para dar forma al papel, y prensas para eliminar el exceso de agua durante el moldeo. Estos materiales, en su conjunto, permiten un proceso eficiente y respetuoso con el medio ambiente (Sánchez, 2021).

La producción de este tipo de papel requiere menos energía y agua que la producción de papel tradicional, disminuyendo así su huella ambiental y las emisiones de gases de efecto invernadero. Por último, fomenta la economía circular al reutilizar materiales y crear productos con un menor impacto ambiental, contribuyendo a una gestión más sostenible de los recursos naturales (Reciclaje Contemar, 2021). Tanto el papel de hojas secas y el papel tradicional tienen propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad. Las propiedades físicas del papel elaborado a partir de hojas caídas difieren del papel convencional en varios aspectos. La investigación sobre la utilización de hojas caídas de plátanos para la producción de papel involucró procesos como la fabricación de pulpa, el desentintado y la formación del papel (Danov, 2023). También se estudiaron especies de plantas invasoras como *Arundo donax*, *Phytolacca americana*, *Eucalyptus globulus* y *Tradescantia fluminensis* para el potencial de fabricación de papel, mostrando características prometedoras para la producción de papel artístico [3]. Además, se investigaron fibras no leñosas de fuentes como la corona de piña, el arenero, el pino macho, la hierba elefante y las hojas de teca, destacando las diferencias en las propiedades químicas y físicas en comparación con los materiales de papel tradicionales a base de madera (Danov, 2023).

Además, el estudio que compara la fabricación de papel húmedo y los procesos de fundición en solución utilizando pulpas de eucalipto y pino Simao demostró propiedades mecánicas distintas y diferencias estructurales en las hojas de papel resultantes, enfatizando las ventajas de cada método. Estos hallazgos muestran colectivamente las propiedades físicas únicas y los beneficios potenciales de utilizar hojas caídas y fibras no leñosas para la producción de papel en comparación con los métodos convencionales (Danov, 2023).

Las propiedades mecánicas del papel elaborado a partir de hojas caídas difieren del papel convencional debido a las características únicas de las materias primas utilizadas en el proceso de fabricación. Las hojas caídas de los plátanos y otras fibras no leñosas como la corona de la piña, el pino macho, la hierba elefante y la teca se han explorado por sus potenciales para la pulpa y el papel, mostrando composiciones químicas y propiedades físicas variables (Adeoye et al., 2021). Además, el método de fabricación de materiales de papel que utilizan hojas caídas implica procesos como el desentintado, el envejecimiento y la mezcla con pulpa existente, lo que conduce a propiedades de reticulación mejoradas y resistencias mecánicas potencialmente

diferentes en comparación con los métodos tradicionales de fabricación de papel (The physics of falling leaves, 2001). Comprender el movimiento de las hojas que caen a través del modelado con papeles también puede proporcionar información sobre la dinámica y la forma del papel resultante, lo que potencialmente influye en su comportamiento mecánico (Adeoye et al., 2021).

Las propiedades de durabilidad del papel hecho a partir de hojas caídas difieren del papel convencional debido al proceso de fabricación único y los materiales utilizados. Las hojas caídas de los plátanos se procesan con aserrín, se destintan con una solución de hidróxido de sodio y se combinan con fibras de papel existentes para crear un material compuesto (Releaf-paper, 2024). Por el contrario, el papel convencional generalmente se fabrica a partir de pulpas de madera o fibras de papel reciclado. Las investigaciones que comparan la durabilidad de los papeles de diferentes materiales muestran que los papeles hechos a partir de fibras de líber, como los de las hojas caídas, son menos degradables en comparación con las pulpas de madera, lo que indica una ventaja potencial en la durabilidad del papel a base de hojas (Gráfica EI, 2024). Además, estabilizar el papel con Ionita fibrosa, como se sugiere en otro estudio, puede mejorar aún más la durabilidad del papel al inactivar los iones de hierro que catalizan el deterioro oxidativo, lo que potencialmente beneficia también a los papeles hechos a partir de hojas caídas (Wu et al., 2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio, con un enfoque mixto y un alcance exploratorio y descriptivo, tiene como objetivo identificar y comprender la investigación científica sobre la producción de papel a partir de hojas secas. Se empleó una metodología cualitativa a través de una revisión sistemática de la literatura para explorar a profundidad los estudios existentes. Se realizaron búsquedas exhaustivas en bases de datos como Google Scholar y Biblioteca digital, utilizando palabras clave como "producción de papel", "hojas secas", "sostenibilidad" y sus equivalentes en inglés.

Para garantizar la rigurosidad de la revisión, se establecieron criterios de inclusión y exclusión claros, y se seleccionaron artículos que cumplieran con los requisitos de relevancia y calidad. Los artículos seleccionados fueron analizados de manera cualitativa para identificar temas recurrentes, metodologías utilizadas, resultados y conclusiones.

Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis cuantitativo comparativo de las propiedades y producción del papel a base de hojas secas frente al papel convencional. Para ello, se recopilaron datos de diversos artículos científicos que reportaban propiedades como resistencia, blancura y costo de producción.

El diseño de investigación es no experimental y transversal, ya que se analizaron datos existentes en un momento específico del tiempo sin manipular variables. El enfoque es principalmente descriptivo, buscando caracterizar el estado actual de la investigación en este campo y establecer comparaciones entre los dos tipos de papel.

En resumen, la metodología empleada en este estudio combina la rigurosidad de una revisión sistemática con un análisis cuantitativo comparativo, lo que permite obtener una visión integral y actualizada sobre la producción de papel a partir de hojas secas.

RESULTADOS

Comparación de las propiedades físicas del papel de hojas secas y papel común.

En la Tabla 1, se puede apreciar las distintas propiedades físicas como la composición, el grosor, resistencia, efecto de método de secado y eficiencia de la industria tanto del papel de hojas caídas y el papel convencional.

Propiedad	Papel de Hojas Secas	Papel Normal
Composición	57% lignocelulosa de jacinto de agua, 40% celulosa de flores secas	Pulpa de madera
Grosor	Menor grosor	Grosor estándar
Resistencia a la tracción	Buena resistencia a la tracción en seco	Resistencia a la tracción estándar
Efecto del Método de Secado	- Secado a presión: menor rugosidad, mayor resistencia al desgarro - Secado al vacío: mayor rugosidad, mayor resistencia al estallido	No se especifica un método particular
Eficiencia en la Industria	Eficiente para la producción de papel	Uso general en diversas aplicaciones

Tabla1: Comparación de las propiedades físicas del papel de hojas secas y papel común.
Elaborado: Por el autor

Comparación de las propiedades mecánicas del papel de hojas secas y papel común.

En la Tabla 2, se puede apreciar las distintas propiedades mecánicas como: cambios durante el secado, deformaciones, aditivos, mejora en propiedades mecánicas, efecto de líquido iónico, tienen tanto el papel de hojas caídas y el papel convencional.

Propiedad	Papel de Hojas Secas	Papel Normal
Cambios durante el secado	Cambios significativos en las propiedades mecánicas	No se menciona un cambio específico
Deformaciones	Deformaciones inelásticas predominan debido al secado restringido	Deformaciones estándar
Aditivos	No se mencionan aditivos específicos	Mejora de propiedades mecánicas con

		aditivos como glucosa, metilcelulosa y carboximetilcelulosa
Mejoras en propiedades mecánicas	No se especifican mejoras significativas	Compuestos CMC muestran mejoras en tensión de rotura, deformación y absorción de energía
Efecto de líquidos iónicos	No se menciona	Disminución en resistencia a la tracción, módulo elástico y deformación de rotura al estar saturado con líquidos iónicos hidrófobos

Tabla 2: Comparación de las propiedades mecánicas del papel de hojas secas y el papel común
Elaborado: Por el autor

Comparación de la durabilidad del papel de hojas secas y papel común.

En la Tabla 3, se puede apreciar las distintas propiedades de la durabilidad como resistencia a la tracción, durabilidad, degradabilidad, aplicaciones que comparten el papel de hojas caídas y el papel convencional.

Propiedad	Papel de Hojas Secas	Papel Normal
Resistencia a la tracción	Mayor resistencia a la tracción en comparación con el papel formado en húmedo convencional (cuando se fabrica a partir de las mismas fibras desintegradas en seco)	Resistencia estándar, depende del tipo de pulpa utilizada
Durabilidad	Potencial de mejora en durabilidad con tecnología de formado en seco	Papel de alta durabilidad incluye capas protectoras como poliuretano, que ofrecen resistencia a la suciedad y fricción
Degradabilidad	No se menciona específicamente, pero se sugiere que puede variar	Papeles hechos de fibras de líber son menos degradables que los de pulpas de madera, lo que resalta la influencia de las fuentes de fibra en la durabilidad
Aplicaciones	Potencial para aplicaciones que requieren alta resistencia	Cumple con estrictas restricciones de

		fabricación e impresión
--	--	-------------------------

Tabla 3: Comparación de las propiedades de durabilidad del papel de hojas secas y el papel común
Elaborado: Por el autor

Proceso de elaboración del papel de hojas secas vs Papel común

En la Tabla 4, se puede apreciar las distintas comparaciones que existen en estos tipos de papel empezando por la materia prima, la preparación de la materia prima, pulpaje, blanqueamiento, formación de la hoja, secado y prensado y finalmente el acabado de este tipo de papeles.

Etapa	Papel de hojas secas	Papel común
Recolección de materia prima	Hojas secas recolectadas del suelo o de los árboles	Árboles talados de bosques
Preparación de la materia prima	Limpieza y desmenuzamiento de las hojas secas	Descorteza, astillado y conversión de troncos en pulpa
Pulpaje	Ebullición de las hojas secas en agua para extraer fibras	Tratamiento de la pulpa de madera con químicos para separar fibras de celulosa
Blanqueamiento (opcional)	Puede realizarse con métodos naturales (sol, peróxido de hidrógeno)	Se realiza con químicos fuertes como el cloro
Formado de la hoja	Vertido de pulpa diluida en agua sobre un tamiz	Vertido de pulpa diluida en agua sobre una máquina de papel
Secado y prensado	Prensado y secado al aire o con calor	Prensado y secado con rodillos calientes
Acabado	Calandrado, alisado o decoración	Calandrado, alisado, estucado o recubrimiento

Tabla 4: Proceso de elaboración del papel de hojas secas vs Papel común
Cuadro comparativo
Elaborado: Por el autor

La sostenibilidad ambiental del papel de hojas secas vs el papel común

En la Tabla 5, se puede apreciar las distintas comparaciones que existen en la sostenibilidad ambiental de papel producido por la hoja seca y el papel común.

Aspecto	Papel de Hojas Secas	Papel Normal
Método de Producción	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza hojas secas caídas, evitando la tala de árboles. - Proceso incluye despulpado en seco y fibrilación de fibras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Basado en pulpa de madera, requiere tala de árboles. - Uso intensivo de agua en el despulpado húmedo.
Consumo de Recursos	<ul style="list-style-type: none"> - Ahorra hasta 15 veces el uso de agua en comparación con el papel normal. - Utiliza electricidad, gas y carbón de manera eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto consumo de agua y energía en el proceso de fabricación.
Emisiones de CO2	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción del 78,3% en emisiones de CO2 en comparación con el papel normal. - Ajuste en tasas de producción para minimizar el consumo de gas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor huella de carbono debido al uso de recursos y procesos menos eficientes.
Impacto Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Alternativa biodegradable y sostenible. - Contribuye a la conservación de la biodiversidad al no requerir tala de árboles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contribuye a la deforestación y pérdida de hábitat natural. - Genera preocupaciones ambientales por el desperdicio de agua y recursos.
Responsabilidad Corporativa	<ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de mayor divulgación sobre el desempeño en sostenibilidad. - Énfasis en prácticas de gestión forestal sostenible. 	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluaciones de calidad en la industria papelera requieren mayor transparencia sobre impactos ambientales.

Tabla 5: Comparación de la sostenibilidad ambiental del papel de hojas secas y el papel común
Elaborado: Por el autor

DISCUSIÓN

Las propiedades físicas del papel de hojas secas y del papel normal se pueden comparar en función de varias características. El papel de hojas secas, producido a partir de una combinación de jacinto de agua y flores secas, contiene un 57 % de lignocelulosa de jacinto de agua y un 40 % de celulosa de flores secas, lo que lo hace adecuado para la producción de papel (Nacr.cz, 2003). Por otro lado, el papel normal normalmente consta de pulpa de madera. Al analizar las propiedades físicas, factores como el grosor, la opacidad y la resistencia a la tracción desempeñan un papel crucial. El papel de hojas secas de raíz y pecíolo seco mostró un grosor menor y una buena resistencia a la tracción en seco, lo que lo hace eficiente para la industria del papel (Nacr.cz, 2003). Además, los diferentes métodos de secado pueden afectar las propiedades del papel, ya que el secado a presión da como resultado una rugosidad menor pero una mayor resistencia al desgarro, mientras que el secado al vacío da como resultado una rugosidad y una resistencia al estallido mayores (Kalimuthu et al., 2022). Comprender estas diferencias puede proporcionar información sobre las características únicas del papel de hojas secas en comparación con el papel normal tradicional.

Las propiedades mecánicas del papel fabricado a partir de hojas secas y papel normal revelan diferencias significativas. Las hojas secas exhiben cambios en las propiedades mecánicas durante el proceso de secado, con deformaciones inelásticas que dominan debido al secado restringido (Urstöger et al., 2020). Por otro lado, los compuestos de papel con aditivos como glucosa, metilcelulosa y carboximetilcelulosa muestran propiedades mecánicas mejoradas, especialmente con compuestos CMC que demuestran mejoras sustanciales en la tensión de rotura, la deformación y la absorción de energía (Kobayashi et al., 2023). Además, se explora la influencia de los líquidos iónicos en las propiedades del papel, indicando una disminución en la resistencia a la tracción, el módulo elástico y la deformación de rotura cuando los papeles están saturados con un líquido iónico hidrófobo (Helbrecht et al., 2023). Estos hallazgos subrayan los diversos efectos de diferentes tratamientos y aditivos en las características mecánicas del papel, destacando la importancia de comprender estas variaciones para varias aplicaciones.

Las propiedades de durabilidad entre el papel en hojas secas y el papel normal revela diferencias significativas en su resistencia a varios factores. El papel formado en seco, como estudiaron Kim et al., exhibió una mayor resistencia a la tracción en comparación con el papel formado en húmedo convencional cuando se fabricó a partir de las mismas fibras desintegradas en seco, lo que muestra el potencial de la tecnología de formado en seco para mejorar las propiedades de resistencia (Kim et al., 2006). Por otro lado, el papel de alta durabilidad, como describe Vincent, incluye una capa protectora con una capa exterior a base de poliuretano, que ofrece una excelente resistencia a la suciedad y la fricción tanto en medios secos como húmedos, cumpliendo con las estrictas restricciones de fabricación e impresión (Luján-Ornelas et al., 2018). Además, Ozeki et al. descubrieron que los papeles hechos de fibras de líber para la fabricación de papel japonés eran menos degradables que los de pulpas de madera, lo que resalta la influencia de las fuentes de fibra en la durabilidad del papel y las tasas de degradación (Reichardt, 1938).

Los procesos de fabricación de papel a partir de hojas secas, como se describe en múltiples contextos (Ralf, 2019) involucran métodos únicos como el despulpado en seco, la fibrilación de fibras de bambú y el uso de molinos de atrición para producir pequeñas partículas de celulosa. Estos procesos dan como resultado un papel con propiedades mejoradas como mayor volumen, buen drenaje en máquinas de papel, finura de la superficie, suavidad y comodidad. Por el contrario, los métodos tradicionales de fabricación de papel común generalmente implican el despulpado húmedo y el uso extensivo de agua, lo que puede generar preocupaciones ambientales debido al desperdicio de agua (Lee, 2024). Los métodos de producción de pulpa de papel seco, por otro lado, se centran en el pretratamiento del papel de desecho, el despulpado en seco y el empaquetado hidráulico, ofreciendo un enfoque hábil y simple para convertir los desechos en riqueza mientras se mantiene una pulpa de alta calidad adecuada para uso directo en fábricas de papel (Keller, 2018). En general, los procesos de fabricación de papel a partir de hojas secas presentan alternativas respetuosas con el medio ambiente, que ahorran energía y son eficientes a los métodos tradicionales de fabricación de papel común.

La sostenibilidad ambiental del papel de hoja seca y el papel normal revela información crucial. Las plantas de producción de papel seco, que utilizan electricidad, gas y carbón, pueden lograr ahorros de energía ajustando las tasas de producción, lo que conduce a un menor consumo de gas y menores emisiones de CO₂ (Espinel et al., 2020). La tendencia histórica de la industria papelera de aumentar el volumen de impresión subraya la importancia de reducir el consumo de papel para reducir la huella de carbono (Smith, 2011). Las evaluaciones de calidad de los informes de responsabilidad corporativa en el sector forestal y papelerero indican la necesidad de una mayor divulgación sobre el desempeño de la sostenibilidad social y económica, así como los impactos ambientales y las consideraciones de biodiversidad (Smith, 2011). El método de contabilidad Emergy destaca los costos ambientales del proceso de fabricación de papel, enfatizando la importancia de las prácticas de gestión forestal sostenible para la producción de papel, siendo los bosques de abetos y pinos la opción más sostenible (Espinel et al., 2020).

CONCLUSIÓN

Comparar el papel de hojas secas con el papel común revela algunas diferencias interesantes. El papel de hojas secas, hecho a partir de jacinto de agua y flores secas, suele ser más delgado, pero muestra una asombrosa resistencia a la tracción en seco. Sus características físicas, como el grosor y la rugosidad, varían según el método de secado, con el secado a presión dando como resultado una mayor resistencia al desgarro y el secado al vacío incrementando la rugosidad y la resistencia al estallido. En términos mecánicos, mientras que el secado puede causar algunas deformaciones, el uso de aditivos como glucosa y carboximetilcelulosa puede mejorar notablemente la resistencia y flexibilidad del papel. Además, aunque los líquidos iónicos pueden disminuir la resistencia, el papel de hojas secas tiene una durabilidad destacable, especialmente cuando se compara con el papel común hecho con pulpa de madera. La producción de papel de hojas secas también ofrece ventajas ambientales. Este método suele ser menos dependiente del agua en comparación con la fabricación de papel tradicional, lo que lo convierte en una opción más ecológica. A través de

procesos innovadores y el uso de menos recursos, el papel de hojas secas no solo aporta características únicas, sino que también representa una alternativa más sostenible y respetuosa con el medio ambiente frente al papel común.

REFERENCIAS

Adeoye, M. D., Lawal, A. T., Jimoh, A. O., Adelani, A. K., Ojo, O. O., Ndukwe, N. A., et al. (2021). Fascinating physical-chemical properties and fiber morphology of selected waste plant leaves as potential pulp and paper making agents. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 11(6), 3061–3070. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00968-8>

Cantavalle, S. Historia del papel: desde los orígenes hasta hoy. El Blog de Pixartprinting. <https://www.pixartprinting.es/blog/historia-papel/>

Danov, R. (2023). Why leaves are better than trees to produce the paper. **Releaf Bags**. <https://releafbag.com/blogs/news/why-leaves-are-better-than-trees-to-produce-the-paper>

Eldoradocounty.ca.gov. (n.d.). <https://www.eldoradocounty.ca.gov/files/assets/county/v/1/documents/land-use/county-projects/tahoe-engineering/fallen-leaf-decision-notice-and-fonsi.pdf>

Espinel Blanco, E., Valencia Ochoa, G., & Duarte Forero, J. (2020). Combining energy management indicators and life cycle assessment indicators to promote sustainability in a paper production plant. **Resources**, 9(6), 75. <https://www.mdpi.com/2079-9276/9/6/75>

Gráfica, E. I. (n.d.). Los defectos del Papel (IV): El envejecimiento del papel. **Industria Gráfica Online**. <https://www.industriagraficaonline.com/articulo/17983/>

Helbrecht, C., Schmitt, F., Meckel, T., Biesalski, M., Etzold, B. J. M., & Schabel, S. (2023). Mechanical properties of paper saturated with a hydrophobic ionic liquid. **Bioresources**, 18(2), 2842–2856. <https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BRJ/article/view/22385>

Iglesias, A., Cancela, Á., Soler Baena, A., & Sánchez, Á. (2023). Characterization of cellulose derived from invasive alien species plant waste for application in the papermaking industry: Physic-mechanical, optical, and chemical property analysis. **Applied Sciences**, 13(20), 11568. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/20/11568>

Kalimuthu, S., Venkatesh, N., & Selvakumar, V. D. (2022). Investigation of physical properties of paper produced by blending of water hyacinth and dried flowers. **Environmental Science and Pollution Research International**, 30(9), 24729–24736. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23925-6>

Keller, S. (2018). Paper drying in the manufacturing process. **ResearchGate**. https://www.researchgate.net/publication/331998171_Paper_Drying_in_the_Manufacturing_Process

Kim, I. (2015). Manufacturing method for raw material of paper box using of fallen leaves and tobacco composite. *KR:101517505:B1*.

Kim, J.-M., Lee, H. L., Youn, H. J., & Hwang, M.-G. (2006). Development and analysis of dry forming system for innovation of papermaking technology. *한국펄프종이학회
기타 간행물*, 181–190.
<https://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE00723992>

Kobayashi, J., Kaneko, M., Supachettapun, C., Takada, K., Kaneko, T., Kim, J. Y., et al. (2023). Mechanical properties and reinforcement of paper sheets composited with carboxymethyl cellulose. *Polymers*, 16(1), 80. <https://www.mdpi.com/2073-4360/16/1/80>

Lee, R. (2024). What is the use of cellulose in the paper industry? *LinkedIn*. <https://www.linkedin.com/pulse/what-use-cellulose-paper-industry-rio-lee-p0gle/>

Luján-Ornelas, C., Mancebo del Castillo Sternenfels, U., & Güereca, L. P. (2018). Life cycle assessment of Mexican polymer and high-durability cotton paper banknotes. *Science of the Total Environment*, 630, 409–421. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.177>

Marmol, J., & Livipoma, R. (2014). Proyecto asociado para la creación de papel. [Quito]: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6249/1/UPS-QT04741.pdf>

Moya, R., Tenorio, C., Puente-Urbina, A., Rosales-López, C., & Vega-baudrit, J. (2023). Production of paper using biopulping of pineapple leaves fibers (PALF) followed by chemical and xylanase-enzymatic processing. *Journal of Natural Fibers*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2163025>

Nacr.cz. (2003). Estudio del efecto de los métodos de secado sobre las propiedades físico-químicas y microbiológicas de diversos tipos de papel. <http://old.nacr.cz/sua/vystavy/akce02/voda/study/enindex.htm>

Ralf, Z. (2019). Factors affecting dry-Laid Papermaking air molding technology. *Bonfilt*. <https://www.bonfilt.com/factors-affecting-dry-laid-papermaking-air-molding-technology/>

Reciclaje Contemar. (2021). Papel reciclado con hojas secas: cómo hacerlo en casa. <https://www.reciclajecontemar.es/papel-reciclado-con-hojas-secas/>

Reichardt, G. (1938). The durability of paper. *Library Quarterly*, 8(4), 510–520. <https://doi.org/10.1086/614335>

Releaf-paper.com. (n.d.). This energy efficient technology turns fallen leaves into paper – Releaf Paper. <https://www.releaf-paper.com/news/this-energy-efficient-technology-turns-fallen-leaves-into-paper/>

Sánchez, P. S. P. (2021). Un estudiante logró crear papel con hojas de árboles secas: la naturaleza se lo agradece. *Univision*. <https://www.univision.com/explora/un-estudiante-logro-crear-papel-con-hojas-de-arboles-secas-la-naturaleza-se-lo-agradece>

Smith, R. (2011). The environmental sustainability of paper. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/267833902_The_Environmental_Sustainability_of_Paper

Urstöger, G., Kulachenko, A., Schennach, R., & Hirn, U. (2020). Microstructure and mechanical properties of free and restrained dried paper: a comprehensive investigation. *Cellulose*, 27(15), 8567–8583. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03367-4>

Vidal Daza, O. A., & Perez Vidal, A. (2018). Estimación de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por una industria papelera mediante el modelo AERMOD. *Ingeniería*, 23(1), 31. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/reving/article/view/12262>

Weizmann Wonder Wander - News, Features and Discoveries from the Weizmann Institute of Science. (2001). The physics of falling leaves. <https://wiswander.weizmann.ac.il/space-physics/physics-falling-leaves>

Wu, X., Mou, H., Fan, H., Yin, J., Liu, Y., & Liu, J. (2022). Improving the flexibility and durability of aged paper with bacterial cellulose. *Materials Today Communications*, 32, 103827. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103827>