

Valorización del residuo agroindustrial del tabaco (*Nicotina Tabacum L.*), utilizándolo en mezclas con pulpa celulósica reciclada, de papel de oficina y diario, para la elaboración de productos moldeados

Valorization of Agroindustrial Waste from Tobacco (*Nicotina Tabacum L.*), Using it in Mixtures with Recycled Cellulosic Pulp, Office and Newspaper Paper for the Preparation of Molded Products

Eyra María Albarrán-Molina¹, Israel Quintero²

Fecha de recepción: 16 de marzo, 2024

Fecha de aprobación: 23 de setiembre, 2024

Albarrán-Molina, E.M; Quintero, I. Valorización del residuo agroindustrial del tabaco (*Nicotina Tabacum L.*), utilizándolo en mezclas con pulpa celulósica reciclada, de papel de oficina y diario, para la elaboración de productos moldeados. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° 2. Abril-Junio, 2025. Pág. 152-169.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i2.7005>

¹ Ingeniero forestal, Msc. Profesor. Investigador, Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela.

 feyramam8@gmail.com ; eyramam_8@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7120-8349>

² Estudiante de Pregrado de la Universidad de los Andes-Venezuela

Palabras clave

Residuo agroindustrial; tabaco; celulosa, hemicelulosa; lignina; productos moldeados; reciclado de papel.

Resumen

La biomasa lignocelulósica se refiere a los materiales orgánicos provenientes de plantas y árboles que contienen celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales están firmemente entrelazados y unidos químicamente en sus paredes celulares. Además, estos materiales pueden contener otros compuestos como extractivos y materiales extraños. La celulosa, hemicelulosa y lignina también son los principales componentes de las fibras naturales, que provienen de diversos recursos como madera, fibras recicladas y desechos de biomasa agrícola como la paja de canola, trigo, arroz y cáñamo. Estas fibras se utilizan principalmente para la fabricación de productos de pulpa moldeada. La celulosa del tabaco tiene propiedades similares a las de otras fuentes de celulosa, como la madera, y se puede utilizar para producir papel y otros productos basados en celulosa.

El material fibroso empleado en este estudio proviene de residuos agroindustriales del tabaco (*Nicotina tabacum* L.), los cuales fueron mezclados con pulpa celulósica reciclada, de papel de oficina y diario, para la elaboración de los productos moldeables. Para transformar los residuos de tabaco a partículas se empleó el molino de martillo de marca: CONDUX-WERK Wolfgang bei Hanau y modelo: LHM 20/16. Con un motor de: 1,5 Kilowatts / 2.01 HP Caballos de Fuerza Mecánicos, 380 V, 2820 rpm, 0.88 Cos Phi y 50 Hz. Los factores seleccionados para el diseño experimental de este estudio fueron los diferentes tipos de papel utilizados en la mezcla: papel de diario (papel periódico), papel de oficina y tabaco y dicho diseño experimental se realizó mediante el software de simulación Statgraphics. La preparación y caracterización de la materia prima (el tabaco, *Nicotiana tabacum* L.) se llevó a cabo mediante las normas Technical Report NREL/TP-510-42620; en donde fueron pesadas 70 gr de cada muestra y luego procesadas mediante el molino de cuchillas; dichas muestras fueron tamizadas en un conjunto de tamices apilados, donde el superior de malla 20 y el inferior de malla 80. Así pues, para la determinación de humedad de esta biomasa, así como para la determinación de carbohidratos estructurales y lignina en biomasa, se emplearon también las normas establecidas en el Technical Report NREL/TP-510-42620, y para la determinación de extractivos en la biomasa, se emplearon las normas establecidas en el Technical Report NREL/TP-510-42619. Para la preparación de las fibras de tabaco, se utilizó un refinador de disco, marca THE BAUER BROS. CO y modelo: 148-2, velocidad 2890 rpm. Para la formación de los moldes, se empleó un equipo moldeador y se realizaron los ensayos correspondientes de acuerdo a la norma TAPPI T 402 sp-98 "Standard conditioning and testing atmospheres for paper, board, pulp handsheets, and related products". En general, los resultados indican que la muestra de biomasa del tabaco (*Nicotina tabacum* L.) tiene un alto contenido de celulosa y hemicelulosa (glucano y xilano), así como un contenido significativo de lignina; siendo el contenido promedio de celulosa 32,61%, mientras que la hemicelulosa 17,97% y la lignina representa el 20,71% de la composición de la pared celular; y un contenido del 13,58% de extractivos y del 10,11% de componentes inorgánicos.

Keywords

Agroindustrial waste; tobacco; cellulose; hemicellulose; lignin; molded products; paper recycling.

Abstract

Lignocellulosic biomass refers to organic materials from plants and trees that contain cellulose, hemicellulose and lignin, which are firmly intertwined and chemically bonded in their cell walls. Additionally, these materials may contain other compounds such as extractives and foreign materials. Cellulose, hemicellulose and lignin are also the main components of natural fibers, which come from various resources such as wood, recycled fibers and agricultural biomass waste such as canola, wheat, rice and hemp straw. These fibers are mainly used for the manufacture of molded pulp products. Tobacco cellulose has similar properties to other cellulose sources, such as wood, and can be used to produce paper and other cellulose-based products.

The fibrous material used in this study comes from agroindustrial tobacco waste (*Nicotina tabacum L.*), which was mixed with recycled cellulose pulp, from office and newspaper paper, for the production of moldable products. To transform the tobacco waste into particles, the hammer mill brand: CONDUX-WERK Wolfgang bei Hanau and model: LHM 20/16 was used. With a motor of: 1.5 Kilowatts / 2.01 HP Mechanical Horsepower, 380 V, 2820 rpm, 0.88 Cos Phi and 50 Hz. The factors selected for the experimental design of this study were the different types of paper used in the mixture: newsprint, office paper and tobacco, and said experimental design was carried out using the Statgraphics simulation software. The preparation and characterization of the raw material (tobacco, *Nicotiana tabacum L.*) was carried out using the Technical Report NREL/TP-510-42620 standards; where 70 g of each sample were weighed and then processed using the knife mill; These samples were sieved on a set of stacked sieves, where the upper one was 20 mesh and the lower one was 80 mesh. Thus, for the determination of moisture in this biomass, as well as for the determination of structural carbohydrates and lignin in biomass, the standards established in the Technical Report NREL/TP-510-42620 were also used, and for the determination of extractives in biomass, the standards established in the Technical Report NREL/TP-510-42619 were used. To prepare the tobacco fibers, a disc refiner, THE BAUEP BROS brand, was used. CO and model: 148-2, speed 2890 rpm. For the formation of the molds, a molding equipment was used and the corresponding tests were carried out according to the TAPPI T 402 sp-98 standard "Standard conditioning and testing atmospheres for paper, board, pulp handsheets, and related products". In general, the results indicate that the tobacco (*Nicotina tabacum L.*) biomass sample has a high content of cellulose and hemicellulose (glucan and xylans), as well as a significant content of lignin; the average cellulose content being 32.61%, while hemicellulose 17.97% and lignin represents 20.71% of the cell wall composition; and a content of 13.58% of extractives and 10.11% of inorganic components.

Introducción

El aumento en la demanda de producción de alimentos ha implicado un aumento en la generación de subproductos o residuos agroindustriales [1], lo cual supone una problemática a nivel mundial [2]. Sin embargo, los residuos agroindustriales poseen un alto potencial para ser aprovechados como materia prima en diferentes procesos [3]. Pudiendo ser empleados en la elaboración de un producto con valor agregado, como el papel, cartón u otros materiales [4].

En los últimos años, ha aumentado el interés en el uso de residuos agrícolas [5] como fuentes alternativas de materias primas para la producción de pulpa y papel [6], provenientes de productos no maderables, debido a sus propiedades aceptables [7].

Está comprobado que los residuos agroindustriales son fuentes importantes de materia prima fibrosa [8], que pueden ser mezclados con otros materiales, como fibras recicladas, para obtener un producto de valor agregado [9].

En la agroindustria del tabaco (*Nicotina tabacum* L.), se pueden encontrar grandes cantidades de residuos [10], incluyendo hojas, tallos y restos de producción [11]. La cantidad de residuos generados por la industria tabacalera es considerable, y su disposición adecuada representa un reto ambiental importante [12].

El tabaco es una hoja de la planta *Nicotiana tabacum* L [13], que se utiliza principalmente para fumar, masticar o inhalar [14]. La composición del tabaco varía según su origen y procesamiento, pero en general contiene entre un 90% y un 95% de celulosa, hemicelulosa y lignina [15], y entre un 5% y un 10% de compuestos diversos como la nicotina, el alquitrán y los productos de combustión [16].

El proceso de producción del papel a partir de la celulosa del tabaco ha sido estudiado por varios investigadores [17]. De manera que, se puede obtener pulpa de tabaco a partir de hojas secas y trituradas [16]. La celulosa del tabaco tiene propiedades similares a las de otras fuentes de celulosa, como la madera [18], y se puede utilizar para producir papel y otros productos basados en celulosa [3].

El tallo del tabaco es una parte importante de la planta [19], ya que es donde se concentra la mayor cantidad de celulosa que puede ser aprovechada para la fabricación de papel [20]. Según estudios, el tallo del tabaco es una fuente abundante de celulosa [21], que puede ser extraída mediante procesos de pulpa y papel convencionales [17].

También, estas fibras de celulosa presentan características similares a las de la madera [22], y pueden ser utilizadas como materia prima para la producción de distintos tipos de papel, cartón y otros productos de celulosa [23]. Por lo tanto, se propone en este estudio, la valorización del residuo agroindustrial del tabaco para su uso en mezclas con pulpa celulósica reciclada de oficina y diario (periódico), para la elaboración de productos moldeados, manteniendo las propiedades físicas óptimas de los moldes.

Esta tecnología es factible de implementar y se utiliza en diferentes áreas, como envases, tecnología de aplicaciones médicas [24], y en la fabricación de diferentes productos moldeados, como bandejas para huevos, platos y contenedores de alimentos, macetas germinadoras, recipientes hospitalarios descartables, embalajes contenedores y protectores de lámparas, entre otros [25].

Por tanto, este trabajo se fundamenta en realizar la valoración del residuo agroindustrial del tabaco, utilizándolo en mezclas con pulpas celulósicas recicladas, para la elaboración de productos moldeados, manteniendo las propiedades físicas óptimas de los moldes.

Metodología

Materiales

El material utilizado es una mezcla de residuos de la planta *Nicotiana tabacum* L. (Tabaco), papel de diario (papel periódico), papel de oficina.

Métodos

Diseño experimental

El diseño experimental se realizó mediante el software de simulación Statgraphics. Se generaron cuatro puntos experimentales, cada uno con una combinación diferente de los factores seleccionados, expresado en el cuadro 1, se estimó un total de 40 moldes por puntos.

Cuadro 1. Diseño experimental

Punto	Diario	Oficina	Tabaco
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0.6	0	0.4
4	0	0.6	0.4

Materia prima requerida

Para determinar la cantidad de materia prima necesaria para la fabricación de moldes, se estableció como masa óptima para cada molde, nueve (9) gramos para producir cuarenta (40) moldes para cada punto experimental. Esto se realizó con el fin de asegurar la homogeneidad y la exactitud de los resultados obtenidos, eliminando la posible influencia de factores externos [26].

El diseño experimental incluyó cuatro (4) puntos diferentes, y para determinar la cantidad de materia prima requerida se calculó la suma total de cada corrida de materia prima, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Masa para 40 moldes} = 40 \text{ Molde} \times \frac{\text{Masa del Molde (g)}}{1 \text{ Molde}}$$

$$\text{Materia Prima Requerida} = \text{Masa para 40 Moldes} \times \sum \text{total de las corridas}$$

Obtención de la materia prima

Tabaco

Se seleccionó el material a procesar: residuos de la planta *Nicotiana tabacum* L. (Tabaco), libre de impurezas como clavos, grapas, tornillos, entre otros, se procedió a realizar cortes longitudinales y transversales a los tallos de *Nicotiana tabacum* L., con la finalidad de facilitar su posterior procesamiento [27].

Para la transformación de los residuos de tabaco a partículas, se empleó el molino de martillo, de marca: CONDUX-WERK Wolfgang bei Hanau y modelo: LHM 20/16. Con un motor de: 1,5 Kilowatts / 2.01 HP Caballos de Fuerza Mecánicos, 380 V, 2820 rpm, 0.88 Cos Phi y 50 Hz [28]. Compuesto por un rotor, formado por un eje principal y un conjunto de martillos que giran a gran velocidad golpeando la materia prima hasta tritúrala en partículas de menor tamaño [29].

Caracterización de la materia prima (tabaco)

Preparación de la materia prima

En esta etapa del trabajo, se utilizaron las normas establecidas en el Technical Report NREL/TP-510-42620 [30], para la preparación de la materia prima. La materia prima utilizada fue el tabaco (*Nicotiana tabacum* L.). Se pesó aproximadamente 70 gramos de cada muestra y fueron procesadas en un molino de cuchillas por lotes continuos. La muestra fue tamizada en un conjunto de tamices apilados, siendo el superior de malla 20 y el inferior de malla 80.

Determinación de sequedad de la materia prima molida

Para determinar la humedad de la biomasa molida, se utilizaron las normas establecidas en el Technical Report NREL/TP-510-42620 [30], se tomó una porción de cada fracción obtenida a través del tamizado. Se limpió y se secó en una estufa a 105°C durante aproximadamente 4 horas un pesafiltro, en él se colocó una porción de la muestra correspondiente y se llevó al horno por aproximadamente 12 horas. Posteriormente, se llevó al desecador hasta que alcanzara la temperatura ambiente y se pesó nuevamente en una balanza analítica. La humedad se determinó utilizando la siguiente ecuación específica:

$$\% \text{ Sequedad} = \frac{\text{Peso muestra seca (g)}}{\text{Peso muestra húmeda (g)}} * 100$$

Determinación de extractivos en biomasa

En este estudio se llevó a cabo la determinación de extractivos en la biomasa utilizando las normas establecidas en el Technical Report NREL/TP-510-42619 [31].

Se utilizaron 2 matraces de ebullición y 2 cartuchos Soxhlet. Los matraces se secaron en una estufa a 105°C por aproximadamente 12 horas antes de añadir piedras de ebullición y 15 ml de alcohol etílico al 96% en cada matraz. Se prepararon los cartuchos Soxhlet con muestras de la biomasa molida retenida en malla 80, previamente secada en una estufa a 105°C por aproximadamente 12 horas. Los equipos Soxhlet se ensamblaron y se dejaron sifonando durante 12 horas, transfiriendo todo el alcohol de cada equipo a su respectivo matraz de ebullición. Cada matraz con su contenido y cada cartucho se llevaron a la estufa a 105°C durante un mínimo de 12 horas hasta que quedaron completamente secos. Luego se llevaron al desecador hasta que alcanzaron la temperatura ambiente, se pesaron y se calculó el porcentaje de extractivos en alcohol utilizando la siguiente ecuación específica:

$$\% \text{ Extractivos en alcohol} = \frac{\text{Masa seca extraída (g)}}{\text{Masa seca sin extraer (g)}} * 100$$

Muestras para la determinación de carbohidratos estructurales y lignina en biomasa

Se utilizaron las recomendaciones establecidas en el Technical Report NREL/TP-510-42620 [30], después de extraer las muestras de los cartuchos de celulosa de la estufa, se reunieron y almacenaron para su posterior utilización en la determinación de carbohidratos estructurales y lignina en biomasa.

Determinación de sequedad de las muestras para la valorización de carbohidratos estructurales y lignina en biomasa

Para la determinación de carbohidratos estructurales y lignina en la biomasa, se utilizaron las indicaciones establecidas en el Technical Report NREL/TP-510-42620 [30], se recolectó una porción de la muestra y se realizó la determinación de sequedad. Posteriormente, se pesó en una balanza analítica y se introdujo una porción de la muestra en un pesafiltro. Luego, se llevó al horno a 105 °C por aproximadamente 12 horas, se llevó al desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente y se pesó nuevamente en una balanza analítica. La humedad se determinó utilizando la ecuación indicada anteriormente.

Determinación de carbohidratos estructurales y lignina en biomasa

Hidrólisis

Se emplearon las normas establecidas en el Technical Report NREL/TP-510-42618. Se utilizaron dos tubos de hidrólisis que se fueron previamente secados en la estufa a 105°C durante aproximadamente 12 horas y se agregó a cada tubo una muestra de la biomasa descrita anteriormente y 10 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 72% (con una densidad de 1,63 g/mL) y se aplicó vacío en cada muestra durante 5 minutos en 3 ciclos. La hidrólisis se completó después de 60 minutos. Se transfirió cuantitativamente la mezcla (muestra + ácido sulfúrico) a dos frascos previamente tarados. La mezcla se diluyó con agua destilada para obtener una solución al 4% con una masa de 293,4 g, y se determinó utilizando la siguiente ecuación específica:

$$\text{Si, } C_1 * m_1 = C_2 * m_2; \text{ entonces, } m_2 = \frac{C_1 * m_1}{C_2}$$

$$\text{Y si, } m_1 = \delta_1 * v_1; \text{ entonces, } m_2 = \frac{C_1 * \delta_1 * v_1}{C_2}$$

Dónde: C = concentración; m = masa; δ = densidad y v = volumen

$$\text{De esta manera } m_2 = \frac{72\% * 1,63 \frac{g}{ml} * 10 ml}{4\%} = 293.4 g$$

Después de diluir las muestras y transferirlas a frascos, se cerraron herméticamente y se agitaron para evitar la separación de fases [32]. Los frascos se colocaron en un auto clave, cuando se alcanzaron los 100°C o 0.5 bar, se cerró la válvula y se midió el tiempo que tardó en alcanzar los 121°C. Una vez que se alcanzó este punto, se dejó durante una hora antes de apagar la autoclave. Cuando se alcanzó nuevamente los 0.5 bar, se abrió la válvula y se dejó enfriar antes de retirar los frascos.

Filtración de residuo sólido (lignina insoluble o Klason)

Para la determinación de lignina, se empleó la Technical Report NREL/TP-510-42618 [33], se identificaron y se pesaron todos los elementos antes de armar el equipo de filtrado (Kitasato + embudo + filtro). El contenido de los frascos se filtró primero por gravedad con ayuda de una varilla de vidrio sobre el filtro, y luego se realizó un filtrado con vacío. Finalmente, se llenaron dos recipientes plásticos con el filtrado identificados y guardados para la determinación de lignina soluble. Se determinó el volumen necesario en mililitros para analizar la lignina soluble utilizando la ecuación siguiente:

$$\text{Volumen necesario para lignina soluble (ml)} = \frac{\text{Masa del filtrado (g)}}{\text{Densidad del ácido al 4\% (g/ml)}}$$

Corrección por cenizas

Mediante indicaciones de la Technical Report NREL/TP-510-42618 [33], se secaron los filtros con el material sólido en la estufa por un mínimo de 6 horas y se retiraron. Se retiraron dos crisoles de la estufa, previamente secados a 105°C durante 4 horas, se colocaron en el desecador, se identificaron y se pesaron. Se colocó una muestra de la materia prima molida retenida en malla 80 en cada crisol y se tomó la masa de cada uno.

Los filtros con el material sólido y los crisoles con las muestras se llevaron a una Mufla con dos rampas de temperatura, la primera de temperatura ambiente a 350°C en 10 minutos y se mantuvo a esa temperatura por 30 minutos. La segunda rampa fue de 350°C a 550°C en 20 minutos, y luego se mantuvo en 550°C durante 3 horas. Se determinó el porcentaje de ceniza en el residuo soluble y el porcentaje de lignina insoluble mediante las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ residuo insoluble} = \frac{\text{Masa del residuo sólido seco (g)}}{\text{Masa de la muestra seca (g)}} * 100$$

$$\% \text{ lignina insoluble} = \frac{\text{Masa de lignina (g)}}{\text{Masa de la muestra seca (g)}} * 100$$

Lignina soluble

Se analizó de acuerdo a la norma Technical Report NREL/TP-510-42620 [30], el filtrado para la determinación de la lignina soluble fue diluido a un factor de dilución de 5, agregando 5 ml de filtrado con 20 ml de agua destilada en un matraz de 25 ml. La cubeta se situó en el Espectrofotómetro UV y se midió la absorbancia a la longitud de onda especificada en la norma NREL/TP-510-42618, para Tabaco NIST SRM 8493, que es de 240 nm y con una absorvidad de 25 L/g*cm. El porcentaje de lignina soluble se determinó utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Lignina Soluble (\%)} = \frac{\text{Abs} \times \text{D} \times \text{Vfiltrado (L)}}{\epsilon} * 100$$

Dónde: Abs = absorbancia obtenida, ϵ = absorvidad de biomasa a la longitud de onda medida, D = factor de dilución, VFiltrado = Volumen filtrado en litros.

Lignina total

Se calculó la cantidad total de lignina, sumando la lignina soluble y la lignina insoluble halladas, de acuerdo con la norma Technical Report NREL/TP-510-42620 [30], previamente, y se realizó una corrección adicional con los cálculos de los extractivos en alcohol, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Lignina total corregida} = \text{Lsol(sme)} + \text{Linsol(sme)} * \frac{100 - \text{Ext}}{100}$$

Dónde: Lsol (sme) = Lignina soluble sobre materia prima extraída, Linsol (sme) = Lignina insoluble sobre materia prima y Ext = Extractivos.

Carbohidratos totales

Para cuantificar los carbohidratos, se usó la norma de Technical Report NREL/TP-510-42620 [30], donde se utilizó cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) con una columna de intercambio iónico. Se determinó la cantidad extraída de celulosas expresadas en glucosa y de hemicelulosas expresadas en xilosa, glucosa, manosa y arabinosa, así como también la cantidad de ácido acético expresado en forma de acetilos.

Preparación de las fibras de tabaco (refino)

Se utilizó un refinador de disco, de marca THE BAUEP BROS. CO y modelo: 148-2. De velocidad de, 2890 rpm. Se depositó la pulpa celulósica de tabaco en un tamiz, drenando el agua y eliminando los finos de la materia prima. Se procedió a centrifugar la pulpa celulósica de tabaco, para eliminar el agua en exceso, luego se colocó en una batidora industrial para mezclarla y homogeneizarla, finalmente se almacenó en bolsas de polietileno negras, con la finalidad de mantener la humedad constante, se guardó en el refrigerador para conservarla y evitar su degradación [34].

Preparación de la celulosa reciclada

Se utilizó papel de diario (periódico) y de oficina para la producción de celulosa reciclada. Para la selección del papel de oficina, se eliminaron las impurezas como grapas, adhesivos y clips para obtener una materia prima limpia para el procesamiento en hidropulper. En primera instancia, para el proceso, se procedió a cortar el papel de oficina y diario (papel periódico) en dimensiones apropiadas que previenen la sobrecarga del hidrapulper [35]. Se llevaron a cabo dos procesos de hidropulpa para cada materia prima (diario y oficina) con una consistencia del 6%. Para ello, se dividió la cantidad de materia prima en dos partes y se calculó la cantidad de agua necesaria para cada hidropulpado utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Materia prima a añadir en el hidro pulper (g)} = \frac{\text{Materia prima g}}{2}$$

$$\text{Materia prima a añadir en el hidro pulper g} \times \frac{1L \text{ (agua)}}{60 \text{ g (papel)}} = \text{Agua a añadir}$$

Fabricación de los moldes

Preparación de la solución

Para la formación de los moldes, se empleó un equipo moldeador. Se preparó la solución específica correspondiente al punto deseado, de acuerdo al diseño experimental establecido. Para preparar dicha solución, se calculó la cantidad de pulpa necesaria para que, a una consistencia de 0,5, fuera suficiente para un recipiente de plástico de sesenta (60) litros, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Gramos de pulpa que entran en el recipiente}$$

$$= \text{Volumen del recipiente ml} \times \frac{0.5 \text{ g pulpa}}{100 \text{ ml}}$$

Se agregó agua al recipiente y se añadieron inmediatamente los gramos de pulpa calculados, se agitó la mezcla utilizando un agitador eléctrico a una velocidad de 71 rps durante 15 minutos. Luego, se tomó una muestra representativa de la solución para determinar su consistencia. Se pesó una hoja formada a partir de esta muestra y se colocó en una balanza halógena para obtener su peso seco. Se calculó la consistencia de la solución utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Consistencia de la solución} = 100 \times \frac{\text{Peso de la solución}}{\text{Peso seco de la hoja}}$$

Formación de los moldes

Después de agitar la solución en el recipiente a una velocidad de 41 rps para obtener una mezcla homogénea, se procedió a formar los moldes mediante la máquina moldeadora. Dicha máquina consta de dos piezas: una hembra y un macho, y cuenta con dos fases, succión y aire, tratando de imitar el proceso industrial [34].

En primer lugar, se sumergió la hembra en fase de succión en la solución durante diez (10) segundos y se levantó durante quince (15) segundos para eliminar el exceso de agua. Inmediatamente, se insertó el macho colocándolo en fase de succión y se aplicó aire a la hembra para permitir que el molde se adhiriera al macho. Posteriormente, se cortó la succión y se aplicó aire para liberar el molde. Se rotularon cuatro (4) bancos con los siguientes códigos: A 1, 2, 3 y 4 en frente y lateral 1, 2 y 3; B 1, 2, 3 y 4 en frente y lateral 1, 2 y 3; C 1, 2, 3 y 4 en frente y lateral 1, 2 y 3; y D 1, 2, 3 y 4 en frente y lateral 1, 2 y 3. Estos bancos contaban con una malla para permitir la ventilación de los moldes y mantenerlos secos. Posteriormente, los moldes se dejaron reposar durante 24 horas en una sala de acondicionamiento para permitir su medición, pesaje y ensayo luego de estar secos al aire [36].

Ensayos

Para acondicionar, se siguió la norma TAPPI T 402 sp-98 "Standard conditioning and testing atmospheres for paper, board, pulp handsheets, and related products" (Technical Association of the Pulp and PaperIndustry, 2001) [37]. Una vez que los moldes estuvieron debidamente acondicionados, se procedió a pesarlos utilizando una balanza analítica y a medir el espesor de la pared con un vernier digital, así como el área del molde y se calcula el área, el gramaje, el espesor de la pared, la densidad aparente y el volumen de la pared.

Área

Fue realizado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Área (cm}^2\text{)} = \left(\frac{B + b}{2} \times h\right) + (b^2)$$

Dónde: B= Base mayor b=base menor h=altura

Espesor de la pared

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Espesor (mm)} = \frac{\text{Promedio de los Espesores (mm)}}{\text{Número de caras medida}}$$

Gramaje

El gramaje de los moldes se calculó según la norma TAPPI T 410 om-98 "Grammage of paper and paperboard" (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2001). Se realizó el cálculo correspondiente para determinar gramaje con la siguiente ecuación:

$$\text{Gramaje} \left(\frac{g}{cm^2} \right) = \frac{\text{Promedio de la mada de los moldes (g)}}{\text{Área (cm}^2\text{)}}$$

Densidad aparente

La densidad aparente de los moldes se realizó mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Densidad aparente} \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{Gramaje} \left(\frac{g}{m^2} \right)}{\text{Espesor (mm)}} \times \left(\frac{1mm}{0.1cm} \right)$$

Volumen de la pared

El volumen de la pared de los moldes, determinó según la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Volumen de la pared de los moldes(cm}^3\text{)} \\ = \text{Área(cm}^2\text{)} \times \left(\text{Espesor(mm)} \times \frac{1(cm)}{10(mm)} \right) \end{aligned}$$

Compresión

Se realizó una previa preparación de la máquina de compresión de 5 kilo Newton, para realizar este ensayo, se empleó la norma TAPPI T 494 om-88 "Tensile properties of paper and paperboard" (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2001) [38]. Utilizando una máquina de ensayo universal de tracción y compresión. Se aplicó una carga continua de cinco (5) kilo Newton a una velocidad constante de 10 milímetros por minuto hasta que la muestra sea comprimida hasta un 70% de su espesor original. Se midió la fuerza aplicada y se registró el punto de fractura de la muestra.

Resultados

Composición química del tabaco (*Nicotina tabacum L.*)

El cuadro 2, muestra la composición química del Tabaco (*Nicotina tabacum L.*), donde se especifica la cantidad de carbohidratos presentes en la materia prima: las celulosas expresadas en glucanos; hemicelulosas expresadas en xilanos, arabinanos; el ácido acético expresado en acetilos; y los inorgánicos en cenizas. Además, se muestra la cantidad total de lignina presente, y los extractivos en alcohol.

Cuadro 2. Composición química de la pared celular del tabaco (*Nicotina tabacum* L.)

	Glucano	Xilanos	Arabizamos	Acetilos	Lignina	Extractivos en alcohol	Cenizas
Promedio (%)	32,61	16,92	1,05	3,04	20,71	13,58	10,11

En el cuadro anterior, se puede observar un valor promedio de Glucano de 32,61%. El glucano es un polisacárido que se encuentra en la celulosa, que es el componente principal de la pared celular de las plantas [39]. Un alto contenido de glucano indica un alto contenido de celulosa en la muestra [40]. Asimismo, muestra el valor promedio de Xilanos 16,92% y Arabinanos 1,05%; los xilanos y arabinanos son dos polisacáridos que se encuentran en la pared celular de las plantas [41]. Un alto contenido de xilanos indica un alto contenido de hemicelulosa [42]. A diferencia del glucano y el xilano, el arabinano se encuentra principalmente en la parte externa de la pared celular [43], también es relacionado con la hemicelulosa.

El valor promedio de Acetilos es de 3,04%; los grupos acetilo se unen a la celulosa y la hemicelulosa y pueden afectar la accesibilidad de estos polisacáridos a enzimas que los degradan [44].

También en el cuadro 2, muestra el promedio de Lignina, Extractivos y Cenizas, para Lignina el valor promedio es del 20,71% para Extractivos en alcohol es del 13,58% y para Cenizas es del 10,11%. La lignina es un polímero que se encuentra en la pared celular de las plantas y le da rigidez [45]. Un alto contenido de lignina puede dificultar la degradación de la biomasa [46]; En cambio los extractivos son componentes solubles en alcohol y pueden incluir sustancias como resinas, aceites y taninos; y las cenizas son los componentes inorgánicos de la muestra y pueden incluir sales minerales, metales y otros elementos [47].

En general, estos resultados indican que la muestra de biomasa del tabaco (*Nicotina tabacum* L.) tiene un alto contenido de celulosa y hemicelulosa (glucano y xilanos), así como un contenido significativo de lignina. El bajo contenido de arabinanos indica que la muestra puede tener una pared celular relativamente delgada. El contenido de acetilos sugiere que la degradación de la biomasa podría ser limitada mientras que los extractivos y las cenizas pueden interferir con el rendimiento y la calidad de los productos obtenidos a partir de la muestra.

A continuación, en el cuadro 3, se aprecia la composición química de la pared celular del tabaco (*Nicotina tabacum* L.) y la suma total de los compuestos: Celulosa, Hemicelulosa, ácido Acético, Lignina, Extractivos y los Inorgánicos.

Cuadro 3. Compuestos de la pared celular del tabaco (*Nicotina tabacum* L.)

Pared celular	Promedio (%)
Celulosa	32,61
Hemicelulosa	17,97
Ácido acético	3,04
Lignina	20,71
Extractivos	13,58
Inorgánicos	10,11
Total	98,02

El contenido promedio de celulosa es del 32,61%, mientras que la hemicelulosa es del 17,97%; la lignina es el tercer componente principal y representa el 20,71% de la composición de la pared celular; además, se encontró un contenido del 13,58% de extractivos y del 10,11% de componentes inorgánicos. Cabe destacar que la suma de los porcentajes no es exactamente del 100%, sino del 98,02%, lo que indica que existen otros componentes presentes en cantidades menores o bien que el proceso de medición no es 100% exacto y preciso.

Propiedades evaluadas

El cuadro 4, muestra la caracterización física de cuatro puntos: molde de diario sin tabaco (1), molde de oficina sin tabaco (2), molde de diario con tabaco (3) y molde de oficina con tabaco (4). Igualmente, se calculó el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación (%CV) para cada variable.

Cuadro 4. Propiedades de los moldes

Puntos	Área (cm ²)	Gramaje (g/cm ²)	Espesor (mm)	Densidad aparente (g/cm ³)	Volumen (cm ³)
1	183,998	0,039	1,870	0,211	34,401
2	179,601	0,040	1,216	0,328	21,843
3	179,897	0,041	2,017	0,205	36,292
4	177,281	0,044	1,629	0,269	28,886
Promedio	180,194	0,041	1,683	0,253	30,355
Desv Est.	2,792	0,002	0,350	0,058	6,487
%CV	1,550	4,741	20,793	22,843	21,370

En este cuadro 4, se observa que el molde de oficina con tabaco tiene el gramaje más alto (0.044 g/cm²), seguido por el molde de diario con tabaco (0.041 g/cm²). Esta mayor densidad superficial puede tener un impacto en la calidad y la resistencia de los moldes, lo que puede ser una ventaja si se busca una mayor durabilidad del molde.

También, se observa en el cuadro anterior, que el molde de diario con tabaco tiene el espesor más alto (2.017 mm), lo que indica que este molde podría ser más resistente a la compresión o deformación. Por otro lado, el molde de oficina sin tabaco tiene el espesor más bajo (1.216 mm), lo que puede hacerlo más ligero y fácil manejo.

De igual manera, en el cuadro anterior, se puede observar que el molde de oficina con tabaco tiene la densidad aparente más alta (0.269 g/cm³), mientras que el molde de diario con tabaco tiene la densidad aparente más baja (0.205 g/cm³). La densidad aparente de un molde es la relación entre su masa y su volumen, indicando que una alta densidad aparente puede hacer que el molde sea más resistente a la compresión y deformación [48]. También, se puede apreciar que el molde de diario con tabaco tiene el mayor volumen (36.292 cm³), mientras que el molde de oficina sin tabaco tiene el menor volumen (21.843 cm³). El volumen de un molde es una medida de su tamaño y capacidad, el volumen puede tener una influencia en el proceso de fabricación de productos a partir de él, ya que afectará la cantidad de material o sustancia que puede alojar el molde [49].

La presencia de residuos fibrosos de tabaco puede proporcionar algunas ventajas en términos de rentabilidad, ya que estos materiales suelen ser más económicos que las pulpas celulósicas recicladas [50]. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estas mezclas pueden afectar las propiedades físicas de los moldes, lo que podría tener impacto en la calidad de los productos fabricados con ellos [51].

Por lo tanto, si bien los moldes que contienen tabaco pueden ser más económicos y rentables, es necesario seguir evaluando la calidad de los productos fabricados con ellos y tomar medidas para garantizar que los moldes cumplan con los requisitos y estándares físicos necesarios [52].

Compresión

En el cuadro 5, se muestran los resultados de pruebas de resistencia mecánica en diferentes moldes de una misma muestra identificada por números de molde. Los parámetros medidos son la ruptura máxima (Rup max) en Newton y la carga máxima (Ld max) en milímetros. El %CV mide la variabilidad relativa en los datos, y los valores bajos de desviación estándar indican una mayor precisión en las mediciones.

Cuadro 5. Resistencia a la compresión

Punto	1		2		3		4	
	Nº molde	Rup max (N)	Ld max (mm)	Rup max (N)	Ld max (mm)	Rup max (N)	Ld max (mm)	Rup max (N)
3	214,9	4,49	292,9	4,81	276,2	4,66	343,3	5,48
7	227,0	3,97	242,9	8,84	226,6	6,34	363,5	4,26
11	209,5	5,34	292,6	5,48	228,2	4,19	312,9	3,74
15	242,0	5,48	276,0	7,15	225,8	4,60	316,5	6,51
19	203,4	4,64	310,5	5,48	253,8	6,45	288,7	6,30
23	228,8	4,11	311,4	8,18	231,4	4,63	298,0	5,16
27	197,2	5,09	326,0	6,64	222,9	4,87	363,8	6,93
31	175,8	6,62	336,2	4,95	261,2	5,13	200,3	3,39
35	216,1	4,11	282,1	7,00	243,0	4,39	281,5	5,29
39	219,2	4,00	308,0	6,23	238,7	4,50	324,0	5,90
Promedio	213,2	4,79	297,9	6,48	240,8	4,98	309,25	5,296
Desv Est.	19,6	0,85	26,9	1,35	17,8	0,79	47,78	1,19
%CV	9,2	17,83	9,0	20,84	7,4	15,88	15,45	22,43

El punto 1 del cuadro 5, muestra un promedio de 213,2 N para Rup max y 4,79 mm para Ld max. Los valores de desviación estándar son relativamente bajos, especialmente para Ld max, lo que indica una precisión relativamente alta en las mediciones. Los valores de %CV son aceptables, con un 9,2% para Rup max y un 17,83% para Ld max.

El punto 2 reflejado en el cuadro 5, muestra un promedio de 297,9 N para Rup max y 6,48 mm para Ld max, que son significativamente más altos que los valores del punto 1. Los valores de desviación estándar también son relativamente bajos, lo que muestra una precisión adecuada en las mediciones, aunque los valores de %CV son relativamente altos, con un 9% para Rup max y un 20,84% para Ld max. En relación al punto 3 del cuadro 5, muestra un promedio

de 240,8 N para $R_{up\ max}$ y 4,98 mm para $L_{d\ max}$, los valores de desviación estándar son relativamente bajos y demuestran una precisión razonable en las mediciones, mientras que los valores de %CV indican una variabilidad relativamente alta, con un 7,4% para $R_{up\ max}$ y un 15,88% para $L_{d\ max}$.

Por otro lado, el punto 4 del cuadro 5, muestra un promedio de 309,25 N para $R_{up\ max}$ y 5,296 mm para $L_{d\ max}$, que son significativamente más altos que los valores del punto 1 pero con una variabilidad más alta, indicada por los valores de %CV relativamente altos.

En general, el tipo de molde utilizado puede afectar significativamente la resistencia mecánica de las muestras, siendo evidente en la diferencia entre los valores del punto 1 y punto 2. La inclusión de fibras de tabaco en los moldes no afectó significativamente la resistencia mecánica en comparación con los moldes que no contienen fibras de tabaco.

Conclusiones

Esta investigación de valorización del residuo agroindustrial del tabaco para la elaboración de productos moldeados ha permitido demostrar que es posible utilizar dichos residuos en la formación de productos moldeados.

De manera que, los resultados muestran que el molde de papel de diario (papel periódico) y tabaco origina un producto con mayor área y gramaje en comparación con los moldes de papel de diario y papel de oficina reciclados. También se observa en el cuadro 4, que el molde de papel de oficina reciclado es más delgado que los otros dos moldes y tiene una densidad aparente significativamente mayor.

En cuanto al análisis estadístico, se observa que el área y el gramaje son precisos con una baja variabilidad en las muestras, mientras que el espesor y la densidad aparente presentan mayor variabilidad en las mediciones. Un análisis estadístico puede ser indicativo de que el gramaje y la densidad aparente están altamente relacionados [53] y que pueden utilizarse para separar el molde que contiene papel de diario y tabaco de los otros dos moldes, mientras que el área y el espesor diferencian el molde de papel de oficina reciclado de los otros dos moldes.

Por otro lado, el molde utilizado puede afectar significativamente la resistencia mecánica de las muestras [54]. Los valores de ruptura máxima y carga máxima son más altos en los moldes de papel de oficina en comparación con los moldes de papel diario (papel periódico), y la inclusión de fibras de tabaco no afecta significativamente la resistencia mecánica en comparación con los moldes que no contienen fibras de tabaco.

Así mismo, se ha podido determinar que, los valores de desviación estándar son relativamente bajos, lo que puede ser indicativo de un alto nivel de precisión en las mediciones y en la formación de los moldes [55]; sin embargo, los valores de %CV (coeficiente de variación) indican una variabilidad relativamente alta en algunos casos. Por lo tanto, la uniformidad de la mezcla y calidad de las fibras utilizadas en la producción de los moldes pueden influir en los resultados obtenidos.

Este trabajo ha demostrado que es posible obtener material fibroso a partir de los residuos del tabaco y caracterizarlo física y químicamente; al mismo tiempo, se pueden conseguir productos moldeados a partir de distintas mezclas del material en estudio con pulpas celulósicas recicladas de papel de oficina y diario (papel periódico).

El análisis físico de los moldes con y sin tabaco muestra que la presencia de residuos fibrosos de tabaco puede tener efectos sobre algunas de las propiedades de los moldes [56], como la inestabilidad dimensional, densidad, resistencia compresión, entre otros [57]. El gramaje, la densidad aparente, el volumen y el espesor son algunas de las propiedades evaluadas que

pueden variar según la presencia de tabaco en el molde [58]. Por tanto, se encontró que el molde de oficina con tabaco tiene una densidad y un gramaje más altos en comparación con el molde de oficina sin tabaco; del mismo modo, el molde de diario con tabaco tiene un espesor y un volumen mayor que el molde de diario sin tabaco.

Referencias

- [1] M. Romano y F. Andrés, "Residuos de la industria de celulosa moldeada. Producción de paneles de relleno para la construcción". Centro de investigación y desarrollo para la construcción y la vivienda (cecovi) Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe, 2013
- [2] S. Saval, "Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales", Instituto de Ingeniería, UNAM, Ciudad Universitaria, México, D.F, 2012
- [3] Rotoplas, "Qué es la agroindustria y por qué es importante en Argentina", 2021 En línea <https://rotoplas.com.ar/agroindustria/que-es-la-agroindustria-y-por-que-es-importante-en-argentina/>
- [4] A. Sluiter, R. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, D. Templeton y D. Crocker, "Determination of Structural. National Renewable Energy Laboratory. Laboratory Analytical Procedure (LAP)", 2008
- [5] M. Cantado, Q. Tarrés, J. Méndez., P. Mutjé y M. Delgado, "Drying kinetics of bleached and unbleached kraft pulps from eucalyptus globulus". Journal of Applied Polymer Science, 92(1), 332-337, 2004 En línea: <https://doi.org/10.1002/app.13563>
- [6] Y. Liu, C. Cao, H. Guo y D. Luo, "Lignin-derived polyphenol-based carbon dots for imaging-guided chemo-photothermal combination therapy of cancer". Journal of Materials Chemistry B, 8(28), 6062-6070, 2020 En línea doi:doi.org/10.1039/D0TB00561D
- [7] S. Park, S. Kim, Y. Seo y B. Lee, "Characteristics of cellulose extracted from tobacco stem for pulp and paper production". BioResources, 15(1), 1218-1232, 2020
- [8] T. Lindström, G. Carlsson y P. Larsson, "Pulp and paper chemistry and technology. Fiber Chemistry. Walter de Gruyter", 2005.
- [9] S. Qin, Y. Chen, S. Tao, C. Zhang, X. Qin, P. Chen y H. Qi, "High recycling performance of holocellulose paper made from sisal fibers". ELSEVIER, 2022.
- [10] T. Chakrabarty, N. Karak y B. Sarkar, "Pulp and paper production from tobacco stem: An environment friendly approach for waste utilization". Journal of Cleaner Production, 117, 1-8, 2016.
- [11] Ministerio de Energía y Minas, "Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético. Lima: dirección general de eficiencia energética ministerio de energía y minas, 2016.
- [12] P. Mocchiutti, "Mejora de propiedades papeleras de pulpas celulósicas significadas de reciclo. Aplicación de tratamientos oxidativos enzimáticos y químicos". Instituto de Tecnología Celulósica – Facultad de Ingeniería Química Universidad Nacional del Litoral, 2007.
- [13] M. Didone. Y G. Toselló, "Molded pulp products for food packaging: State of the art and research challenges". Journal of Agricultural Engineering, 50(2), 63-79, 2019.
- [14] P. Panneerselvam, K. Mahesh, K. Varadharajan, K. Shanmugarajan, P. Srinivasan y V. Krishnaswamy, "Review of tobacco waste management techniques". Environmental impact assessment review, 86, 106531, 2021.
- [15] P. Peng, L. Chen y H. Chen, "The manufacture of food packaging from bamboo pulp". Packaging Technology and Science, 19(1), 41-49, 2006. En línea <https://doi.org/10.1002/pts.710>
- [16] P. Rattanawongkun, N. Kerddonfag, N. Tawicha, U. Intatha y N. Soykeabkaew, "Improving agricultural waste pulps via self-blending concept with potential use in moulded pulp packaging". Journal of Environmental Chemical Engineering, 2020.
- [17] F. López, R. Zuluaga, C. Orrego y P. Gañán, "Cellulose chemistry and applications. Nova Science Pub Incorporated", 2018.
- [18] S. Rattanawongkun, N. Ke, P. Tawich, U. Intatha y N. Soykeabkaew, "Evaluation of physical properties of paper sheets made from agricultural residues". Journal of Material Cycles and Waste Management., 22, 35-45, 2020.
- [19] K. Dubey y A. Singh, "Paper production from recycled waste paper by pulping: A review". Journal of Materials Research and Technology, 13, 18-27, 2021. En línea <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.10.052>
- [20] K. Semple, C. Zhou, O. Rojas, W. Nguegang y C. Dai, "Moulded pulp fibers for disposable food packaging: A state-of-the-art review". Food Packaging and Shelf Life., 33, 2022.

- [21] M. Ghorbani, P. Rezayati., A. Raisi, M. Faezipour y M. Taherzadeh, "Agricultural residue pulping and paper production", *Cellulose*, 27(18), 10489-10517, 2020. En línea <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03449-5>
- [22] E. Miedes, M. Minteguiaga, A. Vallejo y F. Vilaseca, "New strategies to improve physical properties of recycled paper. Environmental Science and Pollution Research", 26(19), 19779-19791, 2019.
- [23] B. Saha y R. Chowdhury, "Hemicellulose Biorefineries. Biochemical and Biophysical", *Research Communications*, 534, 616-624, 2021. En línea <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2020.11.068>
- [24] Q. Tarrés, F. Espinach, S. Boufi y P. Mutjé, "The challenge of increasing the use of recycled fibers in paper-making". The current state of the art. *BioResources*, 12(1), 2143-2160, 2017.
- [25] P. Zhao, Y. Liu, B. Zhang, Y. Li, F. Wang y L. Chen, "Caustic lignin enhances properties of bagasse pulp through spin coating". *Cellulose*, 27, 8825-8834, 2020. En línea <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03343-0>
- [26] Y. Zhang, Y. Duan, V. Bokka, K. He y Y. Ni, "Biodegradable and Compostable Thermoplastic Starch-Based Materials for Sustainable Packaging Applications". *Polymers*, 13(18), 3120, 2021.
- [27] Y. Wang, L. Zhu, C. Li, L. Wang y X., "A critical review of lignocellulose crystallinity in biomass conversion". *International Journal of Biological Macromolecules*, 176, 38-48, 2021.
- [28] B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, A. Sluiter, J. Sluiter y D. Templeton, "Technical Report NREL/TP-510-42620. Preparation of Samples for of Samples for Compositional Analysis. (L. A. (LAP), Ed.)" National Renewable Energy Laboratory, 2008.
- [29] H. Zhang, C. Duan, S. Bokka, H. He y Y. Ni, "Life cycle assessment and optimization of paper recycling system considering regional carbon intensity and transport distance in China". *Journal of Cleaner Production*, 315, 128162, 2021. En línea <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128162>
- [30] Y. Vargas y L. Peréz, "Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente". Revista Facultad de Ciencias Básicas, 2018.
- [31] X. Tian, H. Liu, X. Teng, R. Yang y X. Li, "Chemical composition and characteristics of cellulose fiber from tobacco stem". *Industrial Crops and Products*, 128, 551-557, 2019.
- [32] Q. Tarrés, N. Pellicer, A. Balea, N. Merayo, C. Negro, A. Blanco y P. Mutjé, "Lignocellulosic micro/nanofibers from wood sawdust applied to recycled fibers for the production of paper bags". Elsevier, 2017.
- [33] L. Wang y S. Li, "Review on research of pulp molded product quality and production technology". *Advanced Materials Research*, 1043, 784-790, 2014. En línea <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1043.784>
- [34] V. Veintemilla, "Procesos de Moldeado", 2020. En línea <https://es.scribd.com/document/392162516/Procesos-de-Moldeado>
- [35] TAPPI. "Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Test Methods. 2000-2001. Norma Estandarizadas", 2001.
- [36] Y. Zhang, C. Duan, S. Bokka, Z. He y Y. Ni, "Molded fiber and pulp products as green and sustainable alternatives to plastics" A mini review, 2021.
- [37] C. Huang, L. Feng, Z. Zhang, S. Yang y J. Li, "Improvement of molding process of pulp molding products based on experimental study and simulation analysis". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116, 3425-3435, 2021. En línea <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06472-0>
- [38] L. Jaramillo y A. Cuartas, "Elaboración de materiales compuestos a partir de cascarilla de arroz y matrices termoplásticas". *Tecnológico de Antioquia*, 2020. En línea <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/928?locale-attribute=en>
- [39] M. Hubbe, R. Venditti y O. Rojas, "What happens to cellulose fibers during papermaking and recycling? A review", *BioResources*, 2(4), 739-788, 2007.
- [40] H. Jiang, H. Meng, H. Wang y Z. Wang, "Comprehensive utilization of tobacco industry waste: A review", *Journal of cleaner production*, 255, 120338, 2020.
- [41] V. Kumar, S. Luthra y R. Gupta, "A Review on Tobacco as a Potential Source of Cellulose and its Applications. International". *Journal of Chemical Studies*, 7(4), 2862, 2019.
- [42] IMAM, CONICET – UNaM. IMAM, 2020. En línea imam.conicet.gov.ar/gobierno/
- [43] K. Lindeberg, M. Ross y K. Butler, "Tobacco use and the heart. Cleveland Clinic" *Journal of Medicine*, 85(12), 924-930, 2018.
- [44] M. Guidobaldi, "Estudio sobre la gestión de residuos de papel y cartón con la finalidad de su recuperación, a través del reciclado", Tesis de grado, Universidad Nacional de Córdoba, 2012.

- [45] M. Kumar, Y. Negi, N. Singh, B. Sarkar y R. Singh, "Production and characterization of unbleached pulp from agricultural residue wheat straw employing alkaline sulfur-free processes. Frontiers in Energy", Research, 8, 637148, 2021. doi:doi.org/10.3389/fenrg.2020.637148
- [46] X. Li, Y. L. Liu, "The effect of headgroup charge density of cationic surfactants on the compatibility and wetting of oil-wet kaolinite". Applied Clay Science, 22(3-4), 139-152, 2003, doi:https://doi.org/
- [47] Gobierno Nacional de Argentina, "Plan Argentina Innovadora", Obtenido de Agroindustria, 2020. En línea <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/argentina-innovadora-2030/plan-argentina-innovadora-2020/agroindustria>
- [48] V. Kumar, V. Yadav y A. Singh, "Tobacco stem as an alternative raw material for paper industry", Journal of Scientific and Industrial Research, 74(10), 527-530, 2015.
- [49] R. Gupta, S. Luthra y V. Kumar, "Tobacco: Its Historical, Cultural, and Medicinal Importance with a Special Focus on its Usage in Paper Manufacture". Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology, 14(2), 1072-1076, 2020.
- [50] Mongabayauthor, "Cambio climático", 2014. En línea <https://es.mongabay.com/2014/04/como-la-agricultura-industrial-esta-contribuyendo-al-cambio-climatico/>
- [51] N. Aguilar, "El reciclado de papel y cartón". Ciencia y Cultura; elementos, 2004.
- [52] ASPAPEL, "Tu papel es Importante". Madrid: Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón, 2005.
- [53] M. Didone, F. Chenlo, G. Tosello, "A new ecodesign approach for packaging made of biodegradable materials", Journal of Cleaner Production, 141, 1141-1151, 2017.
- [54] D. Dai, X. Fan, Y. Wang, C. Zhang y H. Jian, "What factors drive the price volatility of recovered paper in China?" Business Management Dynamics, 6(7), 16-28, 2017.
- [55] C. Dislaire, B. Seantier, M. Muzy y Y. Grohens, "Mechanical and hygroscopic properties of molded pulp products using different wood-based cellulose fibers". Polymers, 2021. En línea 13. doi:doi:https://doi.org/10.3390/polym13193225
- [56] G. Gavazzo, R. Lanouette y J. Valade, J. "Fabricación de productos en pulpa moldeada". Ciadicyp, 2017.
- [57] K. Caballero, W. Patiño, B. Alvarado, J. Parra y D. Rodriguez, "Obtención de acetato de celulosa a partir de papel reciclado: una alternativa para la producción de acetato de celulosa en Colombia", 2020.
- [58] O. Castellano, "Diseño de un sistema de recolección y disposición de papel como alternativa sustentable para "el consorcio el sitio" (municipio paz castillo, estado miranda). Universidad de Carabobo facultad ingeniería escuela de ingeniería civil departamento de ingeniería ambiental", Trabajo Especial de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil, 2011.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.