

FABRICACIÓN DE CUBIERTOS AGLOMERADOS A PARTIR DEL NÚCLEO LEÑOSO DE LA PLANTA CÁÑAMO INDUSTRIAL (*Cannabis sativa* L.)

Manufacture of Hemp-based cutlery from the Woody Core of Industrial Hemp Plant (*Cannabis sativa* L.)

Edgar Alexander Torres Gómez
Hugo Fernando Solís García *
Andrés De la Rosa Martínez
Stalin Suntaxi Crisanto

Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería Química, Quito, Ecuador.

*hfsolis@uce.edu.ec

RESUMEN

El cáñamo industrial ha ganado popularidad por su capacidad para capturar carbono, mayor producción de biomasa y diversidad de productos finales. Este estudio tiene como objetivo desarrollar un nuevo material compuesto o aglomerado a base de virutas de tallos secos de cáñamo industrial *Cannabis sativa* L. como material de relleno y un aglutinante conformado por proteínas vegetales, además, se realizaron ensayos de resistencia al impacto y tracción, junto con la evaluación de propiedades físicas como absorción de agua, grado de hinchazón y densidad aparente. El proceso de fabricación del aglomerado de cáñamo se basó en la elaboración de tableros aglomerados, considerando parámetros de proceso importantes como tamaño de partícula del material de relleno, aglutinantes, composición, temperatura y presión de curado. Los datos resultantes de las propiedades físicas y mecánicas, fueron analizados mediante análisis de varianza multifactorial y prueba de rangos múltiples para determinar qué factores (variedad de cáñamo, tamaño de partícula y aglutinante) tienen efecto tanto en las propiedades físicas y mecánicas. Los resultados muestran que el tamaño de partícula como el tipo de aglutinante tienen un impacto significativo en las propiedades de los aglomerados de cáñamo, mismo que destaca como material alternativo en la fabricación de cubiertos plásticos.

Palabras claves: *Cáñamo industrial, Prensado, Material compuesto, Propiedades Mecánicas, Propiedades Físicas, Cubiertos aglomerados.*

ABSTRACT

Industrial hemp has gained popularity for its carbon sequestration capacity, increased biomass production and diversity of end products. The objective of this study was to develop a new composite material or agglomerate based on dry stalk shavings of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) as filler material and a binder made up of vegetable proteins. In addition, impact and tensile strength tests were carried out, together with the evaluation of physical properties such as water absorption, swelling degree and apparent density. The manufacturing process of the hemp agglomerate was based on the production of agglomerated boards, considering important process parameters such as particle size of the filler material, binders, composition, temperature and curing pressure. The resulting physical and mechanical properties data were analyzed by multifactorial analysis of variance and multiple range test to determine which factors (hemp variety, particle size and binder) have an effect on both physical and mechanical properties. The results show that particle size and binder type have a significant impact on the properties of hemp agglomerates, which stand out as an alternative material in the manufacture of plastic coatings.

Keywords: *Industrial Hemp, Pressing, Composite Material, Mechanical Properties, Physical Properties, Hemp-based cutlery.*

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de materiales biodegradables capaces de sustituir a productos plásticos sintéticos, representan un desafío clave tanto para las generaciones presentes como para las futuras, especialmente enfocado en el contexto del cambio climático global. Los polímeros sintéticos presentan varios problemas, particularmente en cuanto a la evaluación de su ciclo de vida y la adecuada gestión de sus desechos al final de su uso (1). Los polímeros biodegradables se pueden obtener de diferentes tipos de materias primas, incluidos productos agrícolas, como el maíz o la soja, y otras fuentes como la pesca, las algas o los desechos de alimentos (2). Por lo tanto, el desarrollo de materiales biodegradables con valor agregado a partir de subproductos vegetales y productos de desecho pueden llegar a ser una alternativa interesante y respetuosas con el medio ambiente (3).

En este contexto, el uso de fuentes de proteínas de plantas y animales han sido utilizadas debido a sus propiedades mecánicas similares con los plásticos convencionales (4, 5). En comparación con los materiales plásticos sintéticos, el aislado de proteína de soya (SPI) es un subproducto vegetal que tiene cualidades biodegradables y compostables (6). Los productos elaborados únicamente a base de proteína de soya poseen alta absorción de humedad y una baja resistencia mecánica; por lo tanto, estas propiedades podrían mejorarse mediante la utilización de fibras o desechos vegetales (3).

El uso de materiales de desecho de origen vegetal es una alternativa inminente a los recursos madereros; el cáñamo industrial puede llegar a ser una alternativa como material de relleno para la fabricación de materiales compuestos o aglomerados, debido a su rápido crecimiento, ya que puede ser cosechada dos veces al año (7). El cáñamo industrial puede absorber entre 8 y 15 toneladas de CO₂ por cada hectárea cultivada, una cantidad considerablemente mayor a las 2 a 6 toneladas de CO₂ que los bosques pueden capturar anualmente por hectárea, dependiendo de su edad, tiempo de crecimiento, región climática y tipo de árbol (8). La producción esperada por hectárea de cultivo de cáñamo industrial se prevé que sea 2 toneladas de fibra, 540 kg de semillas y 10 toneladas de materia seca entre tallos y hojas (9).

En la actualidad los materiales biocompuestos fabricados con fibras naturales han ganado mucha atención, ya que presentan ventajas como bajo costo, baja densidad y propiedades mecánicas aceptables (10). Sin embargo, no existe información sobre el uso del núcleo leñoso de cáñamo industrial en la producción de materiales compuestos destinados a la fabricación de cubiertos SPI. Por ende, el desarrollo de materiales compuestos o aglomerados conformados por una matriz de aislado de proteína de soya y salvado de trigo, reforzada con virutas de cáñamo industrial ayudará al conocimiento de las propiedades mecánicas (resistencia al impacto y tracción) y físicas (Absorción de agua, grado de hinchazón y densidad aparente). Con la aplicación de ensayos estandarizados ASTM e ISO se espera aportar con información relevante para la determinación de factores que pueden llegar a influir en la calidad del material fabricado.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

La materia prima utilizada para la obtención de virutas del tallo de la planta *Cannabis sativa L.* correspondiente a las variedades Latitud Cero (LC) y Chalupas (CH) fueron cultivadas en la parroquia de San Antonio de Pichincha (Quito, Ecuador). El aislado de proteína de Soya (SPI) con nombre comercial SUPRO® 500E fabricado por Solae do Brasil, se adquirió en Alitecno S.A. (Quito, Ecuador). La glicerina vegetal grado USP (Gly) utilizado como plastificante fue comprado a La Casa de los Químicos Laquin C.L. (Quito, Ecuador). El salvado de trigo (ST) fue adquirido en SCHULLO S.A. (Quito, Ecuador).

Preparación de material de relleno de los tallos de cáñamo industrial

Los tallos de *Cannabis sativa L.* de las variedades Latitud Cero (LC) y Chalupas (CH) se recolectaron durante la etapa de fin de floración, correspondiente a la etapa fenológica 69 de la escala BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) (11) como material vegetal fresco, para luego ser almacenado en bodegas con una temperatura promedio de 22°C por un tiempo aproximado de 60 días para su correspondiente secado. Los tallos de cáñamo secos se descortezaron con un cortador

cutter, luego los tallos de cáñamo descortezados se cortaron en trozos de 100 mm de longitud con una tijera de jardinería. De acuerdo con Istek (12), el tamaño de partícula juega un rol importante en las propiedades mecánicas y físicas en la fabricación de aglomerados. Cuando se producen aglomerados con virutas finas, las propiedades mecánicas se reducen significativamente, mientras que el uso de virutas gruesas provoca vacíos en la estructura del material (3, 7). En este estudio, se trabajó con dos tamaños de partícula: los tallos de cáñamo industrial se molieron en un molino de corte (SM300, Retsch) con tamiz de abertura cuadrada para obtener virutas de 2 mm, y se pulverizaron en un molino ultracentrífugo (ZM300, Retsch) para obtener polvo de tallo de cáñamo con tamaño de partícula de 0,25 mm.

Preparación del material compuesto o aglomerado

Los cubiertos aglomerados de cáñamo industrial se fabricaron utilizando dos variedades de Cannabis sativa L. correspondientes a Latitud Cero y Chalupas, con tamaños de partícula de 2 mm y 0,25 mm como material de relleno. La matriz o aglutinante se formuló a partir de dos mezclas: SPI+ST-Gly y SPI-Gly, cuyas proporciones se detallan en la Tabla 1.

Variedad	Tamaño de partícula (mm)	Composición % p/p			
		SPI (%)	ST (%)	Glicerina (%)	Virutas cáñamo (%)
Latitud Cero	2	70	-	30	5
Latitud Cero	0,25	70	-	30	5
Chalupas	2	70	-	30	5
Chalupas	0,25	70	-	30	5
Latitud Cero	2	60	10	30	5
Latitud Cero	0,25	60	10	30	5
Chalupas	2	60	10	30	5
Chalupas	0,25	60	10	30	5

Tabla 1. Composición del material compuesto.

El material compuesto o aglomerados fabricado se sometió a moldeo por compresión utilizando una prensa hidráulica de platos calientes a 125 °C, 100 bar durante un tiempo de prensado de 6 minutos para el aglutinante SPI y 121 °C, 100 bar con un tiempo de prensado de 5 minutos para el aglutinante SPI+ST (13, 14). Además, se aplicó el proceso de moldeo manual en frío utilizando una prensa de mano con un tiempo de prensado de 10 minutos y horneadas en un horno eléctrico a 145 °C durante 75 minutos.

Caracterización de muestras

A. Propiedades físicas - absorción de agua, grado de hinchazón y densidad aparente de las mezclas SPI/SPI+ST

Todas las muestras se secaron a 50 °C durante 24 horas antes de realizar todos los ensayos. Las pruebas de absorción de agua se realizaron conforme a la norma ASTM D570 (15), utilizando probetas de aglomerado rectangulares (55 x 10 x 1 mm³). Luego, los aglomerados se sumergieron en cajas Petri con 50 ml de agua destilada durante 2 horas. El exceso de agua de los aglomerados se retiró con toallas absorbentes. El porcentaje de absorción de agua se calculó mediante la ecuación (1).

$$\text{Absorción de agua (\%)} = \left(\frac{m_f - m_o}{m_o} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde m_f corresponde al peso del aglomerado posterior a la absorción de agua y m_o es el peso inicial del aglomerado seco.

Para el grado de hinchazón se midió el largo, ancho y espesor con un calibrador (CAL-6MP, TRUPER) antes y después de ser sumergidas en 50 ml de agua destilada durante 1 hora (16). El grado de hinchazón se obtuvo de la siguiente manera, utilizando la ecuación (2).

$$\text{Grado de hinchazón (\%)} = \left(\frac{(l_f * a_f * e_f) - (l_o * a_o * e_o)}{l_o * a_o * e_o} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde l_f , a_f y e_f son el largo, ancho y espesor de las muestras de aglomerados después de ser sumergidas en agua y l_o , a_o y e_o corresponden a las medidas iniciales de las muestras secas.

Los ensayos para la determinación de la densidad aparente de las muestras de aglomerados se realizaron de acuerdo al procedimiento de la normas ISO 9427 (17). Las probetas rectangulares previamente secadas se pesaron y midieron el largo, ancho y espesor. La densidad aparente se estimó mediante la ecuación (3).

$$\text{Densidad aparente} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{m_o}{(l_o * a_o * e_o)} * \left(\frac{1}{1E^{-6}} \right) \quad (3)$$

Donde m_o , l_o , a_o y e_o se denominan peso inicial, largo, ancho y espesor de las muestras secas del aglomerado.

B. Propiedades mecánicas - tracción y resistencia al impacto de las mezclas SPI/SPI+ST

Los ensayos de tracción se realizaron utilizando una máquina de ensayo universal (AGS-50kNX, SHIMADZU), conforme a la norma ISO 527-2 (18) con probetas de prueba tipo 1BA para la evaluación de propiedades como deformación (ϵ), tensión (σ) y módulo de elasticidad. Los ensayos se realizaron con una tasa de extensión de 1mm/min a temperatura ambiente.

Para la resistencia al impacto se midió la energía de impacto utilizando probetas de prueba rectangulares (12,7 x 12,7 x 127 mm³) y un probador de impacto de Charpy (IMPACTEST-50, ibertest) siguiendo los criterios de la norma ASTM D6110 (19). La resistencia al impacto se calculó siguiendo el procedimiento de Mintách R. (20), el cual se basa en la ecuación (4).

$$\text{Resistencia al impacto} \quad \left(\frac{kJ}{m^2}\right) = \frac{KU}{s} \quad (4)$$

Donde KU y s son la energía de impacto y sección transversal de la probeta de aglomerado respectivamente.

Análisis estadístico

Se plantea una matriz experimental con un diseño factorial completo (2^k) conformado por tres factores (Variedad de cáñamo, Tamaño de partícula y Aglutinante) a dos niveles respectivamente (LC / CH, 0,25mm / 2mm, SPI / SPI+ST) con tres repeticiones para la cuantificación de propiedades físicas y cinco repeticiones para propiedades mecánicas. El análisis estadístico se realizó mediante el análisis de varianza multifactorial (ANOVA, $p \leq 0,05$) y prueba de rangos múltiples de Tukey HSD mediante los paquetes estadísticos STATGRAPHICS Centurion y Minitab 19.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Absorción de agua, grado de hinchazón y densidad aparente

La **Figura 1A** muestra la absorción de agua en aglomerados fabricados a base de virutas de cáñamo industrial y matriz SPI. Como se puede observar el factor variedad de cáñamo industrial no influyó en la capacidad de absorción de agua,

ya que la variedad de cáñamo Chalupas (CH) y Latitud Cero (LC) no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), mismas que se sitúan en torno a 61,44–60,40 % (**Tabla 2**) respectivamente. Por otro lado, los factores tamaños de partícula y aglutinante mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), donde las muestras fabricadas con virutas de cáñamo de tamaño de partícula de 2 mm mostraron aumentos de absorción de agua con 67,31 % en comparación con las muestras fabricadas con tamaños de partícula de 0,25 mm con 54,53 % (**Tabla 2**). El factor aglutinante también presenta diferencias significativas, obteniéndose una absorción de agua mayor con 69,44 % cuando las muestras son fabricadas con SPI y una disminución de absorción de agua cuando se utiliza SPI+ST con un 52,41 % (**Tabla 2**). La disminución en la absorción de agua podría darse por la interferencia que causan las partículas de polvo de cáñamo 0,25 mm y el salvado de trigo, entre los grupos hidrofílicos (-COOH, -NH₂ y -OH) de la matriz SPI (3). De acuerdo con los hallazgos de Gamero S. (16) quienes investigaron la absorción de agua en bioplásticos SPI-Gly con diferentes contenidos de fibras lignocelulósicas con procesamiento de moldeo por inyección, obtuvieron que, al incorporar proporciones bajas de fibras, la absorción de agua se sitúa en torno al 340 % en contraste a una proporción mayor de fibra con aproximadamente un 200 %. Este resultado corrobora que la adición de un material de refuerzo a una matriz SPI mejora las propiedades de hidro adsorción, además de la apreciable mejora al utilizar como material de refuerzo virutas de cáñamo industrial y el proceso de moldeo por compresión en caliente (**Figura 1A**).

Factores	Nivel	Absorción de agua (%)	Grado de Hinchazón (%)	Densidad aparente (kg/m ³)
Variedad	CH	61,44 ± 11,65 ^a	38,49 ± 10,49 ^a	1095,29 ± 115,44 ^a
	LC	60,40 ± 12,04 ^a	37,33 ± 6,43 ^a	1043,17 ± 119,47 ^a
Tamaño de partícula	0,25 mm	54,53 ± 6,61 ^b	38,39 ± 7,19 ^a	1130,10 ± 77,13 ^a
	2 mm	67,31 ± 12,18 ^a	37,44 ± 10 ^a	1008,35 ± 122,66 ^b
Aglutinante	SPI	69,44 ± 10,11 ^a	43,32 ± 7,27 ^a	1114,80 ± 101,62 ^a
	SPI+ST	52,41 ± 4,55 ^b	32,51 ± 5,97 ^b	1023,65 ± 119,26 ^b

Tabla 2. Propiedades físicas. Distintas letras minúsculas dentro de una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) ($n = 3$).

El grado de hinchazón no se vio afectado por los factores variedad de cáñamo y tamaño de partícula ($p > 0,05$) (**Figura 1B**), ya que, al utilizar las variedades Chalupas y Latitud Cero de cáñamo, el grado de hinchazón está en torno al 38,49-37,33 % (**Tabla 2**) respectivamente. El factor aglutinante tiene un comportamiento análogo al factor variedad, donde el grado de hinchazón se sitúa en torno al 38,39 % para partículas de 0,25 mm y 37,44 % para partículas de 2 mm (**Tabla 2**). Sin embargo, el factor aglutinante presenta diferencias significativas ($p < 0,05$), existiendo una disminución en el grado de hinchazón en las muestras elaboradas con aglutinante SPI+ST del 32,51 % en comparación con las muestras con aglutinante SPI con 43,32 % (**Tabla 2**). En este sentido, se ha evidenciado en estudios previos que, comúnmente disminuye la capacidad de absorción de agua cuando se refuerza la estructura de la matriz biopolimérica. Este efecto puede ser asociado a una falta de flexibilidad del material reforzado, impidiendo su capacidad de hinchamiento (21, 22).

En la **Figura 1C** se observa que los factores aglutinante y tamaño de partícula tienen influencia en la densidad aparente ($p < 0,05$), ya que la densidad aparente de las muestras elaboradas con una matriz SPI y tamaño de partícula de 0,25 mm fue mayor con 1114,80 y 1130,10 kg/m^3 respectivamente (**Tabla 2**). Por otro lado, las muestras elaboradas con tamaños de partículas de 2 mm con 1008,35 kg/m^3 y matriz SPI+ST con 1023,65 kg/m^3 mostraron una menor densidad aparente (**Tabla 2**). No obstante, el factor variedad no fue significativo en la densidad aparente ($p > 0,05$). El aumento o disminución de la densidad aparente en las muestras ensayadas puede verse afectado debido a la distribución de partículas del material de relleno de cáñamo en la matriz SPI-Gly, puesto que las partículas de 0,25 mm tiene una distribución uniforme (**Figura 2B**) en contraste con tamaños de partícula de 2 mm (**Figura 2A**). Además, la densidad de partículas depende principalmente del contenido de vacíos de las partículas. Las partículas pequeñas (0,25 mm) tienen una densidad mayor en comparación con partículas grandes (2 mm) debido a que las partículas de mayor tamaño presentan una mayor expansión resultando en un mayor volumen de vacíos (23). En este contexto, la densidad aparente es útil para clasificar un material; conocer la influencia entre la densidad vs resistencia y densidad vs costos (24).

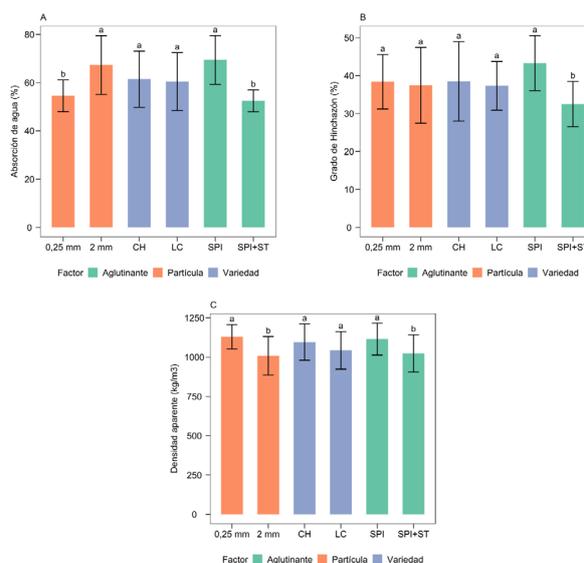


Figura 1. Absorción de agua (A), grado de hinchazón (B) y densidad aparente (C). Las columnas con letras distintas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) ($n = 3$).

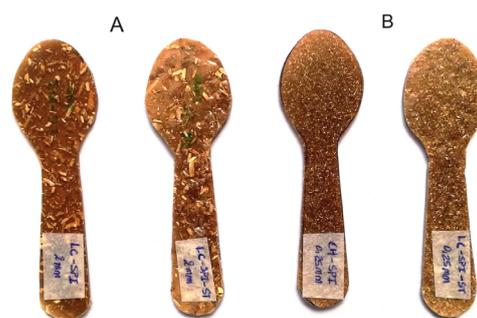


Figura 2. Fotografía de Cubiertos fabricados. Diferencias de material de refuerzo con tamaño de partícula de 2 mm (A) y 0,25 mm (B)

Tracción y resistencia al impacto

En el desarrollo de materiales, los resultados de las propiedades mecánicas son de gran relevancia, debido a que a menudo se miden durante el desarrollo de nuevos materiales con el objetivo de seleccionar materiales para aplicaciones de ingeniería y de este modo se puedan comparar con diferentes materiales y procesos (25). La propiedad mecánica deformación se muestra en la **Figura 3A**. Como puede observarse, el factor variedad de cáñamo presenta diferencias significativas ($p < 0,05$). La deformación fue mayor cuando las muestras fueron elaboradas con la variedad de cáñamo Latitud Cero, en comparación con la variedad Chalupas. No obstante, la mayor deformación de muestras fabricadas con aglutinante formado por SPI fue del 18,29 % ($p < 0,05$), en contraste con la utilización de matriz de SPI+ST con 8,61 % de

deformación (Tabla 3). Los valores de tensión se muestran en la Figura 3B, evidenciándose que no hay diferencias significativas en los factores variedad de cáñamo y aglutinante. Por otro lado, la tensión máxima alcanzada es de 5,33 MPa en presencia de muestras fabricadas con tamaños de partículas de 0,25 mm. Sin embargo, la utilización de tamaños de partículas de 2 mm demostró una disminución en la tensión con un valor de 3,05 MPa. El aumento de la resistencia a la tensión puede deberse a la adhesión interfacial entre las virutas de cáñamo industrial y las cadenas poliméricas del SPI, produciendo una transferencia de tensión más eficaz (26). El módulo de elasticidad de las muestras con

tamaños de partículas de 0,25 mm fue un 22,87 % mayor ($p < 0,05$) (Figura 3C) que las muestras elaboradas con tamaños de partículas de 2 mm. Mientras tanto que, la utilización de una matriz SPI mostró una tendencia menor con 264,62 MPa en contraste con un aglutinante SPI+ST con 290,12 MPa (Tabla 3). El factor variedad de cáñamo no exhibió diferencias significativas en el módulo de elasticidad ($p > 0,05$). Por lo tanto, las propiedades mecánicas como deformación, tensión y módulo de elasticidad se ven mejoradas en materiales compuestos a base de proteína de soya con refuerzo de fibras vegetales, mismas que fortalecen la matriz biopolimérica (27, 28).

Factores	Nivel	Deformación (%)	Tensión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Resistencia al impacto (kJ/m ²)
Variedad	CH	14,94 ± 7,75 ^a	4,30 ± 1,90 ^a	280,75 ± 61,72 ^a	2,44 ± 0,20 ^a
	LC	11,95 ± 6,28 ^b	4,09 ± 1,37 ^a	273,99 ± 43,45 ^a	2,54 ± 0,17 ^a
Tamaño de partícula	0,25 mm	15,58 ± 8,86 ^a	5,33 ± 0,90 ^a	313,20 ± 38,75 ^a	2,52 ± 0,20 ^a
	2 mm	11,32 ± 4,01 ^a	3,05 ± 1,39 ^b	241,54 ± 38,95 ^b	2,47 ± 0,18 ^a
Aglutinante	SPI	18,29 ± 7,09 ^a	4,45 ± 1,65 ^a	264,62 ± 46,46 ^b	2,54 ± 0,17 ^a
	SPI+ST	8,61 ± 2,16 ^b	3,94 ± 1,63 ^a	290,12 ± 56,74 ^a	2,44 ± 0,20 ^a

Tabla 3. Propiedades mecánicas. Distintas letras minúsculas dentro de una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) ($n = 5$).

La resistencia al impacto no mostró diferencias significativas en ninguno de los factores de estudio ($p > 0,05$) (Figura 3D), este resultado podría ser causado por el método de fabricación por prensado manual en frío, mismo que es análogo al proceso en metalurgia de polvos, donde el material de relleno de cáñamo es mezclado con el aglutinante SPI, prensado en frío y luego horneado. Por lo tanto, se demostró que, este proceso no es el adecuado para formar aglomerados a base de virutas de cáñamo, ya que pueden existir grietas alrededor de la matriz, disminuyendo así la adhesión interfacial entre las virutas de cáñamo y los aglutinantes (29).

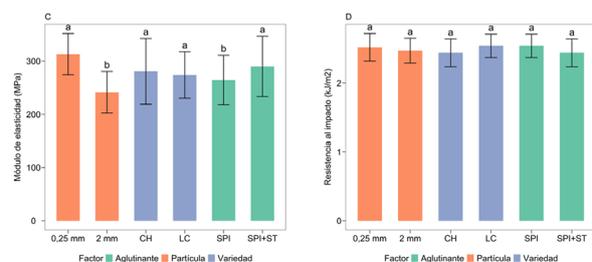
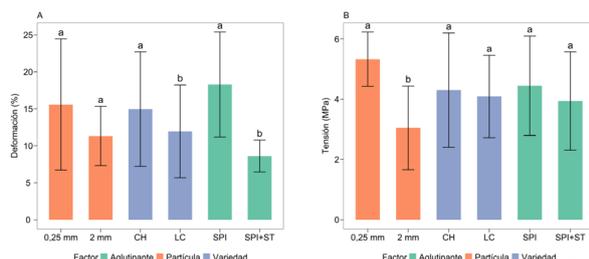


Figura 3. Deformación (A), tensión (B), módulo de elasticidad (C) y resistencia al impacto (D). Las columnas con letras distintas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) ($n = 5$).

IV. CONCLUSIONES

El uso del núcleo leñoso de los tallos de cáñamo industrial ha demostrado ser altamente prometedor como material de refuerzo en aglomerados con matriz de aislado de proteína de soya, utilizando técnicas de prensado en caliente, ya que se observó mejoras significativas en las propiedades físicas y mecánicas. Las muestras que son elaboradas con virutas de cáñamo con



tamaños de partículas de 0,25 mm y matriz de SPI+ST mejoraron las propiedades de hidro-absorción, demostrando una menor absorción de agua y grado de hinchazón. Por otro lado, el uso de material de relleno con tamaño de 0,25 mm y matriz SPI genera compuestos de alta densidad aparente en comparación con rellenos con tamaños de 2 mm y aglutinante SPI+ST que producen aglomerados de baja densidad aparente. No obstante, la utilización de material de refuerzo con tamaños de partícula de 0,25 mm y matriz SPI+ST muestran efectos significativos en la propiedad de tracción, mostrando una mejora especialmente para la tensión y módulo de elasticidad. Sin embargo, se evidenció que la utilización de cualquier variedad de cáñamo no muestra efectos significativos sobre los aglomerados, sin mejoras en las propiedades físicas o mecánicas. Por lo tanto, el desarrollo de aglomerados a base de virutas de cáñamo y SPI puede llegar a ser una alternativa al uso de cubertería fabricada con materiales sintéticos y de esta manera reducir el impacto ambiental que generan los plásticos.

V. AGRADECIMIENTOS

Este estudio se llevó a cabo gracias al apoyo del grupo de investigación “Estudio del valor nutricional, beneficios médicos y usos alimentarios de las semillas de cáñamo (*Cannabis sativa L.*) cultivadas en Ecuador” de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador.

Agradecemos al área de investigación de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador y al Centro de Investigación en Diseño Industrial Innovación y Emprendimiento de la facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Central del Ecuador.

VI. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

VII. REFERENCIAS

1. Alam MM, Maniruzzaman M, Morshed MM. Application and advances in microprocessing of natural fiber (jute)-based composites. In: Hashmi S, Batalha GF, Van Tyne CJ, Yilbas BBTCMP, editors. Comprehensive materials processing [Internet]. Oxford: Elsevier; 2014. p. 243–60. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080965321007147>
2. Kaushalya RANC, Dhanushka MKDT, Samarasekara AMPB, Weragoda VSC. Development of biodegradable packaging materials using polylactic acid (PLA) and locally extracted starch. In: 2019 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon) [Internet]. IEEE; 2019. p. 610–5. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8818917/>
3. Choeybundit W, Shiekh KA, Rachtanapun P, Tongdeesoontorn W. Fabrication of edible and biodegradable cutlery from morning glory (*Ipomoea aquatica*) stem fiber-reinforced onto soy protein isolate. *Heliyon* [Internet]. 2022;8(5):e09529. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09529>
4. Olatunde OO, Singh A, Shiekh KA, Nuthong P, Benjakul S. Effect of high-voltage cold plasma on oxidation, physicochemical, and gelling properties of myofibrillar protein isolate from Asian sea bass (*Lates calcarifer*). *Foods* [Internet]. 2021 Feb 4;10(2):326. Available from: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/2/326>
5. Felix M, Perez-Puyana V, Romero A, Guerrero A. Production and characterization of bioplastics obtained by injection moulding of various protein systems. *J Polym Environ* [Internet]. 2017;25(1):91–100. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0790-7>
6. Echeverría I, Eisenberg P, Mauri AN. Nanocomposite films based on soy proteins and montmorillonite processed by casting. *J Memb Sci* [Internet]. 2014;449:15–26. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738813006492>
7. Zvirgzds K, Kirilovs E, Kukle S, Gross U. Production of particleboard using various particle-size hemp shives as filler. *Materials (Basel)* [Internet]. 2022 Jan 24;15(3):886. Available from: <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/3/886>

8. Arehart JH, Nelson WS, Srubar WV. On the theoretical carbon storage and carbon sequestration potential of hempcrete. *J Clean Prod* [Internet]. 2020;266:121846. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262031893X>
9. Matango Proaño F. Evaluación de tres variedades de cáñamo (*Cannabis sativa* var. *sativa*) bajo tres densidades de siembra para la obtención de fibra [tesis de licenciatura] [Internet]. Quito (EC): Pontificia Universidad Católica del Ecuador; 2005. Available from: <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/536>
10. Saenghirunwattana P, Noomhorm A, Rungsardthong V. Mechanical properties of soy protein-based “green” composites reinforced with surface-modified cornhusk fiber. *Ind Crops Prod* [Internet]. 2014;60:144–50. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669014003434>
11. Mishchenko S, Mokher Y, Laiko I, Burbulis N, Kyrychenko H, Dudukova S. Phenological growth stages of hemp (*Cannabis sativa* L.): codification and description according to the BBCH scale. *Žemės ūkio Moksl.* 2017 Jul 25;24.
12. Istek A, Aydin U, Özlüsoylu B. The effect of chip size on the particleboard properties. In: International Congress on Engineering and Life Science [Internet]. Kastamonu, Turkey; 2018. p. 439–44. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/329674033>
13. Sun XS. Thermal and mechanical properties of soy proteins. In: Sun XS, Wool R, editors. *Bio-based polymers and composites* [Internet]. Elsevier; 2005. p. 292–326. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-012763952-9/50010-1>
14. Snijder M, Keijsers E, Mulder W, Schennink G, Van D, Wevers M. Biotrem: process and product innovations of bran-based material [Internet]. Wageningen: ATO-DLO; 2003. 57 p. Available from: <https://edepot.wur.nl/476145>
15. ASTM. ASTM D570-98 (Reapproved 2010). Standard test method for water absorption of plastics (Technical Standard) [Internet]. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2010. p. 25–8. Available from: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D570-98R10E1>
16. Gamero S, Jiménez-Rosado M, Romero A, Bengoechea C, Guerrero A. Reinforcement of soy protein-based bioplastics through addition of lignocellulose and injection molding processing conditions. *J Polym Environ* [Internet]. 2019. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01430-1>
17. International Organization for Standardization. ISO 9427:2003 Wood-based panels—determination of density (Technical Standard) [Internet]. Geneva, Switzerland: ISO; 2003. p. 1–8. Available from: <https://www.iso.org/standard/32853.html>
18. International Organization for Standardization. ISO 527 Plastics—Determination of tensile properties—Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics (Technical Standard) [Internet]. Geneva, Switzerland: ISO; 2012. p. 1–11. Available from: <https://www.iso.org/standard/56046.html>
19. ASTM. ASTM D6110-10. Standard test method for determining the Charpy impact resistance of notched specimens of plastics (Technical Standard) [Internet]. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2010. p. 1–17. Available from: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D6110-10>
20. Mintách R, Novy F, Bokuvka O, Chalupová M. Impact strength and failure analysis of welded Damascus steel [Internet]. *Materials Engineering*. Vol. 19; 2012:22–8. Žilina, Slovakia: University of Žilina, Faculty of Mechanical Engineering; Available from: <https://core.ac.uk/download/pdf/25758127.pdf>
21. Jerez A, Partal P, Martínez I, Gallegos C, Guerrero A. Rheology and processing of gluten based bioplastics [Internet]. *Biochem Eng J.* 2005 Nov;26(2–3):131–8. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1369703X05001087>
22. Bruyninckx K, Jansens KJA, Delcour JA, Smet M. The effect of cross-linking additives on the structure and properties of glassy wheat gluten material [Internet]. *Ind Crops Prod.* 2016 Mar;81:38–48. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669015305483>

23. Alengaram UJ. Valorization of industrial byproducts and wastes as sustainable construction materials [Internet]. In: Colangelo F, Cioffi R, Farina IBTH of SC and IWM, editors. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. Woodhead Publishing; 2022. p. 23–43. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128217306000036>
24. Bag DS, Nandan B, Alam S, Kandpal LD, Mathur GN. Density measurements of plastics—A simple standard test method [Internet]. Indian J Chem Technol. 2003;10(5):561–3. Available from: <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/22793>
25. American Society for Metals. Tensile testing [Internet]. In: Davis JR, editor. Introduction to Tensile Testing. 2nd ed. USA: ASM International; 2004. p. 1–8. Available from: <https://doi.org/10.31399/asm.tb.tt2.9781627083553>
26. Huang X, Netravali A. Biodegradable green composites made using bamboo micro/nano-fibrils and chemically modified soy protein resin [Internet]. Compos Sci Technol. 2009 Jun;69(7–8):1009–15. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353809000177>
27. Mohanty AK, Tummala P, Liu W, Misra M, Mulukutla PV, Drzal LT. Injection molded biocomposites from soy protein based bioplastic and short industrial hemp fiber [Internet]. J Polym Environ. 2005;13:279–85. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s10924-005-4762-6>
28. Gu W, Liu X, Ye Q, Gao Q, Gong S, Li J, et al. Bio-inspired co-deposition strategy of aramid fibers to improve performance of soy protein isolate-based adhesive [Internet]. Ind Crops Prod. 2020;150:112424. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092666902030340X>
29. Crosby JM, Drye TR. How fibers affect fracture behavior of nylon-66 composites. Mod Plast. 1986;63(11):74