

APROVECHAMIENTO DE CÁSCARA DE NARANJA (CITRUS × SINENSIS) EN LA FABRICACIÓN DE PAPEL ECOLÓGICO COMO ESTRATEGIA DE DESARROLLO SOSTENIBLE

UTILIZATION OF ORANGE PEEL (CITRUS × SINENSIS) IN THE MANUFACTURE OF ECOLOGICAL PAPER AS A SUSTAINABLE DEVELOPMENT STRATEGY

Autores: ¹Johan Jesús Peña Mamani, ²David Elard Callusani Condori, y ³Gina Milagros Arocutipa Phatti

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-5486-5648>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-9808-6460>

³ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8567-7851>

¹E-mail de contacto: jjpeuam@unjbg.edu.pe

²E-mail de contacto: decallusanic@unjbg.edu.pe

³E-mail de contacto: gmarocutipap@unjbg.edu.pe

Afiliación: ^{1*2*3}Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Artículo recibido: 20 de Julio del 2026.

Artículo revisado: 22 de Julio del 2026.

Artículo aprobado: 22 de Julio del 2026.

¹Estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

²Estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

³Estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el aprovechamiento de la cáscara de naranja (Citrus × sinensis) en la fabricación de papel ecológico como estrategia de desarrollo sostenible, mediante la caracterización de sus propiedades fisicoquímicas y la percepción social del producto. Se aplicó un diseño completamente aleatorio (DCA) con cuatro tratamientos (0, 30, 40 y 50 % de pulpa de cáscara de naranja combinada con pulpa de papel reciclado) y tres repeticiones, generando doce unidades experimentales; se evaluaron el gramaje, el espesor y la rigidez de flexión del papel producido, y se aplicó una encuesta de satisfacción a comerciantes de la región de Tacna. Los resultados mostraron un incremento significativo y directamente proporcional del gramaje (de 75,3 a 86,3 g/m²), el espesor (de 0,089 a 0,129 mm) y la rigidez, expresada como un menor ángulo de flexión (de 33,5° a 24,0°), conforme aumentó la concentración de cáscara de naranja, confirmado mediante análisis de varianza y prueba de Tukey (p < 0,05). La encuesta de satisfacción, aplicada a 35 comerciantes, evidenció una mayor aceptación del tratamiento con 40 % de cáscara en cuanto a apariencia visual, consistencia al tacto y viabilidad frente al papel convencional,

mientras que el tratamiento con 50 % fue el más valorado en resistencia percibida. Se concluye que la cáscara de naranja constituye una materia prima viable para la fabricación de papel ecológico, ya que mejora sus propiedades mecánicas y es aceptada favorablemente por los consumidores, lo que respalda su uso como alternativa sostenible frente a los residuos agroindustriales generados en la región.

Palabras clave: Cáscara de naranja, Papel ecológico, Residuos agroindustriales, Biomasa lignocelulósica, Desarrollo sostenible, Economía circular, Valorización de residuos.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the utilization of orange peel (Citrus × sinensis) in the manufacture of ecological paper as a sustainable development strategy, through the characterization of its physicochemical properties and the social perception of the product. A completely randomized design (CRD) was applied with four treatments (0, 30, 40, and 50 % orange peel pulp combined with recycled paper pulp) and three replicates, generating twelve experimental units; the basis weight, thickness, and bending stiffness of the paper produced were evaluated, and a

satisfaction survey was applied to vendors in the Tacna region. Results showed a significant and directly proportional increase in basis weight (from 75.3 to 86.3 g/m²), thickness (from 0.089 to 0.129 mm), and stiffness, expressed as a smaller bending angle (from 33.5° to 24.0°), as the orange peel concentration increased, confirmed by analysis of variance and Tukey's test ($p < 0.05$). The satisfaction survey, applied to 35 vendors, showed greater acceptance of the 40 % treatment in visual appearance, tactile consistency, and viability compared to conventional paper, while the 50 % treatment was the most valued for perceived resistance. It is concluded that orange peel is a viable raw material for manufacturing ecological paper, as it improves its mechanical properties and is favorably accepted by consumers, supporting its use as a sustainable alternative to the agroindustrial waste generated in the region.

Keywords: Orange peel, Ecological paper, Agroindustrial waste, Lignocellulosic biomass, Sustainable development, Circular economy, Waste recovery.

Sumário

O objetivo do presente estudo foi avaliar o aproveitamento da casca de laranja (*Citrus × sinensis*) na fabricação de papel ecológico como estratégia de desenvolvimento sustentável, por meio da caracterização de suas propriedades físico-químicas e da percepção social do produto. Aplicou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro tratamentos (0, 30, 40 e 50 % de polpa de casca de laranja combinada com polpa de papel reciclado) e três repetições, gerando doze unidades experimentais; avaliaram-se a gramatura, a espessura e a rigidez à flexão do papel produzido, além de aplicar uma pesquisa de satisfação a comerciantes da região de Tacna. Os resultados mostraram um aumento significativo e diretamente proporcional da gramatura (de 75,3 a 86,3 g/m²), da espessura (de 0,089 a 0,129 mm) e da rigidez, expressa como um menor ângulo de flexão (de 33,5° a 24,0°), conforme aumentava a concentração de casca de laranja, confirmado por análise de variância e teste de Tukey ($p < 0,05$). A

pesquisa de satisfação, aplicada a 35 comerciantes, evidenciou maior aceitação do tratamento com 40 % de casca quanto à aparência visual, consistência ao tato e viabilidade frente ao papel convencional, enquanto o tratamento com 50 % foi o mais valorizado quanto à resistência percebida. Conclui-se que a casca de laranja constitui uma matéria-prima viável para a fabricação de papel ecológico, pois melhora suas propriedades mecânicas e é favoravelmente aceita pelos consumidores, o que respalda seu uso como alternativa sustentável frente aos resíduos agroindustriais gerados na região.

Palavras-chave: Casca de laranja, Papel ecológico, Resíduos agroindustriais, Biomassa lignocelulósica, Desenvolvimento sustentável, Economia circular, Valorização de resíduos.

Introducción

Actualmente, el incremento de residuos orgánicos y el uso excesivo de recursos forestales para la producción de papel representan un problema ambiental importante a nivel mundial. La fabricación tradicional de papel requiere grandes cantidades de madera, agua y productos químicos, contribuyendo a la deforestación y a la contaminación ambiental. Frente a esta problemática, surge la necesidad de buscar alternativas sostenibles mediante el aprovechamiento de residuos agroindustriales reutilizables como materia prima ecológica (FAO, 2020). La cáscara de naranja es uno de los residuos orgánicos más generados en hogares e industrias procesadoras de alimentos. Este residuo contiene fibras naturales y compuestos celulósicos que pueden aprovecharse en la elaboración de papel ecológico. El reciclaje de residuos orgánicos contribuye a reducir la contaminación y a promover la economía circular (Aguilar y Castro, 2019). En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el

aprovechamiento de la cáscara de naranja en la fabricación de papel ecológico como estrategia de desarrollo sostenible. Para ello, se aplicó un método experimental basado en la recolección, el secado, el procesamiento y la transformación de la cáscara de naranja en pulpa para la elaboración de papel artesanal. Posteriormente, se analizaron sus características fisicoquímicas y su viabilidad como alternativa ecológica frente al papel convencional, además de su nivel de aceptación entre potenciales usuarios.

Los resultados de esta investigación buscan contribuir al desarrollo de alternativas sostenibles para el manejo de residuos orgánicos y promover el uso de materiales biodegradables, aportando información relevante sobre innovación ambiental, reutilización de residuos y desarrollo sostenible. La industria citrícola mundial genera cada año millones de toneladas de residuos, de los cuales la cáscara puede representar cerca de la mitad del peso del fruto, y gran parte de este volumen termina en corrientes de bajo valor o en vertidos que contribuyen a problemas de contaminación y a emisiones de gases de efecto invernadero (Bertolo et al., 2025; Espinosa et al., 2022).

Diversas revisiones recientes coinciden en que estos residuos, ricos en celulosa, hemicelulosa, pectina y compuestos fenólicos, constituyen una biomasa estratégica para desarrollar materiales sostenibles, aunque señalan que su aprovechamiento sigue siendo limitado frente al crecimiento de la demanda global de empaques y materiales fibrosos de origen renovable (Bertolo et al., 2025; Revathi et al., 2025). En particular, se ha puesto énfasis en la elaboración de biopelículas y empaques activos a partir de subproductos cítricos, mientras que aplicaciones como la fabricación de papel ecológico continúan poco exploradas, a pesar de la compatibilidad de la cáscara de naranja con

procesos de obtención de celulosa y nanocelulosa (Espinosa et al., 2022; Revathi et al., 2025).

Materiales y Métodos

La presente investigación corresponde a un estudio experimental de carácter cuantitativo, con un diseño completamente aleatorio (DCA), en el cual se evaluó como factor principal la concentración de cáscara de naranja (*Citrus × sinensis*) en la composición de la pulpa de papel. Para ello, se consideraron cuatro niveles: T0 (0 %, control), T1 (30 %), T2 (40 %) y T3 (50 %), con tres repeticiones por cada tratamiento, lo que generó un total de doce unidades experimentales. El estudio se desarrolló en tres fases: (i) recolección y acondicionamiento de la materia prima, (ii) elaboración de la pulpa y fabricación del papel mediante la incorporación de cáscara de naranja al papel reciclado y (iii) evaluación de las propiedades fisicoquímicas del producto final (Martínez y López, 2022).

La población estuvo constituida por residuos de cáscara de naranja (*Citrus × sinensis*) procedentes de puestos de venta de jugo y refresco de naranja de la región de Tacna. La muestra fue de carácter no probabilístico e intencional y estuvo conformada por 5 kg de cáscara de naranja fresca y 10 kg de papel reciclado, específicamente hojas bond de 75 a 80 g/m², seleccionadas por ser las de mayor disponibilidad comercial en la región. Como criterios de inclusión se consideraron: (i) cáscaras sin daño mecánico y (ii) ausencia de tratamientos químicos o pesticidas. Por otra parte, se excluyeron los especímenes que presentaron signos de descomposición fúngica o bacteriana, así como aquellos con deterioro ocasionado por plagas (Silva et al., 2023). La materia prima se acondicionó mediante el corte manual de las cáscaras en fragmentos pequeños,

los cuales fueron posteriormente licuados con agua hasta obtener una pulpa homogénea. De forma paralela, el papel reciclado fue desintegrado en una licuadora con agua hasta obtener la pulpa base. Ambas pulpas se combinaron de acuerdo con las proporciones establecidas para cada tratamiento, presentadas en la Tabla 1, y se homogeneizaron hasta alcanzar una consistencia relativamente espesa (Campos y Vega, 2022). En la Tabla 1 se presentan los tratamientos y las repeticiones

considerados para el desarrollo del estudio. El tratamiento 1 (T0) correspondió a la prueba blanca, representada por hoja bond. El tratamiento 2 (T1) estuvo conformado por una mezcla de 10 % de pulpa de cáscara de naranja y pulpa de papel; el tratamiento 3 (T2) estuvo constituido por una mezcla de 20 % de pulpa de cáscara de naranja y pulpa de papel; y el tratamiento 4 (T3) estuvo conformado por una mezcla de 30 % de pulpa de cáscara de naranja y pulpa de papel.

Tabla 1. *Tratamiento y repeticiones para el desarrollo de la investigación*

Tratamientos	Pulpa de naranja (%)	Repeticiones		
		R1	R2	R3
T0	0			
T1	30			
T2	40			
T3	50			

Fuente: Elaboración propia.

El papel se formó sobre un bastidor de rejilla fina y tensada, con dimensiones de 21 x 29,7 cm (formato A4). Las hojas se prensaron a temperatura ambiente (22 ± 2 °C) durante 2 horas a una presión de 5 kg/cm² y, posteriormente, se secaron a temperatura ambiente durante 4 horas. La medición de las variables de respuesta se realizó mediante el análisis de tres propiedades fisicoquímicas del papel producido, todas ellas determinadas por triplicado: (i) gramaje (g/m²), conforme a la norma ISO 536 (Organización Internacional de Normalización, 2012); (ii) espesor (mm); y (iii) rigidez de flexión, expresada como el ángulo de flexión (°). Adicionalmente, se aplicó una encuesta de satisfacción a 35 comerciantes de puestos de venta de jugo y refresco de naranja de la región de Tacna (46,7 % de un total de 75 puestos identificados), mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, con el fin de recoger su percepción sobre la apariencia visual, la consistencia al tacto, la resistencia percibida y la viabilidad del papel ecológico frente al papel convencional. Los datos

fisicoquímicos fueron procesados mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para determinar diferencias significativas entre tratamientos (nivel de significancia $\alpha = 0,05$). La normalidad de los datos fue verificada mediante la prueba de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene ($p > 0,05$). Cuando se encontraron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey al 95 % de confianza para identificar los pares de tratamientos diferentes (García et al., 2023; Mendoza et al., 2023). Los resultados de la encuesta de satisfacción se analizaron mediante frecuencias absolutas y se procesaron según la disponibilidad y aceptación voluntaria de los comerciantes, considerando un margen de error estimado de ± 12 % con un 95 % de confianza.

Resultados y Discusión

Recolección de materia prima. Se logró recolectar y acondicionar 5 kg de cáscara de naranja y 10 kg de papel reciclado, los cuales fueron transformados mediante procesos mecánicos (corte, licuado y mezclado con agua)

en pulpa homogénea apta para la elaboración de papel ecológico, lo que evidencia la viabilidad técnica de este residuo orgánico como materia prima alternativa.

Tabla 2. Gramaje (g/m^2) según concentración de cáscara de naranja.

Tratamientos	Concentración	Repeticiones		
		R1	R2	R3
T0	0	75	76	75
T1	30	78	79	78
T2	40	82	81	83
T3	50	86	87	86

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Análisis de varianza (ANOVA) para gramaje según concentración de cáscara de naranja.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F / p
Entre grupos	203,000	3	67,667	F = 135,33; p < 0,001
Intra grupos	4,000	8	0,500	
Total (corr.)	207,000	11		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Prueba de rangos múltiples de Tukey (95 %) para gramaje según concentración de cáscara de naranja.

Tratamiento	N	Media	Grupo homogéneo
T0 (0 %)	3	75,33	A
T1 (30 %)	3	78,33	B
T2 (40 %)	3	82,00	C
T3 (50 %)	3	86,33	D

Fuente: Elaboración propia.

El gramaje aumentó de forma significativa y directamente proporcional a la concentración de cáscara de naranja incorporada ($F = 135,33$; $p < 0,001$), con diferencias significativas entre todos los pares de tratamientos (Tukey, $p < 0,05$). El tratamiento T3 (50 %) alcanzó un incremento de 14,6 % respecto al control (T0), lo que es consistente con lo reportado por

Campos y Vega (2022), quienes señalan que la incorporación de fibras lignocelulósicas de residuos agroindustriales incrementa la densidad superficial de las láminas de papel al aportar mayor cantidad de sólidos fibrosos por unidad de área.

Tabla 5. Gramaje (g/m^2) según concentración de cáscara de naranja.

Tratamientos	Concentración	Repeticiones		
		R1	R2	R3
T0	0	0,090	0,086	0,091
T1	30	0,098	0,101	0,099
T2	40	0,112	0,114	0,111
T3	50	0,128	0,131	0,127

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) para espesor según concentración de cáscara de naranja.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F / p
Entre grupos	0,00258	3	0,00086	F = 220,06; p < 0,001
Intra grupos	0,00003	8	0,000004	
Total (corr.)	0,00261	11		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Prueba de rangos múltiples de Tukey (95 %) para espesor según concentración de cáscara de naranja

Tratamiento	N	Media	Grupo homogéneo
T0 (0 %)	3	0,089	A
T1 (30 %)	3	0,099	B
T2 (40 %)	3	0,112	C
T3 (50 %)	3	0,129	D

Fuente: Elaboración propia.

El espesor mostró una relación directa con la concentración de cáscara incorporada ($F = 220,06$; $p < 0,001$), con diferencias significativas entre todos los tratamientos. El incremento relativo en espesor (45 % entre T0 y T3) fue superior al incremento relativo en

gramaje (14,6 %), lo que sugiere que la cáscara de naranja genera una estructura más porosa y menos compacta en la lámina de papel, posiblemente asociada a la mayor retención de

agua y a la menor capacidad de refino de las fibras cortas de la cáscara en comparación con las fibras del papel reciclado (Espinosa et al., 2022; García et al., 2023).

Tabla 8. Rigidez de flexión (°) según concentración de cáscara de naranja.

Tratamientos	Concentración	Repeticiones		
		R1	R2	R3
T0	0	33,8	33,6	33,1
T1	30	32,5	33,2	32,8
T2	40	28,3	27,8	28,5
T3	50	24,1	23,6	24,3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) para rigidez de flexión según concentración de cáscara de naranja.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F / p
Entre grupos	176,940	3	58,980	F = 459,58; p < 0,001
Intra grupos	1,027	8	0,128	
Total (corr.)	177,967	11		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Prueba de rangos múltiples de Tukey (95 %) para rigidez de flexión según concentración de cáscara de naranja.

Tratamiento	N	Media	Grupo homogéneo
T0 (0 %)	3	33,50	A
T1 (30 %)	3	32,83	A
T2 (40 %)	3	28,20	B
T3 (50 %)	3	24,00	C

Fuente: Elaboración propia.

La rigidez de flexión mejoró (menor ángulo de flexión) conforme aumentó la concentración de cáscara de naranja (F = 459,58; p < 0,001). Sin embargo, a diferencia de lo observado en gramaje y espesor, la comparación de Tukey mostró que T0 y T1 (30 %) no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí (p > 0,05), por lo que el efecto de la cáscara sobre la rigidez solo se hace estadísticamente notorio a partir de concentraciones de 40 % o más. El tratamiento T3 (50 %) presentó el

menor ángulo de flexión (24,0°), es decir, el papel más rígido y resistente a la deformación, lo cual es consistente con lo señalado por Martínez y López (2022) respecto a que las fibras de residuos agrícolas ricas en pectina y hemicelulosa favorecen enlaces interfibrilares que incrementan la rigidez estructural del papel. La valorización de la cáscara de naranja se vio respaldada por la percepción de los comerciantes encuestados: el tratamiento T2 (40 %) obtuvo la mayor aceptación en

apariencia visual (15/35), consistencia al tacto (17/35) y viabilidad frente al papel convencional (16/35), mientras que el tratamiento T3 (50 %) fue el más valorado en

resistencia percibida (12/35), coincidiendo con los resultados de laboratorio, en los que T3 presentó las mejores propiedades mecánicas objetivas.

Tabla 11. Encuesta de satisfacción en relación con el tipo de papel.

N°	Ítem	T0	T1	T2	T3	Total
1	La apariencia visual del papel me resulta agradable.	8	10	15	2	35
2	Al tacto, el papel presenta una consistencia firme y agradable.	7	9	17	2	35
3	El papel se percibe resistente y no se rompe fácilmente al doblarlo.	8	6	9	12	35
4	Consideraría este papel como una alternativa viable frente al papel convencional.	11	4	16	4	35

Fuente: Elaboración propia.

Esto sugiere que, si bien T3 ofrece el mejor desempeño técnico, T2 representa un mejor equilibrio entre desempeño y aceptación sensorial, lo que resulta relevante para una eventual escalabilidad comercial del producto, en línea con lo señalado por Revathi et al. (2025) sobre la importancia de equilibrar las propiedades funcionales y la aceptación del consumidor en el desarrollo de materiales derivados de residuos cítricos.

Conclusiones

De los resultados obtenidos, de su análisis y de su discusión, se pueden establecer las siguientes conclusiones sobre el aprovechamiento de la cáscara de naranja (*Citrus × sinensis*) en la fabricación de papel ecológico: Se logró recolectar y acondicionar exitosamente cáscara de naranja procedente de puestos de venta de jugo en la región de Tacna, transformándola mediante procesos mecánicos (corte, licuado y mezclado con agua) en pulpa homogénea apta para la elaboración de papel ecológico, lo que demuestra la viabilidad técnica de este residuo orgánico como materia prima alternativa. La caracterización fisicoquímica evidenció una relación directamente proporcional entre la concentración de cáscara de naranja y el

gramaje, el espesor y la rigidez del papel producido. El tratamiento T3 (50 %) alcanzó los valores más altos en gramaje (86,3 g/m²) y espesor (0,129 mm), y el menor ángulo de flexión (24,0°), es decir, la mayor rigidez, con un incremento de 14,6 % en gramaje respecto al control. Las pruebas de ANOVA y Tukey ($p < 0,05$) confirmaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en las tres propiedades evaluadas, salvo entre T0 y T1 (30 %) en rigidez, donde la diferencia no fue significativa.

La valorización de la cáscara de naranja se reforzó con la percepción social del producto: en la encuesta aplicada a 35 comerciantes, el tratamiento T2 (40 %) obtuvo la mayor aceptación en apariencia visual, consistencia al tacto y viabilidad frente al papel convencional, mientras que T3 (50 %) fue el más valorado en resistencia percibida, coincidiendo con los resultados de laboratorio. Esto indica que T3 ofrece las mejores propiedades mecánicas, mientras que T2 representa un mejor equilibrio entre desempeño técnico y aceptación social, respaldando la viabilidad del papel ecológico a base de cáscara de naranja como alternativa sostenible frente a los residuos agroindustriales

generados en la región. Se recomienda estandarizar el proceso de acondicionamiento de la cáscara, controlando variables como el tiempo de licuado y la proporción de agua, a fin de garantizar una pulpa homogénea y reproducible entre lotes de producción.

Para futuros estudios, se sugiere ampliar la evaluación a concentraciones superiores al 50 % e incorporar propiedades adicionales, como resistencia a la tracción, absorción de agua y capacidad de escritura, con el fin de determinar el rango óptimo de adición de cáscara de naranja según la aplicación del papel. Asimismo, se recomienda replicar la encuesta de percepción social con una muestra probabilística que garantice representatividad frente a los 75 puestos del mercado identificados, y profundizar en el tratamiento T2 (40 %), de mayor aceptación social, evaluando su viabilidad de escalamiento productivo y comercial como punto óptimo entre desempeño técnico y aceptación del consumidor.

Referencias Bibliográficas

- Bertolo, M., Pereira, T., Dos Santos, F. V., Facure, M. H. M., Dos Santos, F., Teodoro, K. B. R., Mercante, L. A., & Correa, D. S. (2025). Citrus wastes as sustainable materials for active and intelligent food packaging: Current advances. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(2), e70144. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70144>
- Campos, J., & Vega, R. (2022). Valorización de residuos agroindustriales en la producción de biopolímeros de celulosa. *Revista de Materiales Sostenibles*, 15(3), 245-258. <https://doi.org/10.1016/j.matysus.2022.08.015>
- Espinosa, E., Rincón, E., Morcillo-Martín, R., Rabasco-Vílchez, L., & Rodríguez, A. (2022). Orange peel waste biorefinery in multi-component cascade approach: Polyphenolic compounds and nanocellulose for food packaging. *Industrial Crops and Products*, 187, 115413. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115413>
- FAO. (2020). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020: Superar los desafíos del agua para la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Flores, M., Hernández, P., & Gutiérrez, L. (2024). Calibración de equipos de análisis de propiedades de materiales celulósicos. *Journal of Laboratory Standards*, 28(2), 89-105. <https://doi.org/10.1038/jlabstd.2024.0847>
- García, M., López, S., & Fernández, A. (2023). Diseño experimental en investigaciones sobre materiales lignocelulósicos. *International Journal of Agricultural Engineering*, 54(1), 12-28. <https://doi.org/10.1016/j.ijae.2023.01.042>
- Martínez, C., & López, E. (2022). Propiedades fisicoquímicas de papeles reforzados con fibras de residuos agrícolas. *Cellulose Chemistry and Technology*, 56(7-8), 743-758. <https://doi.org/10.35812/cellul.chem.tech.2022.56.74>
- Mendoza, R., Silva, J., & Rojas, M. (2023). Análisis estadístico de experimentos factoriales 2k en bioingeniería. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 46(5), 631-647. <https://doi.org/10.1007/s00449-023-02876-3>
- Organización Internacional de Normalización. (2012). Papel y cartón: Determinación de gramaje (ISO 536). <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/03/60352.html>
- Revathi, V., Bora, S., Afzia, N., & Ghosh, T. (2025). Orange peel composition, biopolymer extraction, and applications in paper and packaging sector: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 43, 101908. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2025.101908>
- Silva, G., Núñez, F., & Reyes, A. (2023). Estabilidad post-cosecha de residuos lignocelulósicos bajo condiciones de refrigeración. *Postharvest Biology and*

Technology, 195, 112-128.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.02.008>



Esta obra está bajo una licencia de **Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional**. Copyright © Johan Jesús Peña Mamani, David Elard Callusani Condori, Gina Milagros Arocutipa Phatti.

Declaraciones éticas y editoriales del artículo

Contribución de los autores (Taxonomía CRediT)

Johan Jesús Peña Mamani: conceptualización de la investigación, formulación de los objetivos, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, recolección y curación de los datos.

David Elard Callusani Condori: análisis formal e interpretación de los resultados, elaboración de tablas y representaciones gráficas, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico, edición final del artículo y supervisión integral del estudio.

Gina Milagros Arocutipa Phatti: conceptualización de la investigación, formulación de los objetivos, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, recolección y curación de los datos.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con la investigación presentada, la autoría del manuscrito ni la publicación del presente artículo.

Declaración de financiamiento

La presente investigación no recibió financiamiento específico de agencias públicas, comerciales o de organizaciones sin fines de lucro. En caso de existir financiamiento institucional o externo, este deberá ser declarado explícitamente por los autores en esta sección.

Declaración del editor

El editor responsable certifica que el proceso editorial del presente artículo se desarrolló conforme a los principios de integridad científica, transparencia y buenas prácticas editoriales. El manuscrito fue sometido a un proceso de evaluación mediante revisión por pares doble ciego, garantizando la confidencialidad de la identidad de los autores y revisores durante todo el proceso de dictamen académico. Asimismo, el editor declara que el artículo cumple con los criterios científicos, metodológicos y éticos establecidos por la revista.

Declaración de los revisores

Los revisores externos que participaron en la evaluación del presente manuscrito declaran haber realizado el proceso de revisión de manera objetiva, independiente y confidencial. Asimismo, manifiestan que no mantienen conflictos de interés con los autores ni con la investigación evaluada, y que sus observaciones y recomendaciones se fundamentan exclusivamente en criterios científicos, metodológicos y académicos.

Declaración ética de la investigación

Los autores declaran que la investigación se desarrolló respetando los principios éticos de la investigación científica, garantizando la confidencialidad de los datos y el respeto a los participantes del estudio. En los casos en que la investigación involucre seres humanos, los procedimientos deben ajustarse a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki y a las normativas institucionales correspondientes.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial

Los autores declaran que el uso de herramientas de inteligencia artificial, en caso de haberse utilizado durante el proceso de investigación o redacción del manuscrito, se realizó únicamente como apoyo técnico para mejorar la claridad del lenguaje o el análisis de información, manteniendo siempre la responsabilidad intelectual sobre el contenido del artículo. Las herramientas de inteligencia artificial no fueron utilizadas como autoras del manuscrito ni sustituyen la responsabilidad académica de los investigadores.

Disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los resultados de esta investigación estarán disponibles previa solicitud razonable al autor de correspondencia, respetando las normas éticas y de confidencialidad establecidas por la investigación.

