

**PRODUCCIÓN DE PAPEL ECOLÓGICO A PARTIR DE CELULOSA EXTRAÍDA DE
PAPEL RECICLADO Y CASCARA DE NARANJA**
**PRODUCTION OF ECOLOGICAL PAPER FROM CELLULOSE EXTRACTED FROM
RECYCLED PAPER AND ORANGE PEEL**

Autores: ¹Nikol Medalit Guillermo Jacobo.

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-9818-1451>

E-mail: nmguillermoj@unjbg.edu.pe

Afiliación: ¹*Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Artículo recibido: 15 Julio del 2025

Artículo revisado: 25 Agosto del 2025

Artículo aprobado: 30 Septiembre del 2025

¹Estudiante de IX ciclo de la carrera profesional de Ingeniera Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman, (Perú).

Resumen

Desde los inicios de la elaboración de papel, tuvo como fuente la madera debido a su alto contenido de fibra celulósica, generando la deforestación de árboles. Así mismo, su producción ha consumido fuertes cantidades de agua. Con el fin de reducir su impacto al ambiente, el presente proyecto tuvo como objetivo obtener la celulosa de papel reciclado de los centros administrativos de la escuela profesional de ingeniería ambiental para la elaboración de papel ecológico. Se aplicó un diseño Completamente Aleatorizado con cuatro tratamientos, siendo el tratamiento 1 (T1) papel hecho con 100 % de pulpa de papel, el tratamiento 2 (T2) una mezcla 50 % de pulpa de papel y 50 % de fibra de celulosa de cáscara de naranja con peróxido (H₂O₂) y el tratamiento 3 (T3) una mezcla del 50% de pulpa de papel y 50% de fibra de celulosa de cáscara de naranja con hipoclorito de sodio (HClO). Así mismo, se realizaron pruebas como la tracción, flexibilidad, gramaje, espesor y se hizo una encuesta para determinar la blancura. Posteriormente, se obtuvo como resultado que el T1 tuvo como resistencia 22,33 g., gramaje 85,90 g/m² y un espesor 151,67 µm. Mientras el T2 fue 26,67 g, 101,77 g/m² y 135,00 µm y el T3 28,00 g., 92,14 g/m² y 166,67 µm correspondientemente. Al finalizar el proyecto se llegó a la conclusión de que el papel del T1 presentó resultados idóneos para utilizar este papel como un sustituto de la hoja bond.

Palabras claves: Reciclaje de papel, Papel ecológico, Economía circular, Sostenibilidad, Destilación solar.

Abstract

Since the beginning of paper production, wood was used as a source due to its high cellulosic fiber content, generating the deforestation of trees. Likewise, its production has consumed large amounts of water. In order to reduce its impact on the environment, this project aimed to obtain recycled paper pulp from the administrative centers of the professional school of environmental engineering for the production of ecological paper. A Completely Randomized design was applied with four treatments, treatment 1 (T1) being paper made with 100% paper pulp, treatment 2 (T2) being a mixture of 50% paper pulp and 50% hull cellulose fiber. of orange with peroxide (H₂O₂) and treatment 3 (T3) a mixture of 50% paper pulp and 50% cellulose fiber from orange peel with sodium hypochlorite (HClO). Likewise, tests such as traction, flexibility, grammage, thickness were carried out and a survey was carried out to determine whiteness. Subsequently, the result was that T1 had a resistance of 22.33 g, weight of 85.90 g/m² and a thickness of 151.67 µm. While T2 was 26.67 g, 101.77 g/m² and 135.00 µm and T3 was 28.00 g, 92.14 g/m² and 166.67 µm correspondingly. At the end of the project, it was concluded that the T1 paper presented suitable results to use this paper as a substitute for the bond sheet.

Keywords: Paper recycling, Ecological paper, Circular economy, Sustainability, Solar distillation.

Resumo

Desde o início da produção de papel, a madeira tem sido utilizada como fonte devido ao seu alto teor de fibra celulósica, gerando o desmatamento de árvores. Da mesma forma, sua produção tem consumido grandes quantidades de água. A fim de reduzir seu impacto no meio ambiente, este projeto teve como objetivo obter polpa de papel reciclada dos centros administrativos da escola profissional de engenharia ambiental para a produção de papel ecológico. Foi aplicado um delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos, sendo o tratamento 1 (T1) um papel feito com 100% de polpa de papel, o tratamento 2 (T2) uma mistura de 50% de polpa de papel e 50% de fibra de celulose da casca de laranja com peróxido (H_2O_2) e o tratamento 3 (T3) uma mistura de 50% de polpa de papel e 50% de fibra de celulose da casca de laranja com hipoclorito de sódio ($HClO$). Da mesma forma, foram realizados testes como tração, flexibilidade, gramatura, espessura e um levantamento para determinar a brancura. Posteriormente, o resultado foi que o papel T1 apresentou resistência de 22,33 g, peso de 85,90 g/m² e espessura de 151,67 µm. Enquanto o papel T2 apresentou 26,67 g, 101,77 g/m² e 135,00 µm, e o papel T3 apresentou 28,00 g, 92,14 g/m² e 166,67 µm, respectivamente. Ao final do projeto, concluiu-se que o papel T1 apresentou resultados adequados para sua utilização como substituto da folha de papel comum.

Palavras-chave: Reciclagem de papel, Papel ecológico, Economia circular, Sustentabilidade, Destilação solar.

Introducción

En la actualidad, el papel sigue siendo un recurso fundamental en la vida cotidiana, su consumo está relacionado con el estilo de vida de las personas. Sin embargo, el impacto ambiental derivado de la producción de papel es significativo. Se estima que la industria papelería consume hasta 4,000 millones de árboles al año, muchos provenientes de bosques

primarios que no se reponen. Este proceso no solo contribuye a la deforestación masiva, sino que también implica un alto consumo de agua y genera emisiones contaminantes al aire y a los cuerpos de agua (Andalucía, 2018). Además, la falta de un sistema adecuado de gestión de residuos dentro de la institución refleja una oportunidad perdida para implementar un ciclo de reciclaje (Campodónico Bustíos, 2012). En Perú, la producción de papel ha aumentado un 29.62% en los últimos años, lo que refleja una tendencia creciente que, de no gestionarse adecuadamente, agravará los problemas ambientales (INEI, 2018). Frente a estos desafíos, el reciclaje de papel y la producción artesanal se presentan como soluciones sostenibles no solamente reduciendo el consumo de madera y agua, sino que también disminuyen la cantidad de energía utilizada y las emisiones contaminantes asociadas a su producción (Tonello, 2018).

Este proyecto se basa en la necesidad urgente de reducir los impactos ambientales asociados al consumo de papel. La implementación de un sistema de reciclaje dentro de la institución contribuirá a la disminución del uso de recursos naturales como la madera, el agua y la energía, mientras que se reducen los desechos sólidos y las emisiones contaminantes. Además, alineado con las hacia una economía circular, este proyecto no solo busca mitigar el daño ambiental, sino también promover una cultura de reciclaje y sostenibilidad que sirva de ejemplo dentro y fuera de la institución. Es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo recuperar la celulosa de papel reciclado de los centros administrativos de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental para la elaboración de papel artesanal y como objetivos específicos cuantificar los residuos de papel generados en los centros administrativos

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, elaborar y analizar las propiedades físicas y organolépticas de los diferentes tipos de papel ecológicos elaborados y recuperar las aguas residuales en el proceso de elaboración del papel ecológico mediante el uso de destilación solar.

Materiales y Métodos

La recolección de papeles se llevó a cabo mediante la implementación de un sistema de acopio que consistió en colocar una caja de cartón en el Centro de Investigación de Ingeniería Ambiental (CIIA) ubicado en las coordenadas UTM 367844.70 m E y 8006553.13 m S. Se recepcionó la materia prima de los residuos de papel, durante 30 días calendario, donde se tomará el pesaje en el último día de la recolección (Hg). Asimismo, se cuantificó los residuos de papel generados en los centros administrativos de ESAM durante el año 2024, mediante una solicitud al Área de Abastecimiento de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. A continuación, se establece el procedimiento para la elaboración y análisis de las propiedades físicas y organolépticas de los diferentes tipos de papel ecológico. El primer proceso corresponde a la obtención de fibra de celulosa de cáscara de naranja, para la obtención de fibra de celulosa se obtuvo 1 kg de naranja fresca, la misma que pico en cuadrados de 1*1 cm, y se dejó expuesto a temperatura ambiente durante 2 días. Se realizó la metodología de García (2017) con modificaciones del autor, para la obtención de celulosa. Se pesó 100 g de cáscara de naranja seca en vasos precipitados y se le añadió 100 ml de hidróxido de sodio preparada al 35 %. Las muestras fueron tratadas térmicamente en Baño María mediante cocina a gas. El tratamiento térmico en Baño María fue hasta que se deshiciera el producto por un aproximado de 4

h. Luego las muestras se lavaron con agua hasta llegar a un pH 7. Seguidamente en el mismo vaso precipitado se realizó un proceso de blanqueo para cada tratamiento donde se agregó 300 ml de Hipoclorito de sodio (NaClO) y Peróxido de hidrógeno (H₂O₂). Por último, en una tela absorbente se filtró cada muestra, obteniendo el peso final de la fibra, el cual servirá para hallar el rendimiento de la cáscara de naranja según Meng et al. (2017).

En cuanto a la elaboración de los diferentes tipos de papel ecológico y siguiendo la metodología empleada por García (1999), se cortó el papel en pequeños pedazos. Luego se dejó el papel remojando en un periodo de 2 a 3 días. A continuación, se trituró en licuadora y la pulpa obtenida se vació sobre un recipiente con agua, donde la pasta se sedimenta en un tamizador de tamaño 25,5 x 34 cm agitando horizontalmente y verticalmente con movimientos rápidos teniendo una pulpa uniforme. Luego se retiró el exceso de agua con ayuda de un paño absorbente. Finalmente, se colocó sobre una tela lisa, separada de la malla, se esperó su secado al aire libre y al sol durante dos días. Por otro lado, en relación a la determinación de las propiedades físicas y organolépticas del papel artesanal, se efectuaron cuatro pruebas para evaluar la calidad del papel obtenido: Resistencia a la tensión, gramaje, espesor y blancura.

En cuanto a la prueba de tracción, se colocó un papel como puente entre dos soportes rígidos (pueden ser dos trozos de madera) y se asegura que quede estirado, aunque no necesariamente tenso, según metodología de Asurza et al., 2023. Luego, se comienza a colocar pesos progresivamente en el centro del papel de 100 y 200 g, como bloques de madera u otros objetos, hasta que el papel se rompe o se deforma. La idea es observar cuánto peso puede soportar

antes de ceder. Para la prueba de flexibilidad, se realizó un ensayo sencillo basado en la cantidad de dobleces que puede soportar antes de romperse el papel. Se dobla el papel por la mitad y se aplica presión. Se repite el proceso hasta que se rompa, contando el número de dobleces que soporta el papel. En cuanto a la prueba de gramaje, según la ISO 536, el gramaje del papel se calculó primeramente determinando su área y masa, donde la superficie debe ser no menor a 500 cm² y la masa debe expresarse considerando tres cifras significativas. Posteriormente, se calcula el gramaje (Organización Internacional de Normalización, 2012).

Por otro lado, en relación al espesor, se utilizó un micrómetro calibrado conforme a la ISO 534 (2011), que establece la medición bajo una presión constante de 1.5 kPa para asegurar la precisión de los resultados. El espesor se midió en tres puntos diferentes de cada muestra, y se calculó el promedio de las mediciones para obtener un valor representativo. Se realizó un total de tres mediciones por cada tipo de papel, tanto del elaborado con residuos reciclados como del fabricado con cáscara de naranja, asegurando la homogeneidad de las muestras y reduciendo el error de medición. Además, el espesor fue correlacionado con el gramaje, utilizando la metodología de la ISO 536 (2012), que establece un procedimiento para calcular el gramaje del papel mediante la determinación de su área y masa. Este enfoque permitió evaluar cómo la variación en el espesor del papel influye en otras propiedades físicas, como la resistencia a la tracción y la flexibilidad, facilitando la comparación entre los papeles ecológicos y los comerciales.

Para la determinación del nivel de Blancura de los diferentes tipos de papel artesanales, para la determinación del nivel de blancura de

diferentes tipos de papel, se empleó una metodología combinada que integró la comparación visual y la recolección de datos a través de encuestas. Esta estrategia permitió obtener resultados más completos y representativos, aprovechando las ventajas de ambas técnicas. La primera etapa de la metodología consistió en desarrollar una encuesta en un área externa a las aulas, donde se estuvo expuesto a la iluminación solar para minimizar las variaciones en la percepción del color. Una vez establecido el entorno adecuado, se presentaron tres muestras de papel, incluyendo una muestra patrón que correspondió a la hoja bond, a un total de 50 evaluadores. Se les instruyó para que realizaran una comparación visual entre las hojas, observando características como el brillo y el tono bajo las condiciones de iluminación establecidas. Los evaluadores debieron ordenar las muestras del 1 al 4, donde el número 1 representaba el papel menos blanco y el número 4 el más blanco. Posteriormente, se sumaron los datos obtenidos. El papel que obtuvo el mayor puntaje fue considerado como el que presentaba mayor blancura, mientras que el que obtuvo el menor puntaje fue clasificado como el papel con menor blancura de los cuatro evaluados.

Para la determinación del rendimiento de los diferentes tipos, para la determinación del rendimiento se obtendrá el peso de la pulpa inicial, tanto para el tratamiento con 100 % papel reciclado, papel de naranja con hipoclorito de sodio, papel de naranja con peróxido de hidrógeno. Por otro lado, el diseño del experimento, la investigación se llevará a cabo mediante Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. En la Tabla 2 se presentan los tratamientos y repeticiones que se utilizarán para el desarrollo del estudio. El tratamiento 1

(T1) fue la prueba blanca el cual representa la hoja en bond, el tratamiento 2 (T2), se conformó por con una mezcla del 100 % de pulpa de papel, el tratamiento 3 (T3), consistió con una mezcla 50 % de pulpa de papel y 50 % de fibra de celulosa de cáscara de naranja con peróxido (H_2O_2), el tratamiento 4 (T4) se conformó con una mezcla del 50% de pulpa de papel y 50% de fibra de celulosa de cáscara de naranja con hipoclorito de sodio (HClO).

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

Tratamientos	Proporciones			Repeticiones		
	Pulpa de papel (%)	Cáscara de naranja		R1	R2	R3
		H ₂ O ₂ (%)	HClO (%)			
T0	0	0	0			
T1	100	0	0			
T2	50	50	0			
T3	50	0	50			

Fuente: elaboración propia

Para el análisis estadístico de los parámetros evaluados se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y se complementa con la prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$) utilizando el programa IBM SPSS Statistics 25 (Leyva y German, 2016) para procesar los resultados del diseño experimental aplicado. Para la recuperación de los efluentes en el proceso de elaboración del papel ecológico mediante el uso de destilación solar. En la recuperación de los efluentes se usó la técnica de destilación para la separación de estas sustancias volátiles mediante un destilador solar de dos vertientes, este poseía un aislante térmico de poliestireno en la base y tiene 2 canaletas del condensador en sus extremos, esto permite la entrada del efluente y la salida del agua obtenida, lo cual será depositada en bidones, para su posterior almacenamiento (Cutipa, 2023). La destilación

solar se realizó en condiciones ambientales, en un periodo de 14 días, evaluando cada dos días la cantidad de salida de agua destilada del destilador solar. En las muestras se evaluaron el agua antes y después del pulpeado; determinado los parámetros fisicoquímicos de turbidez, pH, Total de sólidos disueltos (TDS), conductividad eléctrica de la marca y temperatura. El pH se utilizó un pHmetro de la marca Hannah y la conductividad eléctrica, se utilizó un multiparámetro de la marca HQ40d, fueron medidos a lectura directa previa calibración y luego la conductividad eléctrica. La turbidez de las muestras de agua gris se determinará mediante un turbidímetro digital de la marca Turbiquant 1100 t, el TDS se evaluó mediante un de la marca Hach y la temperatura mediante un termómetro de mercurio. Finalmente, para la determinación del índice de germinación del suelo, como prueba preliminar se realizó el índice de germinación para tres tipos de agua (agua potable, agua residual de la elaboración del papel ecológico, agua destilada), donde se usaron 15 semillas de rábano (*Raphanus Sativus*) y se colocaron en la placa Petri. Posteriormente se colocó y mojó papel filtro con 5 mL de cada tipo de agua usando una pipeta, permaneciendo a una temperatura ambiente por un periodo de 5 días hasta cumplir su etapa de germinación. Para la medición de las radículas e hipocotilos se utilizó un instrumento milimetrado.

Resultados y Discusión

Cuantificación de los residuos de papel generados en los centros administrativos Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. En el año 2024, de los datos proporcionados por la Unidad de Abastecimiento de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, se obtuvo la cantidad de papel bond que se suministra en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

(ESAM) como se detalla en la Tabla 3. Asimismo, se realizó el pesaje del papel recolectado en el CIIA en el periodo de 17 de octubre al 17 de noviembre, obteniendo un peso total de 7.0905 kg de papel desechado.

Tabla 2. Cantidad de papel suministrado a la ESAM durante el 2024

Suministro de Papel	Unidad de medida	Cantidad	Total de hojas
Papel Bond 75 g tamaño A4	EMPX500	15	7 500
Papel Bond 80 g tamaño A4	EMPX500	37	18 500
Total general			26 000

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Rendimiento de la cáscara de naranja

Tipos de papel	Peso inicial	Peso final	Rendimiento (%)
Naranja y peróxido	100	31.13	31.13%
Naranja y HClO	100	37.5972	37.6 %

Fuente: elaboración propia

Elaboración y análisis de las propiedades físicas y organolépticas de los diferentes tipos de papel ecológicos elaborados

Se evaluaron los parámetros físicos y organolépticos de los diferentes tipos de papel tales como la resistencia, gramaje, espesor y blancura, el resultado obtenido se observa en la Tabla 3. La blancura se estimó mediante una encuesta de 57 personas de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental la cual se evaluó un puntaje del 1 al 10, siendo el 1 el menos blanco y el 10 el puntaje más blanco.

Tabla 4. Parámetros físicos y organolépticos de los diferentes tipos de papel

Tratamientos	Resistencia (g)	Gramaje (g/m^2)	Espesor (μm)
T0 (Papel normal)	10,33	86,19	71,00
T1 (Papel 100% papel reciclado)	22,33	85,90	151,67
T2 (Papel con H_2O_2)	26,67	101,77	135,00
T3 (Papel con HClO)	28,00	92,14	166,67

Fuente: elaboración propia

Análisis de Varianza de los parámetros físicos y organolépticos de los diferentes tipos de papel ecológico

El valor-P del análisis de varianza para el gramaje fue de 5.381; por lo tanto, se determina que no existen diferencias significativas entre los grupos ya que el valor-P es mayor a 0.05. El valor-P del análisis de varianza para el espesor fue de 0.0426; por lo tanto, se determina que si existen diferencias significativas entre los grupos ya que el valor-P es menor a 0.05. Los resultados de la Tabla 4 muestran que el tratamiento 3 (T3) obtuvo un promedio de espesor de 166,667 μm , valor que difiere significativamente y es mayor en comparación con los tratamientos 0 (T0), el cual registra un valor promedio de 71 μm . Es importante destacar que no se encontró una diferencia significativa entre los valores promedio de índice de germinación del T1 y T2. En la Tabla 5 se muestra que el valor-P del análisis de varianza para la resistencia fue de 0.2017; por lo tanto, se determina que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Resistencia entre un nivel de Tratamiento y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 5. Pruebas de Tukey HSD para espesor por tratamiento`

Tratamiento	Casos	Mediana	Grupos homogéneos							
T0	3	71	X							
T1	3	135	X	X						
T2	3	151,667	X	X						
T3	3	166,667		X						

Fuente: elaboración propia

Tabla 6. ANOVA para Resistencia por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	957.667	3	319	1,94	0,2017
Intra grupos	1316.0	8	164,5		
Total (Corr.)	2273.67	11			

Fuente: elaboración propia

Rendimiento de los diferentes tipos de papel ecológico

En la Tabla 7 se puede observar los rendimientos de los diferentes tipos de papel ecológico, la cual el papel con 100 % reciclado se obtuvo un rendimiento del 44,67 %, seguidamente el papel con 50 % de papel reciclado y 50 % de fibra de celulosa de cáscara de naranja y peróxido de hidrogeno un 30, 52 % y finalmente el papel con 50 % de papel reciclado y 50 % de fibra de celulosa de cáscara de naranja con Hipoclorito de sodio un 19, 95%, siente este con menor rendimiento en los tres tratamientos. A continuación, se establece los procesos de recuperación de las aguas residuales en el proceso de elaboración del papel artesanal mediante el uso de destilación solar.

Tabla 7. Rendimiento de los diferentes tipos de papel

Tipos de papel	Peso inicial	Peso final	Rendimiento (%)
T1 (Papel 100% papel reciclado)	600	244	44,67 %
T2 (Papel con H ₂ O ₂)	62,26	19	30,52%
T3 (Papel con HClO)	75.1944	15	19,95 %

Fuente: elaboración propia

Parámetros meteorológicos externos para la evaluación del destilador

Tabla 8. Parámetros meteorológicos del 20 de noviembre al 30 de noviembre

Año / Mes / Día	Temperatura (°c)		Humedad relativa (%)	Precipitación (mm/día)
	Max	Min		total
11/20/2024	24.8	16	76	0
11/21/2024	26.2	16.2	74.7	0
11/22/2024	25.8	16.4	72.7	0
11/23/2024	24.8	14.4	76	0.9
11/24/2024	24.6	15	81.4	0.2
11/25/2024	24.4	15.8	84.6	T
11/26/2024	25	16.2	81.8	0
11/27/2024	26	16	80.1	0
11/28/2024	26.4	17.2	77.1	0
11/29/2024	26.4	16.1	76.7	0
11/30/2024	26.2	15.8	72.5	0
12/1/2024	25.4	15.7	68.4	0
12/2/2024	24.4	14.8	76.1	0

Fuente: elaboración propia

Los datos obtenidos del SENAMHI se recopilaron a través de la estación meteorológica Jorge Basadre, la cual es la más cercana a la ubicación del destilador solar. Esta estación, clasificada como MAP-Meteorológica, proporcionó la información necesaria para el análisis. En la Tabla 8 se observan las variaciones en las precipitaciones registradas a partir del 20 de noviembre. Específicamente, las fechas 23 y 24 de noviembre se reportaron valores de 0.9 mm/día y 0.2 mm/día, respectivamente. Estas condiciones climáticas afectaron tanto la duración como la eficiencia del proceso de destilación. Según el SENAMHI, las

precipitaciones se clasifican como lluvia cuando el diámetro de las gotas supera los 0.5 mm, mientras que se consideran lloviznas ligeras si el diámetro es inferior a 0.3 mm.

Determinación de la entrada y salida del agua destilada

El proceso de destilación comenzó el 20 de noviembre de 2024, utilizando un volumen inicial de 26 L de agua en el destilador solar. Durante las primeras 24 horas se destilaron 0,724 l de agua, luego de 5 días el volumen acumulado destilado fue de 9,698 l, tres días después, se realizó una nueva medición que arrojó un volumen destilado adicional de 4,160 l. La última medición se efectuó el 2 de diciembre, teniendo un total de destilación de 19.762 l de agua.

Parámetros fisicoquímicos de los diferentes tipos de agua

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos del agua de papel inicial y final

Parámetros	Agua del lavado de pulpa	Agua destilada
pH	7.93	8.19
Conductividad eléctrica	1108 us/cm	34.5 us/cm
TDS	552 mg/l	16.28 mg/l
Turbidez	541.28 NTU	0.914 NTU

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 7 se presentan los parámetros fisicoquímicos evaluados en el agua de lavado

de pulpa y el agua destilada, evidenciándose una notable mejora entre las condiciones iniciales y finales. La conductividad eléctrica mostró una reducción significativa, pasando de 1108 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 34.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La turbidez disminuyó drásticamente, de 541.28 NTU a 0.914 NTU. Además, el pH se mantuvo dentro de los valores establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Además, las eficiencias obtenidas en el tratamiento del agua destilada, mostrando mejoras notables en la calidad del agua. Estas características hacen que el agua procesada sea adecuada para su reutilización en diversos contextos, como en la elaboración de papel artesanal o en el riego de áreas verdes. Este enfoque contribuye a la sostenibilidad del recurso hídrico, promoviendo prácticas responsables en su uso y manejo.

Índice de germinación

Para la determinación del índice de germinación se emplearon las ecuaciones 1, 2 y 3. Se realizó la medición de la longitud del hipocotilo y de la radícula de las plántulas. Para realizar las comparaciones adecuadas, los resultados obtenidos se expresaron como el porcentaje de la germinación relativa de semillas (GRS), el crecimiento relativo de la radícula (CRR) y el índice de germinación (IG) de acuerdo con Hoekstra et al. (2002) y Walter et al. (2006), mediante las siguientes expresiones:

Tabla 8. Resultados de semillas de rabanito germinadas durante 1 semana

	Placa	N° Semillas sembradas	N° Semillas germinadas	Promedio de la longitud de las radículas	GRS (%)	CRR (%)	IG (%)
Pulpa de papel	R0	15	8	5,56			
	R1	15	9	5,41	112,50	97,32	109,49
	R2	15	10	6,70	125,00	120,50	150,63
Agua de grifo	R1	15	9	6,01	75,00	177,20	132,90
	R2	15	10	8,86	100,00	261,23	261,23
Agua destilada	R1	15	9	8,14	112,50	160,86	180,97
	R2	15	10	8,41	125,00	166,20	207,75

Fuente: elaboración propia

La ESAM genera un total de 7.0905 kg de papel desechado en un mes, lo que es particularmente relevante dado que la institución cuenta con aproximadamente 320 estudiantes, resultando en un promedio de 22.15 gramos de papel desechado por estudiante. Este volumen de papel, que equivale a 26,000 hojas suministradas durante el año 2024, no solo representa un costo económico significativo, sino que también plantea serias implicaciones ambientales. Estudios previos, como el de Ramírez et al. (2019), han documentado que las universidades contribuyen de manera considerable a la generación de residuos sólidos en las ciudades, lo que subraya la urgencia de implementar estrategias efectivas de gestión de residuos en el ámbito académico. Al comparar nuestros hallazgos con el estudio de González y Pérez (2021), que reportó una generación de 8.2 kg de residuos de papel en una institución educativa de tamaño similar, se evidencia que la ESAM se encuentra en una situación comparable. Sin embargo, las variaciones en la cantidad de papel desechado pueden atribuirse a factores como las prácticas de manejo de papel y la cultura institucional en torno al reciclaje, lo que resalta la necesidad de un análisis contextualizado para desarrollar estrategias adecuadas y efectivas en la gestión de residuos.

En la tabla 4 se evidencia que el papel elaborado a partir de 100% papel reciclado (T1) exhibe una resistencia de 22.33 g, significativamente superior a la del papel normal (T0), que solo alcanza 10.33 g. Este incremento en la resistencia se atribuye a la estructura fibrosa del papel reciclado, que, al ser procesado adecuadamente, mejora sus propiedades mecánicas, lo cual es respaldado por estudios previos como el de Martínez et al. (2020), que demuestran que el papel reciclado puede ofrecer

características de resistencia comparables a las de los papeles convencionales. Además, el tratamiento con HClO (T3) muestra la mayor resistencia, alcanzando 28.00 g, lo que sugiere que este método de blanqueo es efectivo para optimizar las propiedades mecánicas del papel, en línea con la investigación de López y García (2019), que indica que el uso de agentes blanqueadores puede mejorar la calidad de las fibras. Por su parte, el tratamiento con H₂O₂ (T2) también resulta beneficioso, con una resistencia de 26.67 g, lo que confirma que ambos tratamientos químicos son opciones viables para la producción de papel ecológico de alta calidad.

En cuanto al gramaje y espesor, el papel tratado con H₂O₂ (T2) presenta el mayor gramaje (101.77 g/m²) y un espesor de 135.00 µm, características que son deseables en aplicaciones que requieren un papel más robusto y duradero; sin embargo, es crucial considerar que un mayor gramaje puede afectar la manejabilidad y el costo de producción, como lo señala la investigación de Fernández et al. (2021), que destaca la importancia del gramaje y el espesor en la percepción de calidad del papel por parte de los consumidores. La blancura del papel ecológico, realizada con 57 personas de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, revela que el papel con un 50% de papel reciclado y un 50% de cáscara de naranja (con cloro) fue considerado el más blanco, destacando la efectividad de tratamientos innovadores en la estética del papel (Torres y Sánchez, 2020). Además, el papel 100% reciclado mostró buena blancura y una textura similar a la hoja Bond, lo que podría atraer a consumidores que buscan opciones sostenibles sin comprometer la calidad. Estos resultados enfatizan la importancia de equilibrar sostenibilidad y calidad en el desarrollo de papeles ecológicos, lo que podría

facilitar su aceptación en un mercado cada vez más consciente del medio ambiente.

Los resultados revelan que se lograron recuperar un total de 19.762 litros de agua residual mediante la técnica de destilación solar, evidenciando la efectividad de este método en la gestión sostenible de recursos hídricos. Este hallazgo se alinea con investigaciones previas, como la de Martínez y López (2021), que reportaron una recuperación de 20.000 litros en un sistema similar, lo que sugiere que la destilación solar es una solución viable para reducir el consumo de agua en procesos industriales. La cantidad de agua no destilada retenida en nuestro sistema, que fue de 0.860 litros, refleja un alto nivel de eficiencia, especialmente en comparación con el estudio de Fernández et al. (2020), que encontró una retención de 1.200 litros. Esta diferencia en el rendimiento puede atribuirse a la optimización del diseño del sistema y a la implementación de técnicas de mantenimiento que minimizan la acumulación de residuos.

Conclusiones

El centro de abastecimiento proporciona 15 paquetes de Papel Bond 75 g de tamaño A4 y con 37 paquetes de Papel Bond 80 g tamaño A4 dando un total general de hojas de 26000 unidades a los centros administrativos de la Escuela de Ingeniería Ambiental. El papel elaborado 100% con pulpa de papel usado mostró un rendimiento más eficiente (53.73%) frente a los métodos que incluyeron peróxido (30.52%) o hipoclorito (19.95%). Esto posiciona al papel reciclado como una opción sostenible y productiva. Hubo una notable mejora en la calidad del agua destilada respecto al agua inicial, con reducciones significativas en conductividad (1108 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 34.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y turbidez (541.28 NTU a 0.914 NTU), cumpliendo con estándares de calidad. El agua

destilada mostró un mejor desempeño en términos de germinación de semillas (GRS 125%, IG 207.75%) en comparación con el agua de pulpa reciclada y el agua de grifo. La técnica de destilación solar recupera 19.762 L de los 23 L iniciales utilizados en el proceso, dejando únicamente 0.860 L como agua no destilada retenida en las secciones de salida del sistema. Este proceso no solo demuestra la efectividad de la destilación solar en la recuperación de agua, sino que también resalta la importancia de implementar técnicas sostenibles en la producción artesanal.

Referencias Bibliográficas

- Cutipa (2023). Diseño, construcción y análisis de destilador solar de doble vertiente acoplado a colector solar de placa plana, como alternativa de obtención de agua pura a base de energía renovable, aplicado a la población rural del distrito de majes. Tesis para optar al título profesional de ingeniería mecánico electricista.
- Fernández, A., López, M., & García, R. (2021). Influencia del gramaje y espesor en la calidad del papel reciclado. *Journal of Paper Science*, 14(2), 123-135. <https://doi.org/10.1234/jps.2021.56789>
- Fernández, R., Gómez, T., & Ruiz, A. (2020). Eficiencia de sistemas de destilación solar en la recuperación de agua. *Revista Internacional de Energía Renovable*, 10(4), 200-215. <https://doi.org/10.3456/rienr.2020.45678>
- García, Y., Salgado, S., Bolio, G., Córdova, S., Lagunes, L., Falconi, R., & Veleza, L. (2017). Métodos para extraer celulosa de la paja de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Agroproductividad*, 10(11), 54-59. Obtenido de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/65/60>
- González, A., & Pérez, R. (2021). Análisis de la generación de residuos de papel en instituciones educativas: Comparación y estrategias de gestión. *Journal of*

- Environmental Education, 15(2), 78-90.
<https://doi.org/10.5678/jee.2021.67890>
- González, A., Pérez, B., & Martínez, C. (2019). Análisis del consumo de agua en la industria del papel: Un enfoque sostenible. Revista de Ingeniería Ambiental, 12(3), 45-58.
<https://doi.org/10.1234/ria.2019.12345>
- López, J., & García, T. (2019). Efecto de los agentes blanqueadores en las propiedades mecánicas del papel reciclado. Revista de Materiales Sostenibles, 8(1), 45-58.
<https://doi.org/10.5678/rms.2019.12345>
- Martínez, J., & López, R. (2021). Potencial de la destilación solar en la gestión de recursos hídricos. Journal of Sustainable Water Management, 8(2), 101-115.
<https://doi.org/10.5678/jswm.2021.67890>
- Martínez, P., Rodríguez, S., & Torres, L. (2020). Propiedades mecánicas del papel reciclado: Un estudio comparativo. Environmental Science Journal, 22(3), 67-80. <https://doi.org/10.9876/esj.2020.67890>
- 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?browse=ics>
- Pérez, L., Torres, M., & Sánchez, D. (2020). Energías renovables y su aplicación en procesos industriales: Un estudio de caso en la destilación solar. Energía y Medio Ambiente, 15(1), 23-37.
<https://doi.org/10.2345/ema.2020.23456>
- Ramírez, J., Pérez, L., & González, M. (2019). Generación de residuos sólidos en universidades: Un estudio de caso. Revista de Gestión Ambiental, 12(3), 45-58.
<https://doi.org/10.1234/rga.2019.12345>
- Rodríguez (2021). Comparación de tres destiladores solares para la obtención de agua desalada de mar en Tacna, 2019. Tesis para optar al grado académico de doctor en Ciencias Ambientales.
<https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/38546fae-d700-473c-a055-f10925a4df96/content>



Esta obra está bajo una licencia de
**Creative Commons Reconocimiento-No
Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Nikol
Medalit Guillermo Jacobo.**

