

OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE LA CÁSCARA DE ALMENDRA AMAZÓNICA**OBTAINING PAPER FROM THE AMAZON ALMOND SHELL**Ing. Duma Camila Alarcon Adrian ^{1*§}

Recibido: Diciembre 14, 2022; Aceptado: Abril 10, 2023

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad el diseño del proceso para la obtención de papel a partir de la cáscara de almendra amazónica, dar utilidad a este desecho y generar conocimiento mediante la obtención de papel. Para lo cual fue necesario saber la composición de la cáscara, la misma contiene 16,61 %, lignina 56,14 % y hemicelulosa 17,04 %.

Para llevar a cabo el presente trabajo de investigación se planteó los siguientes objetivos específicos: caracterizar la cáscara de almendra amazónica, planificar el diseño experimento, su desarrollo e interpretación para la obtención de papel, que dieron lugar a un enfoque de investigación cuantitativa y que permitió establecer los parámetros fisicoquímicos óptimos.

Se realizó las pruebas de experimentación en las operaciones de: lixiviación, blanqueado, preparación de la pasta papelera y prensado; identificando los factores y variables respuesta de cada una de las operaciones mencionadas. Se realizó el análisis estadístico ANOVA para identificar los factores y niveles más influyentes de las operaciones.

Para la operación de lixiviación los parámetros óptimos son: temperatura a 80 °C, concentración de hidróxido de sodio al 20 % y un tiempo de 2 h; obteniéndose una concentración 9,63 % de celulosa. Para la operación del blanqueado se utilizó el peróxido de hidrogeno al 3 %, con una temperatura de 50 °C y un tiempo de 15 min; obteniéndose el color PMS132 (codificada para el papel Kraft). En la preparación de la pasta papelera la mejor alternativa fue utilizando vinil acetato en una cantidad de 30 g en 3000 ml de agua; obteniéndose una resistencia a la tracción de 15 N. En el prensado se realizó a una temperatura de 20 °C por un tiempo de 24 h; obteniéndose un porcentaje de humedad del 7,79 %.

El papel obtenido a partir de la cáscara de almendra amazónica tiene características similares al del papel Kraft, el uso del papel obtenido para relleno de embalaje considerando el nivel de resistencia obtenido.

Palabras claves: Almendra, Cáscara, Celulosa, Lignina, Papel.

ABSTRACT

The purpose of this project is to design the process for obtaining paper made of Amazonian almond shells, to make this waste useful and to generate knowledge by obtaining paper. For this it was necessary to know the composition of the shell, which is comprised of 16,61%, lignin 56,14% and hemicellulose 17,04%.

To carry out this research, the following specific objectives were set: characterize the Amazonian almond shell, plan the experimental design, its development and interpretation to obtain paper, which gave rise to a quantitative research approach and that allowed establish the optimal physicochemical parameters.

Experimental tests were made in the following operations: leaching, bleaching, pulp preparation and pressing; identifying the factors and response variables of each of the mentioned operations. The ANOVA statistical analysis was performed to identify the most influential factors and levels of the operations.

For the leaching operation, the optimal parameters were: temperature at 80 °C, sodium hydroxide concentration at 20% and a time of 2 h; obtaining a concentration of 9.63% cellulose. For the bleaching operation, 3% hydrogen peroxide was used, with a temperature of 50 °C and a time of 15 min; obtaining the color PMS132 (coded for Kraft paper). In the preparation of the pulp, the best alternative was using vinyl acetate in an amount of 30 g in 3000 ml of water: obtaining a tensile strength of 15 N. The pressing was carried out at a temperature of 20 °C for a time of 24 h; obtaining a humidity percentage of 7,79%.

The paper obtained from the Amazonian almond shell has characteristics similar to those of Kraft paper, used for packaging filling considering the level of resistance obtained.

Keywords: Almond, Shell, Cellulose, Lignin, Paper.

Citación: Duma Camila Alarcon Adrian, **OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE LA CÁSCARA DE ALMENDRA AMAZÓNICA.** Revista Científica EMINENTE 2023, 7-1: 49-59.

¹ Ingeniero Industrial – Carrera de Ingeniería Industrial - Unidad Académica La Paz - Escuela Militar de Ingeniería

* Corresponde al Autor (correo electrónico: dumacamila@gmail.com).

[§] Dirección de contacto Investigador primer autor: Zona Central, Avenida Sucre N 522 - Telf.: (+591) 67364553 Beni – Bolivia.

INTRODUCCIÓN

Bolivia se ha convertido en el principal productor y exportador de almendra a nivel mundial, la castaña, nuez del Brasil o almendra amazónica es producida por el árbol *Bertholletia excelsa*, este árbol se encuentra principalmente en la amazonia boliviana, brasilera y peruana. La recolección de almendra es la principal fuente de ingresos para las familias de la Amazonia boliviana en el departamento de Pando, provincia Vaca Diez de Beni y la provincia Iturrealde de La Paz (Soldán, 2003).

Algunas de las cualidades de la almendra amazónica son: es un producto no perecedero, alta demanda en los mercados internacionales, genera la mayor parte del empleo de la región amazónica, su explotación no causa un impacto ambiental significativo en el bosque y es considerado uno de los mejores alimentos por su composición de carbohidratos, proteínas, grasas no saturadas, alto contenido de vitaminas y ser una fuente natural de selenio (Quiroz, 2017).

La importancia de la almendra amazónica a nivel económico representa el 75% de los ingresos en la región amazónica de Bolivia, emplea a 5.000 familias en época de zafra y a más de 8.500 familias en los procesos de pelado y tostado (Filomeno, 2017).

La cáscara de la almendra amazónica por lo general se la utiliza como fuente de energía para las calderas de las plantas procesadoras, solo un 30% es utilizado y el resto se lo desecha al río, calles o es quemado, generando contaminación al medio ambiente (García, Sotomayor & Román, 2018).

La celulosa es el compuesto orgánico natural más abundante y tiene diferentes aplicaciones en la industria, las aplicaciones más importantes es la producción de papel, cartón y fibras textiles, utilizando diferentes materias primas y procesos para la producción (Sanz, s.f.).

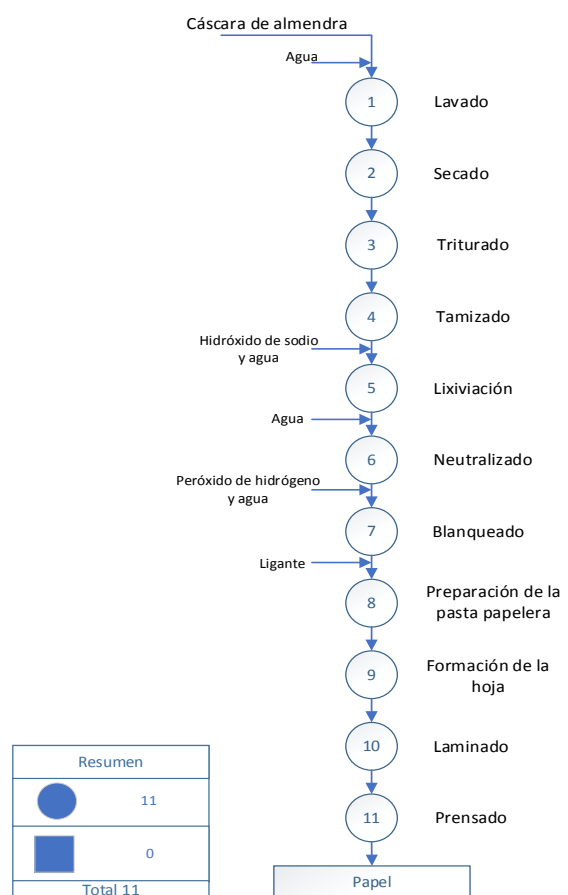
En el presente estudio se desarrollará el proceso para la producción de papel a partir de la celulosa de la cáscara de almendra amazónica con el fin de que pueda ser implementado en la industria papelera de Bolivia.

A la cáscara de almendra se la considera como un desecho y gran porcentaje de esta no se la aprovecha en la industria, comúnmente se la incinera o es arrojada a cuerpos de agua generando contaminación al medio ambiente y un entorno inadecuado para la sociedad; se tiene la necesidad de dar utilidad a este desecho y generar conocimiento mediante la obtención del papel.

METODOLOGÍA

Se utilizó la investigación aplicada en razón a aplicar el conocimiento ya existente en la solución de problemas mejorando y satisfaciendo la necesidad de no generar contaminación con los residuos de la almendra amazónica utilizándola para la elaboración de papel.

Figura 1. Diagrama de operaciones del proceso para la obtención de papel a partir de la cáscara de almendra amazónica



Fuente: Elaboración propia

Se utilizó el método empírico de investigación, las técnicas de recolección de información y técnicas de medición para el presente trabajo de investigación, se realizó la experimentación y la planificación de experimentación.

Materiales y métodos

El proceso para fibras no madereras se caracteriza por utilizar NaOH en la operación de lixiviación, para la extracción de la celulosa de la materia prima. Para la identificación del proceso se requiere investigaciones similares para la obtención de papel, las cuales van a ser utilizadas como referencia para determinar las variables en operaciones de las que no se realizara la experimentación.

Elaboración de papel a partir de la cáscara de almendra amazónica

Lavado

Con una relación de 1:10 se lavó 400 g de cáscara de almendra con 4000 ml de agua a temperatura ambiente durante 15 min a 18 min ya que toda la cáscara se encuentra sumergida y facilita el lavado, se realizó este procedimiento dos veces para eliminar las impurezas.

Secado

Una vez lavada la cáscara de almendra se procede a secarla en el horno de secado por 60 min a 80 °C, 100 °C y 120 °C. El mejor nivel con la que se desarrollara el experimento es con la muestra de 60 min a 120 °C

Triturado

Tabla 1. Resultado del tamaño de partícula en el molino de bolas.

PRUEBA	MASA (g)	VELOCIDAD (rpm)	TIEMPO (min)	CANTIDAD DE ESFERAS	TAMAÑO DE PARTÍCULA
1	2,0065	600	15	12	Polvo
2	2,0104	600	10	12	Polvo
3	4,0071	400	10	12	0,4 mm
4	4,0057	400	5	12	0,595 mm
5	5,0255	600	5	12	0,4 mm
6	10,0671	600	5	20	0,4 mm

Fuente: Elaboración propia

Se trituró la cáscara de almendra en el molino de bolas con esferas de 1 cm de diámetro, porque la esfera debe ser más grande que los trozos de la cáscara.

Tamizado

Se realizó el tamizado según la norma TAPPI T257 cm-85 utilizando el tamiz 40 mesh. El rendimiento del tamizado fue del 96,48 % con un desperdicio del 3,52 % de cáscara triturada.

Lixiviación

Se realizó la operación de lixiviación con el NaOH al 15 % y 20 %, temperatura 65 °C y 80 °C por 1 h y 2 h, se pesa 10 g la cáscara tamizada y se mezcla con 50 ml de solución, se realizó con relación 1:5. Los parámetros óptimos con lo que se logró extraer la mayor cantidad de celulosa es a 80 °C con 20% de concentración de NaOH por 2 h.

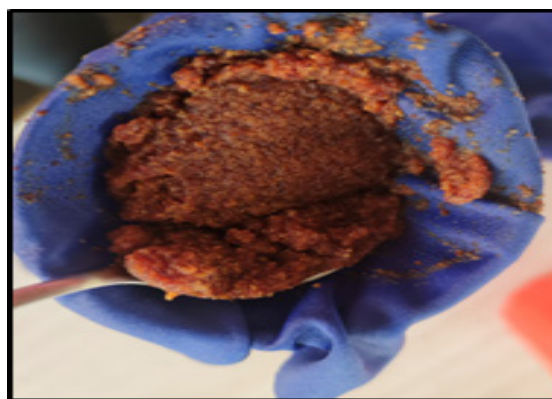
Neutralizado

Se realizó el lavado de la pasta celulósica obtenida con 10 lavados de 500 ml de agua destilada para eliminar los residuos y neutralizar la misma. El pH obtenido después del neutralizado fue de 7,45.

Blanqueado

Se realizó el blanqueado con el peróxido de hidrógeno al 3 % y al 4 % por 8 min y 15 min a 50 °C y 60 °C. Se pesó 10 g de la pasta celulósica para 20 ml de solución, se realizó con relación 1:2.

Figura 2. Pulpa blanqueada



Fuente: Elaboración propia

Los parámetros óptimos con lo que se logró obtener el color es a 50 °C con 3% de concentración de H2O2 por 15 min.

Preparación de la pasta papelera

En un recipiente se agregó 3000 ml de agua con 200 g de pasta celulósica, posteriormente se realizó pruebas agregando diferentes cantidades de vinil acetato y se realizó otras pruebas agregando diferentes cantidades de resinas vinílicas.

Formación de la hoja

Se realizó la técnica de malla continua para la formación de la hoja, se sumerge la malla en el recipiente donde se encuentra la pasta papelera. Una vez formada la hoja se la coloca sobre una tela con ayuda de una esponja para que toda la hoja este completa.

Figura 3. Formación del papel



Fuente: Elaboración propia

Laminado

Se realizó el laminado mediante la utilización de rodillos, se colocó la pulpa entre dos telas para evitar que se adhiriera al rodillo. Los espesores del papel obtenido varían entre 0,27 mm a 0,32 mm.

Prensado

Se realizó el prensado con una tabla para evita que la hoja se ondule en los bordes por 14 h y 24 h a 20 °C y 30 °C en el horno de secado. Se midió el porcentaje de humedad del papel en la balanza de humedad. Los parámetros óptimos del porcentaje de humedad son a 20 °C por 24 h.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se tiene los siguientes resultados de la experimentación de lixiviación.

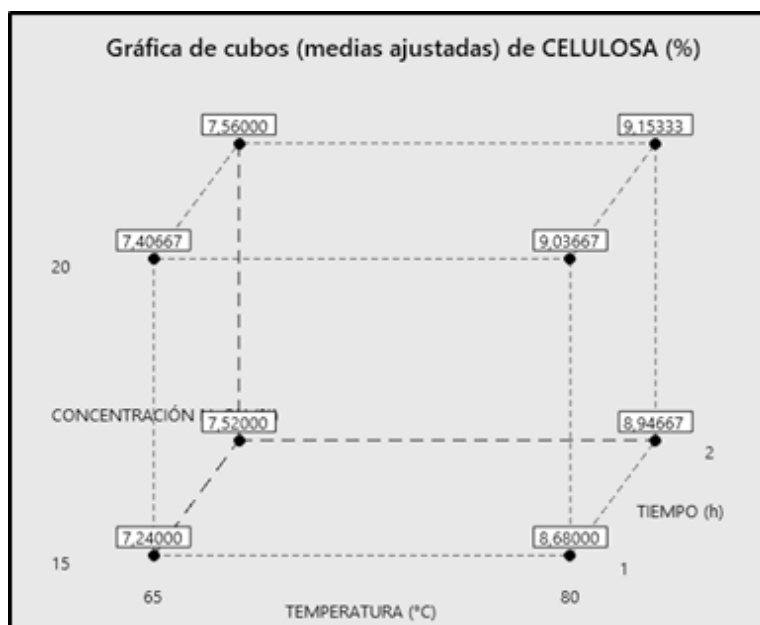
Tabla 2. Resultados del porcentaje de celulosa

FACTOR	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	VALOR F	VALOR P	DECISIÓN
A: Temperatura	1	13,9080	13,9080	1275,48	0,000	Se rechaza la H0
B: Concentración NaOH	1	0,2223	0,2223	20,39	0,000	Se rechaza la H0
C: Tiempo	1	0,2501	0,2501	22,94	0,000	Se rechaza la H0
AB: Temperatura*Concentración NaOH	1	0,0477	0,0477	4,37	0,053	Se acepta la H0
AC: Temperatura*Tiempo	1	0,0009	0,0009	0,09	0,773	Se acepta la H0
BC: Concentración NaOH*Tiempo	1	0,0287	0,0287	2,63	0,124	Se acepta la H0
ABC: Temperatura*Concentración NaOH*Tiempo	1	0,0002	0,0002	0,02	0,893	Se acepta la H0
Error	16	0,1745	0,0109			
Total	23	14,6325				

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos en Minitab

Se concluye que con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ se acepta la H0 para las interacciones: AB, AC, BC y ABC. Se observa el gráfico de cubos que representa de mejor forma el diseño 23.

Figura 4. Cubo de medias ajustada de porcentaje de celulosa



Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos en Minitab

Se observa que el resultado óptimo del porcentaje de celulosa es 9,15 % ya que es la mayor cantidad de celulosa extraída.

Se tiene los siguientes resultados de la experimentación de preparación de la pasta papelera.

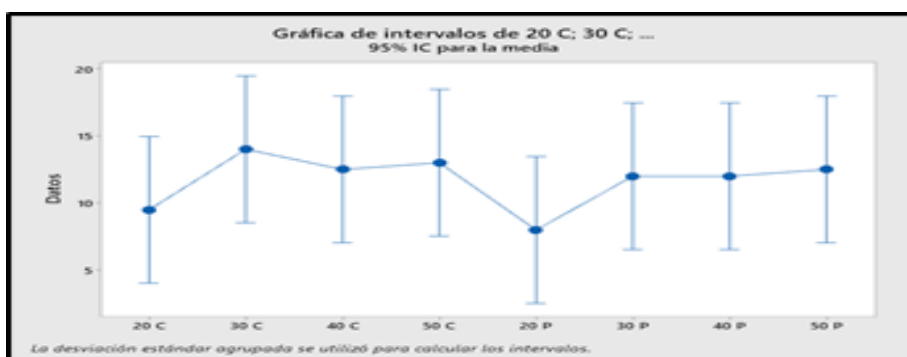
Tabla 3. Resultados de la resistencia a la tracción

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	VALOR F	VALOR P	DESICIÓN
Factor	7	53,94	7,705	0,69	0,682	Se acepta la H_0
Error	8	89,5	11,187			
Total	15	143,44				

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos en Minitab

Se concluye que con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$ se acepta la H_0 , es decir no hay diferencia o efecto de los tipos de papel en cuanto a su resistencia a la tracción.

Figura 5. Gráfica de intervalos de la resistencia a la tracción



Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos en Minitab

Según la gráfica los tipos de papel que tiene menor resistencia a la tracción son con 20 g de vinil acetato (20 °C) y 20 g de resina vinílica (20 P), la mayor resistencia a la tracción se obtuvo con 30 g de vinil acetato (30 °C).

Se tiene los siguientes resultados de la experimentación de prensado.

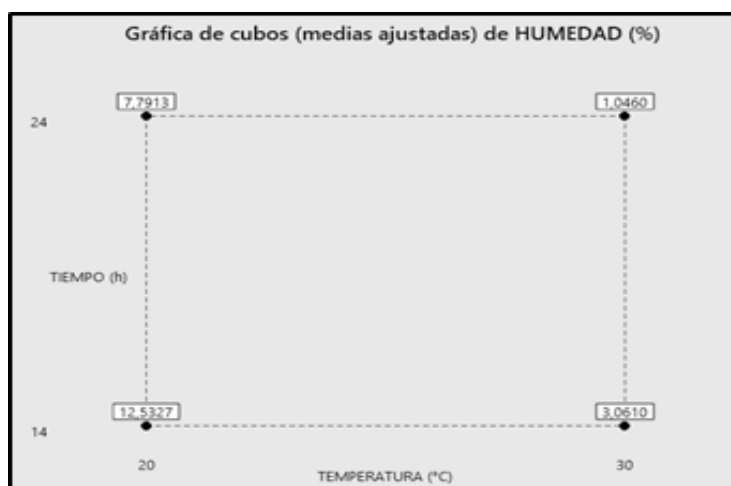
Tabla 4. Resultados del porcentaje de humedad

FACTOR	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	VALOR F	VALOR P	DESICIÓN
A: Temperatura	1	197,243	197,243	7238,31	0,000	Se rechaza la H_0
B: Tiempo	1	34,236	34,236	1256,37	0,000	Se rechaza la H_0
AB: Temperatura*Tiempo	1	5,575	5,575	204,58	0,000	Se rechaza la H_0
Error	8	0,218	0,027			
Total	11	237,272				

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos en Minitab

Se concluye que con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$ se rechaza la H_0 para los factores temperatura (A), tiempo (B) y la interacción AB.

Figura 6. Cubo de medias ajustada de porcentaje de humedad



Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos en Minitab

Se observa que el resultado óptimo del porcentaje de humedad es 7,79 % ya que se encuentra en el intervalo del porcentaje de humedad del papel Kraft por la norma ecuatoriana INEN 1429.

Parámetros óptimos

La norma boliviana NB ISO 536, NB 503, NB 508 Y NB 505 establecen respectivamente las pruebas de gramaje, espesor, humedad y resistencia a la tracción; muchas de estas características no tienen las tolerancias de referencia por consiguiente se recurrió a la norma técnica ecuatoriana INEN 1429.

Tabla 5. Operativización de variables para la obtención de papel

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Independiente	Lixiviación	Temperatura	80 °C
		Concentración solvente	20 %
		Tiempo	120 min
	Blanqueado	Concentración	3 %
		Tiempo	15 min
		Temperatura	50 °C
	Preparación de pasta papelera	Vinil acetato	30 g
Prensado	Tiempo	24 h	
	Temperatura	20 °C	
Variable Dependiente	Papel	Concentración de celulosa	9,15 %
		Blancura	PMS 132
		Humedad	7,79 %
		Gramaje	154,48 g/m ²
		Espesor	0,29 mm
		Resistencia a la tracción	15 N

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Al determinar el proceso para la obtención del papel a partir de la cáscara de almendra amazónica se desarrolló las siguientes operaciones: Lavado, secado, triturado, tamizado, lixiviación, neutralizado, blanqueado, preparación de la pasta papelera, formación de la hoja, laminado y prensado.

Al planificar el diseño experimental se realizó pruebas exploratorias de la operación de lixiviación para determinar las concentraciones de NaOH que se experimentara. Estas pruebas se realizaron con el 4 %, 10 %, 15 %, 20 % y 25 % de concentración de NaOH, de las mismas se concluye que las mejores concentraciones fueron con el 15 % y 20 %.

La lixiviación se desarrolló con un diseño factorial 23, los factores fueron la temperatura, concentración de NaOH y tiempo, cuyos niveles fueron los siguientes: 65 °C y 80 °C, 15 % y 20 %, 1 h y 2 h respectivamente; con una variable respuesta de concentración de celulosa. Una vez realizadas las pruebas experimentales se estableció que el óptimos de concentración de celulosa fue de 9,63 %, con los siguientes parámetros: temperatura de 80 °C, 20 % de hidróxido de sodio y un tiempo de 2 h.

El blanqueado se realizó con un diseño factorial 23 cuyos factores fueron la concentración de H₂O₂, la temperatura y tiempo, cuyos niveles fueron los siguientes: concentración de H₂O₂ al 3 % y 4 %, temperatura a 50 °C y 60 °C, con un tiempo de 8 min y 15 min.; con una variable respuesta el color de la pasta celulósica (identificada por un código). Una vez realizadas las pruebas experimentales la variable respuesta fue PMS4515 (color más cercano al del papel Kraft), con los parámetros óptimos de un 3 % de peróxido de hidrogeno, temperatura de 50 °C y un tiempo de 15 min.

En la operación de preparación de la pasta papelera se realizó una prueba con pasta celulósica en la obtención de papel, de la misma, cuya resistencia obtenida fue inferior a las realizadas con ligantes. Posteriormente, se realizó la experimentación con dos tipos de ligantes con un diseño factorial de un solo factor con ocho niveles. Del factor ligante sus niveles fueron: vinil acetato 20 g, 30 g, 40 g y

50 g; y la cantidad de resinas vinílicas de 20 g, 30 g, 40 g y 50 g., con una variable respuesta de la resistencia a la tracción. Una vez realizadas las pruebas experimentales se estableció que la mejor resistencia a la tracción fue de 15 N con 30 g de vinil acetato mediante prueba comparativa de la gráfica de Intervalo.

El prensado se realizó con un diseño factorial 22, los factores y niveles que se analizaron fueron: la temperatura a 20 °C y 30 °C, con un tiempo de 14 h y 24 h, con una variable respuesta % de humedad. Una vez realizadas las pruebas experimentales se estableció un 7,79 % de humedad con los parámetros óptimos de una temperatura de 20 °C y un tiempo de 24 h.

CONFLICTO DE INTERÉS

La autora declara que no tiene conflictos de interés con la presente investigación.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la Dirección Nacional de Investigación Ciencia y Tecnología de la Escuela Militar de Ingeniería y al Laboratorio de Ambiental de la Unidad de Investigación Ciencia y Tecnología de la Unidad Académica La Paz de la Escuela Militar de Ingeniería por apoyar esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Arias, F. G. (2012). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6ta. Fidia G. Arias Odón.
- [2] Atkins, P. & Jones, L. (2006). Principios de química: los caminos del descubrimiento. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- [3] Bajpai, P. (2015). Green chemistry and sustainability in pulp and paper industry (pp. 65-84). Cham: Springer International Publishing.
- [4] Bernabé-Santiago, R., Ávila-Calderón, L. E. A., & Rutiaga-Quiñones, J. G. (2013). Componentes químicos de la madera de cinco especies de

- pino del municipio de Morelia, Michoacán. Madera y bosques, 19(2), 21-35.
- [5] Bernal, M. (2009, 2 diciembre). El prensado (aplanado) de la estampa. Tecnicasdegrabado.es. <https://tecnicasdegrabado.es/2009/el-prensado-aplanado-de-la-estampa>
- [6] Calani, G. G. (2013). Obtención de papel a partir de los residuos de la cosecha de arroz. [Tesis de pregrado]. Escuela Militar de Ingeniería, Bolivia.
- [7] Callapa, M. A. (2011). Obtención de papel a partir de los residuos de la cosecha del banano. [Tesis de pregrado]. Escuela Militar de Ingeniería, Bolivia.
- [8] Cámara del Papel. (21 de mayo de 2008). Historia del Papel <http://www.camaradelpapel.com.mx/historia/historia.htm>
- [9] Camper, J. A. H. (2021). Caso de éxito.
- [10] Caneda, J. R. (2003). Tecnología de fabricación de papel. <https://es.scribd.com/document/355600405/Tecnologia-de-Pulpa-y-Papel>
- [11] Cárdenas, L. E. R., & Cortés, L. R. (2000). Exploración al diseño experimental. Ciencia e ingeniería neogranadina, 9, 51-59.
- [12] Cengel, Y. A. & Ghajar, A. J. (2011). Transferencia de calor y masa: México. McGraw-Hill.
- [13] Chang, R. (2002). Química. México: McGraw-Hill.
- [14] Chilingua, M. P. & Vallejos, H. M. (2017). Costos modalidad ordenes de producción. Ecuador: Editorial UTN
- [15] Coulson, J. M. (2005). Ingeniería química: operaciones unitarias básicas. Barcelona: Editorial Reverté
- [16] EPA (2001b) Pulping and bleaching system NESHAP for the pulp and paper industry: a plain: English description. U.S. Environmental Protection Agency. EPA-456/R-01-002.
- [17] Fargin, J. (2001). Revista Información Tecnológica. Volumen 10
- [18] Fargin, J. (2001). Revista Información Tecnológica. volumen 10. Ed. Valderrama. diseño del trabajo. México: McGraw-Hill.
- [19] Nivio, A., Gagey, M. & Lacarra, H. (2019). Química general introductorio. Universidad nacional de Lomas de Zamora.
- [20] Nutsch, W. (2000). Tecnología de la madera y del mueble. Barcelona: Editorial Reverté S. A.
- [21] Oria, S. (1991). Prácticas de laboratorio de química orgánica. Ed. Universidad de Murcia.
- [22] Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal.
- [23] Trademap. (2021). Evolución de exportaciones de castaña sin cáscara desde 2000. Recuperado de la base de datos de <https://www.trademap.org>
- [24] Treybal, R. E. (1991). Operaciones de transferencia de masa. México: McGraw-Hill
- [25] Ullauri, P. G. (2010). Transporte de masa en extracción fase sólido-líquido. Revista ReCiTelA.
- [26] Ures, P., Jácome, A. & Suárez, J. (2014). Neutralización de pH. <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Neutralizaci%C3%B3n.pdf/e7996c1d-1265-54c0-07d8-c0a79ce2cd91>
- [27] Urruzola, I., Robles, E., Serrano, L., & Labidi, J. (2014). Nanopaper from almond (Prunus dulcis) shell. Cellulose, 21(3), 1619-1629.
- [28] Valdivieso, J. E. (2020). Diseño de un proceso para la obtención de papel a partir de la celulosa

extraída del olote de maíz. [Proyecto de grado].
Ecuador. Escuela Superior Politécnica de
Chimborazo.



**Duma Camila Alarcón
Adrián.**

Nació en Beni - Bolivia, es
Ingeniera Industrial egresada
de Unidad Académica La Paz -
Escuela Militar de Ingeniería.
Cuenta con Diplomado
en Planificación y Desarrollo de Competencias
Profesionales en Educación Superior.