



Revista Científica I+D Aswan Science

Página Web de la Revista: <http://www.revistasadeg.com>

DOI: <https://doi.org/10.51892/rcidas.v2i1.13>

Optimización del secado del seudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*) y su potencial uso como material vegetal biodegradable

Optimization of the drying of banana pseudostem (*Musa paradisiaca*) and its potential use as biodegradable plant material

Otimização da secagem do pseudocaule da bananeira (*Musa paradisiaca*) e seu potencial uso como material vegetal biodegradável

Rocio Elizabeth Saavedra Gatica¹, Rafael Segundo Vela Paredes², Thony Arce Saavedra³, Abner Félix Obregón Lujerio^{1*}

¹Departamento Académico de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de San Martín, San Martín - Perú

²Departamento Académico de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos - Perú

³Departamento Académico de Ciencia y Tecnología Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Autónoma de Chota, Cajamarca - Perú

RESUMEN

*La contaminación ambiental es un problema global en todos los ecosistemas naturales. La búsqueda de alternativas que minimicen el impacto de los residuos generados por las actividades humanas es una necesidad constante, es por eso, que las investigaciones buscan materiales con características de maleabilidad, estabilidad y sobre todo biodegradabilidad. Nuestra investigación busca optimizar el proceso de secado de las vainas foliares del seudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*) para su uso como material vegetal biodegradable. Analizamos las propiedades físicas de las vainas foliares según: peso del tallo y biometría. Asimismo, fue aplicada la metodología de superficie respuesta (MSR) para optimizar la temperatura de secado (30 – 80 °C) y tiempo (8 - 144 horas), siendo las respuestas: %humedad, absorción de agua y densidad aparente, para la obtención de láminas secas de seudotallo de plátano para futuras aplicaciones. Fueron trabajados longitudes de 70 cm donde los rangos óptimos de secado fueron: temperatura (70 a 90 °C) y tiempo (60 - 100 h). Las mejores condiciones de tiempo y temperatura de secado de las vainas foliares del seudotallo de plátano, permitieron un fácil manejo y flexibilidad de los materiales obtenidos del proceso de secado para un posterior uso como material biodegradable.*

* Autor para correspondencia
afobregon@unsm.edu.pe

HISTORIA DEL ARTÍCULO:

Recibido: 15 setiembre 2022

Aceptado: 22 noviembre 2022

Publicación en línea: 26 diciembre 2022



La revista científica I+D aswan science de [Enterprise Sadeg](http://www.revistasadeg.com) publica artículos y se distribuyen bajo una [licencia de Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Palabra Claves: Biometría, proceso de secado, pseudotallo de plátano, material vegetal biodegradable, subproducto

ABSTRACT

*Environmental pollution is a global problem in all natural ecosystems. The search for alternatives that minimize the impact of waste generated by human activities is a constant need, which is why research seeks materials with characteristics of malleability, stability and, above all, biodegradability. Our research seeks to optimize the drying process of the banana pseudostem (*Musa paradisiaca*) leaf sheaths for use as biodegradable plant material. We analyzed the physical properties of the leaf sheaths according to: stem weight and biometry. Likewise, the response surface methodology (MSR) was applied to optimize the drying temperature (30 - 80 °C) and time (8 - 144 hours), with the answers being: % humidity, water absorption and apparent density, for the Obtaining dried banana pseudostem sheets for future applications. Lengths of 70 cm were worked where the optimum drying ranges were: temperature (70 to 90 °C) and time (60 - 100 h). The best drying time and temperature conditions of the banana pseudostem leaf sheaths allowed easy handling and flexibility of the materials obtained from the drying process for later use as biodegradable material.*

Keywords: biometry, drying process, banana pseudostem, biodegradable plant material, by-product

RESUMO

*A poluição ambiental é um problema global em todos os ecossistemas naturais. A busca por alternativas que minimizem o impacto dos resíduos gerados pelas atividades humanas é uma necessidade constante, por isso as pesquisas buscam materiais com características de maleabilidade, estabilidade e, principalmente, biodegradabilidade. Nossa pesquisa busca otimizar o processo de secagem das bainhas das folhas do pseudocaule da bananeira (*Musa paradisiaca*) para uso como material vegetal biodegradável. Analisamos as propriedades físicas das bainhas das folhas de acordo com: peso do caule e biometria. Da mesma forma, a metodologia de superfície de resposta (MSR) foi aplicada para otimizar a temperatura (30 - 80 °C) e o tempo (8 - 144 horas) de secagem, sendo as respostas: % umidade, absorção de água e densidade aparente, para a obtenção de Folhas de pseudocaule de bananeira para aplicações futuras. Foram trabalhados comprimentos de 70 cm onde as faixas ótimas de secagem foram: temperatura (70 a 90 °C) e tempo (60 - 100 h). As melhores condições de tempo e temperatura de secagem das bainhas das folhas do pseudocaule da bananeira permitiram fácil manuseio e flexibilidade dos materiais obtidos no processo de secagem para posterior utilização como material biodegradável.*

Palavras-chave: biometria, processo de secagem, pseudocaule de bananeira, material vegetal biodegradável, subproduto

1. Introducción

Cada año, la contaminación ambiental aumenta en todos los ecosistemas naturales, por lo que muchos países han adoptado diferentes políticas gubernamentales para proteger y conservar el medio ambiente (Pizá et al., 2017). En el Perú, a raíz de la Ley N° 28611 - General Del Ambiente, se estableció la "Política Nacional Del Ambiente", a través del D.S. N° 012-2009-MINAM, que busca ser una herramienta del proceso estratégico de desarrollo del país. Sin embargo, con frecuencia observamos el uso de materiales

plásticos en las actividades económicas del país, especialmente en trabajos relacionados con la agronomía. Se sabe que los plásticos se degradan lentamente y esta es una de las principales causas de la contaminación del suelo, el agua y el aire. Por otro lado, para combatir este uso activo y la contaminación ambiental de los materiales plásticos, se están realizando investigaciones centradas en el aprovechamiento de residuos o subproductos de las actividades agrícolas.

En la agricultura no se aprovechan los subproductos o residuos producidos a partir de las raíces, hojas, tallos o seudotallos o cualquier otra parte de la planta. Estos subproductos o desechos muchas veces provienen del cultivo de arroz, café, banano y otros, los cuales se convierten en desechos ricos en fibra y con gran potencial de aprovechamiento (Haro Velastegui et al., 2017). En particular, de la plantación de plátanos, después de la cosecha y postcosecha, todavía quedan subproductos como cáscaras, raquis, hojas y seudotallos que pueden contener elementos nutricionales como proteínas, carbohidratos, fibra y otros, que pueden ser utilizados en alimentos para consumo humano o animal, así como su sostenibilidad del uso en la producción de textiles, artesanías, empaques, etc. La mayoría de estos desechos suelen ser eliminados y quemados, ya sea en las propias plantaciones o en los mercados donde se venden.

El seudotallo del plátano es el mayor de los residuos generados en la cosecha, que en la actualidad es cortado y dejado en el suelo, como una práctica común de los productores plataneros. Este residuo es interesante no solo por la cantidad de residuo que presenta, sino también por su estructura multicapa o vaina foliar parecida al cartón ondulado o corrugado, que puede ser utilizada para diversas aplicaciones como un material respetuoso con el medio ambiente. En este sentido, el presente estudio se ha centrado en el conocimiento de las características biométricas y físicas de las capas del seudotallo, así como en la optimización del secado en estufa de aire forzado, control de temperatura y tiempo, con la finalidad de su posible uso como materia vegetal biodegradable.

2. Métodos y materiales

2.1. Materiales

La optimización de secado de seudotallo de plátano para su uso como material vegetal biodegradable, fue realizado en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la

Universidad Nacional de San Martín (UNSM), con muestras de seudotallos de plátano de variedad inguiri procedentes de parcelas demostrativas supervisadas por el Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo del Gobierno Regional de San Martín. Se incluyeron muestras de seudotallo de las parcelas demostrativas del Fundo Aucaloma de la UNSM, todas las muestras recolectadas después de la cosecha, donde los seudotallos se cortaron en tamaños de 80 cm antes del ingreso al laboratorio. Además, las muestras se examinan golpes, áreas con alguna perforación u oxidadas, o manchas negras que puedan indicar presencia de *Fusarium*.

2.2. Biometría de vainas foliares del seudotallo de plátano

2.2.1. Peso

Para determinar el peso de las vainas foliares fue realizado el análisis gravimétrico de cuarenta (40) unidades de muestras de vainas foliares del seudotallo de plátano, dispuestas en balanza analítica de 200g. Los resultados fueron reportados en gramos.

2.2.2. Medida longitudinal, medida de base superior e inferior

La medida longitudinal y medidas de base superior e inferior (Figura 1), fueron realizadas con regla metálica de 30 cm, dichas medidas corresponden a vainas foliares utilizadas en la determinación de peso. Los resultados fueron reportados en centímetros.

2.2.3. Espesor

Para determinar el espesor de las vainas foliares (Figura 1), Con la ayuda de micrómetro fueron medidos 40 unidades de vainas foliares utilizadas en la determinación de peso. Los resultados fueron reportados en milímetros.

2.3. Humedad

La determinación de la humedad de los seudotallos fue desarrollada siguiendo la metodología 964.22 de la AOAC (2012). Se determina por el método de estufa a 105 °C hasta obtener peso constante. Los resultados fueron reportados en porcentaje.

2.4. Densidad Aparente

Fue realizado mediante el método de desplazamiento de agua en una probeta graduada. Las probetas para la determinación de la densidad fueron extraídas de la parte central del seudotallo. El peso se determinó con una balanza analítica de 200 g. El volumen de las probetas se determinó utilizando el método de desplazamiento de agua en una probeta graduada.

2.5. Absorción de agua

Método de Ensayo Cobb, adaptado según la norma UNE-EN ISO 535:2014, fueron preparadas muestras de 10 x 10 cm y registrado el peso (W1). Adicionalmente, fueron colocados en 100 mL de agua durante 2 min. Después de extraer las muestras, el exceso de agua fue removido con papel de filtro y el peso final registrado (W2). El porcentaje de absorción es calculado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de absorción de agua} = 100 \times (W_2 - W_1) / W_1 \quad (1)$$

2.6. Optimización del secado de vainas foliares del seudotallo de plátano

La optimización del secado del seudotallo de plátano fue conducido a través de la metodología de superficie de respuesta (RSM). Para la cual fue utilizado un diseño compuesto central rotacional (DCCR). Para evaluar la relevancia de dos factores: temperatura (X1) y tiempo (X2) sobre la respuesta: humedad, densidad aparente y absorción de agua; el DCCR consistió en 4 experimentos de planeamiento factorial, así

como, 4 puntos axiales y 4 repeticiones en los puntos centrales, para ajustarse a un modelo polinomial de segundo orden. Los cálculos indicaron que se requieren 12 experimentos para este procedimiento. Los puntos axiales proporcionaron estimar la curvatura del modelo. Cuatro réplicas en el centro del diseño fueron usadas para estimar la suma de cuadrados de "error puro". Los valores codificados de las variables independientes y el diseño del test fueron resumidos en la Tabla 2. La ecuación polinomial de segundo orden fue:

$$Y_i = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{12}X_1X_2 \quad (2)$$

Donde:

Y_i (i=1-2) son las respuestas previstas: humedad, densidad aparente y absorción de agua. a₀ es la respuesta ajustada en el punto central; a₁ y a₂ son términos lineales; a₁₂ es el efecto de interacción, a₁₁ y a₂₂ son efectos cuadrados. X₁ y X₂ son las variables independientes.

2.7. Análisis de Datos

Los resultados de los pesos, la medida longitudinal, bases superior e inferior, fueron representados mediante gráficos de box plot, que nos permitieron resumir y representar las características principales, así como, identificar la presencia de valores atípicos de las mediciones. Las vainas foliares fueron analizadas por el resultado del valor medio o mediana del conjunto de datos analizados mediante el uso del software estadístico R versión 3.3.1 (R CORE TEAM, 2016).

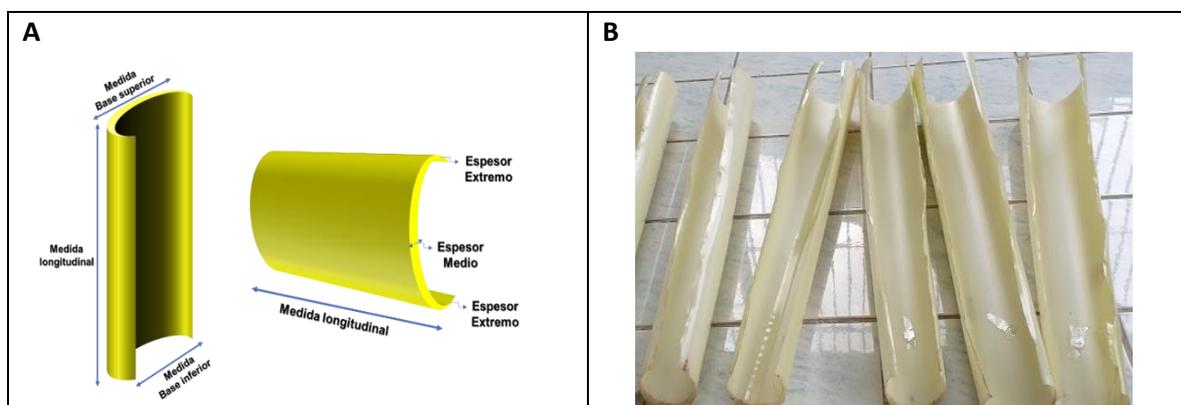


Figura 1:

Biometría de vainas foliares (capas) de plátano (*Musa paradisiaca*). A) descripción de las medidas realizadas a las vainas foliares. B) Fotografía original de vainas foliares.

3. Resultados y discusiones

3.1. Biometría de las vainas foliares de muestras de seudotallo de plátano

La biometría realizada a las vainas foliares de muestras de seudotallo se explica en la Figura 2. Debido a que, fue necesario describir las características físicas como parámetro inicial para su registro y posterior análisis, en tanto que la bibliografía no proporcionó uniformidad de los criterios para su descripción. siendo Peso (365.20 ± 34.55 cm), Medida longitudinal (70 ± 5.96 cm), Medida Base inferior (20.20 ± 2.23 cm), Medida Base superior (16.75 ± 2.55 cm), Medida de espesor extremo (0.86 ± 0.36 mm) y Medida de espesor medio (10.74 ± 2.29 mm). Asimismo, fueron analizados el %humedad, densidad aparente y absorción de agua, donde los resultados mostraron $90.96 \pm 1.46\%$, 0.41 ± 0.06 g/cc y 0.0095 ± 0.0031 g/m², respectivamente. Existen pocos reportes sobre el estudio del seudotallo de plátano y su caracterización; no obstante, Ramdhonee & Jeetah (2017) realizaron la

producción de papel de regalo a partir de fibras de plátano, donde indicaron que la %humedad del seudotallo de plátano fue de 96.3%, dato que es superior a lo encontrado a nuestro estudio. Esta diferencia entre los resultados de humedad puede deberse a las condiciones edafoclimáticas, estilo de corte, variedad de suelo, temporada de cosecha, localización, variedad o ecotipo.

3.2. Optimización de secado de vainas foliares de muestras de seudotallo de plátano

Luego de la caracterización de las vainas foliares en cuanto a la biometría y propiedades físicas, las mismas fueron secadas en estufa de aire forzado. El proceso de secado fue a través de la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) según el diseño descrito en el ítem 2.6. Asimismo, los resultados de los análisis de humedad, absorción de agua y densidad aparente son descritos en la Tabla 1, para lo cual se buscaron el modelo apropiado (Tabla 2) y la ecuación de temperatura y tiempo de optimizado (Figura 3).

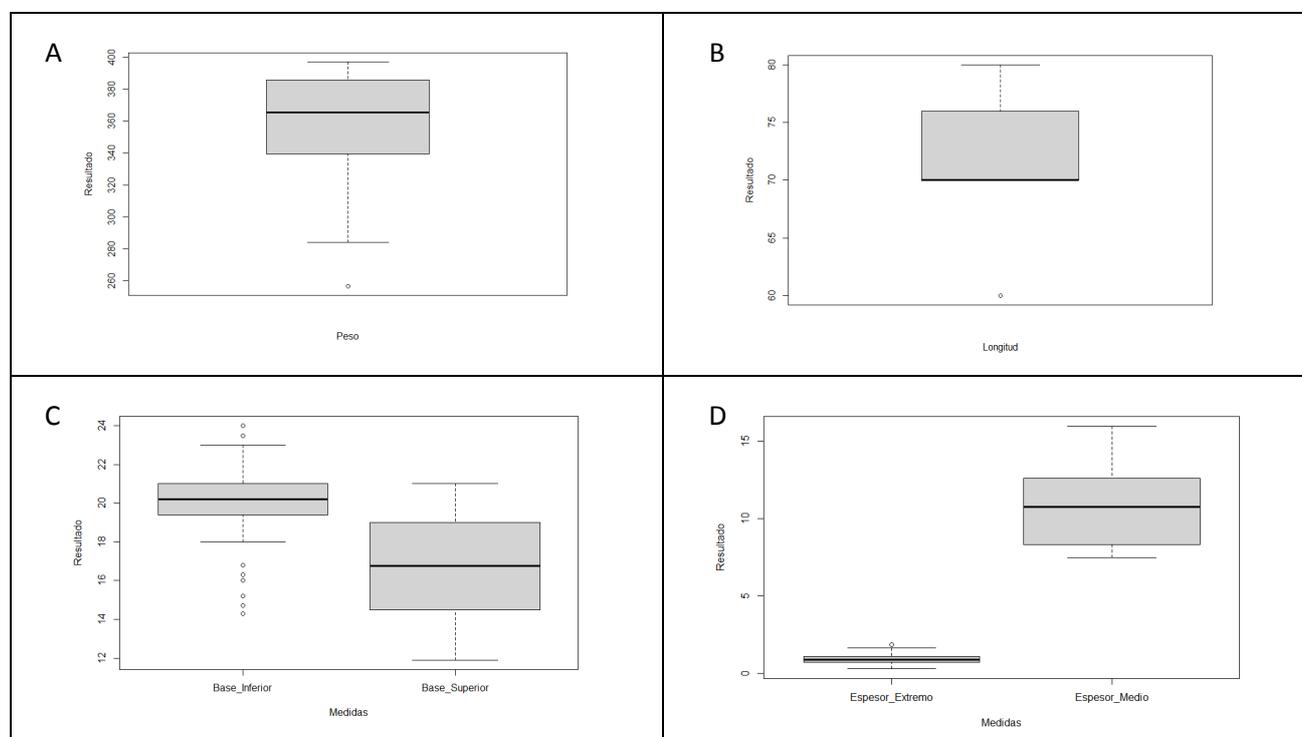


Figura 2:

Resultados de la biometría de vainas foliares (capas) de plátano (*Musa paradisiaca*). A) Peso de vainas foliares en gramos. B) Medida longitudinal en cm. C) Medida Base inferior y superior en cm. D) Medida de espesor extremo y medio en mm.

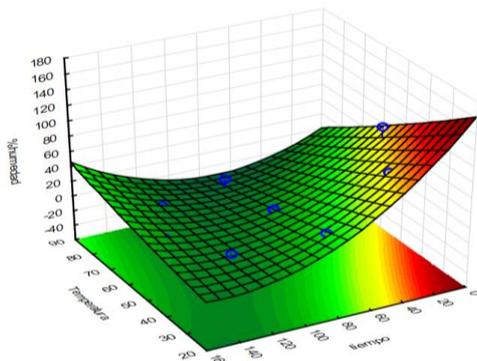
Tabla 1:

Datos de para secado de seudotallo de plátano con variación de temperatura (T) y tiempo (t)

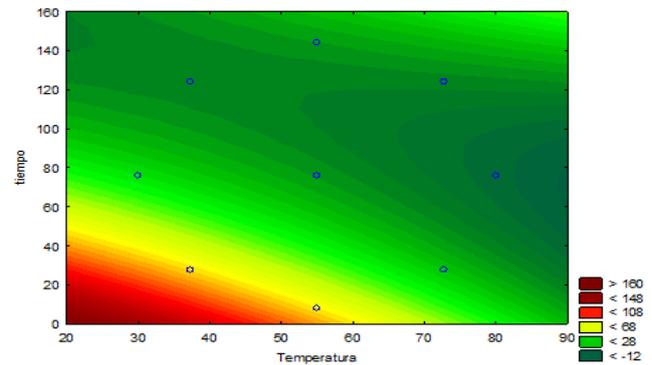
T	t	Humedad (%)	Absorción de agua (g/m ²)	Densidad aparente (g/cc)
37.3 (-1)	27.9 (-1)	72.4074	0.0095	0.7382
37.3 (-1)	124.1 (1)	11.7635	0.0111	0.3141
72.7 (1)	27.9(-1)	9.6086	0.007	0.1686
72.7 (1)	124.1(1)	4.4323	0.0196	0.2860
30 (-1.41)	76 (0)	30.822	0.0069	0.5266
80 (1.41)	76 (0)	2.9445	0.0141	0.3409
55 (0)	8 (-1.41)	89.3981	0.0068	0.6579
55 (0)	144 (1.41)	6.8216	0.0168	0.3689
55 (0)	76 (0)	11.7048	0.0085	0.2491
55 (0)	76 (0)	11.1080	0.0084	0.2484
55 (0)	76 (0)	11.0088	0.0083	0.2138
55 (0)	76 (0)	11.4517	0.0083	0,2205

Las variables independientes corresponden a los valores reales. Los valores entre paréntesis corresponden a los valores codificados. T: temperatura (°C); t: tiempo (horas) representan valores de tres determinaciones.

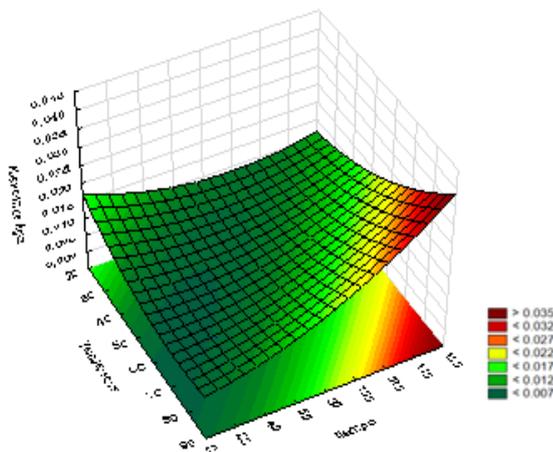
A



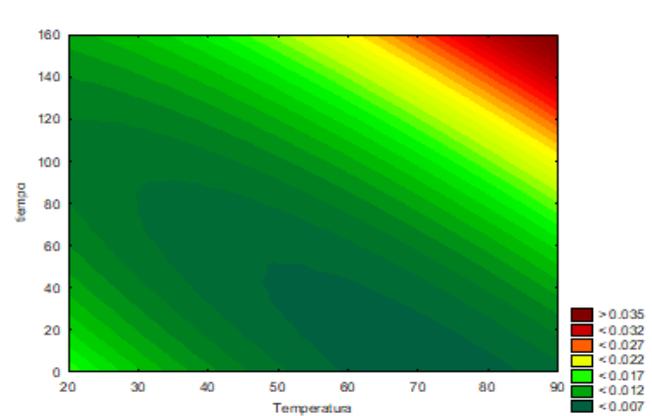
B



C



D



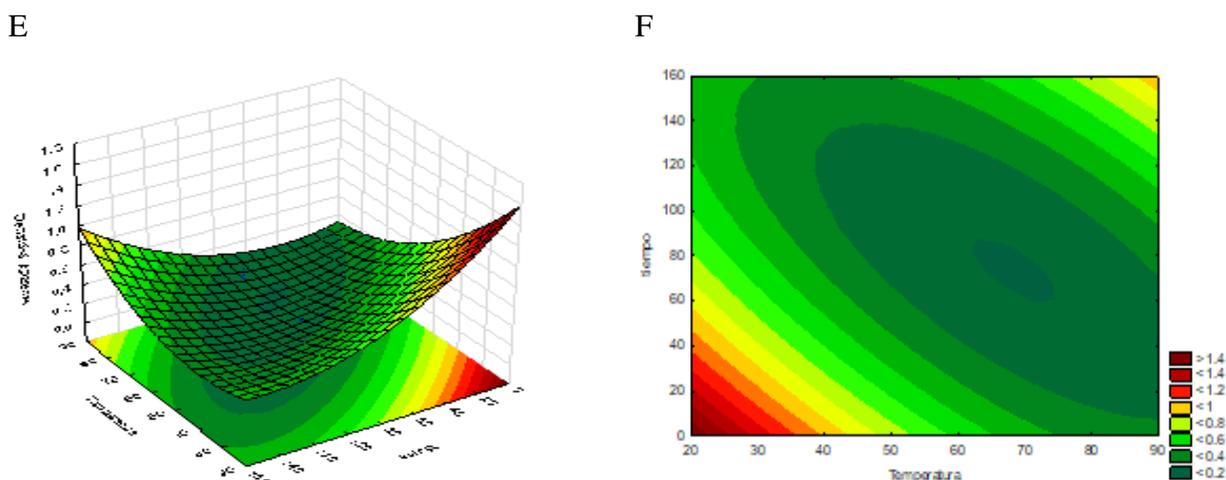


Figura 3:

A-C-E. Corresponden al Gráfico de superficie de respuesta de Humedad, Absorción de agua y Densidad Aparente respectivamente. B-D-E. Corresponden al Gráfico de contorno de Humedad, Absorción de agua y Densidad Aparente respectivamente del secado de vainas foliares de seudotallo de plátano.

Las ecuaciones de predicción para el % de humedad, absorción de agua y densidad aparente de las vainas foliares son:

Tabla 2:

Ecuación y rendimiento (%) de la optimización de vainas foliares de seudotallo de plátano.

	%Humedad	%Absorción de agua	Densidad aparente
Ecuación	$206.68 - 2.29 * T + 0.0025 * T^2 - 2.45 * t + 0.0071 * t^2 + 0.016 * T * t$	$0.0265 - 0.00056 * T + 0.0000039 * T^2 - 0.00023 * t + 0.00000081 * t^2 + 0.0000032 * T * t$	$2.398 - 0.0449 * T + 0.00024 * T^2 - 0.018 * t + 0.000050 * t^2 + 0.00016 * T * t$
%Rendimiento	93.513	98.421	90.503

Estos resultados nos demuestran que la utilización de los residuos del plátano se convierte en una alternativa viable de producción para estos desechos que contiene alto contenido de celulosa y almidón que pueden ser transformados o puede ser usado o moldeado para cualquier fin. Asimismo, por ser de naturaleza vegetal, se descomponen de manera más rápida, sirviendo a la vez como compost (abono) para el suelo y poder así sustituir a los plásticos tradicionales que están afectando a la biodiversidad (Haro et al., 2017), se concuerda con el autor puesto que, de acuerdo a las pruebas realizadas, las vainas de los seudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*) bajo las condiciones de tiempo y temperatura de secado se convierten celulosa en bioplásticos.

Además, las fibras naturales muestran numerosas ventajas cuando son comparadas con fibras sintéticas, entre las que se destacan que son biodegradables, renovables y abundantes. Particularmente, el bambú es considerado uno de los últimos recursos vegetales sostenibles que no ha sido masivamente explotado. Asimismo, se ha demostrado las fibras naturales son una buena opción para usarlas como refuerzo de materiales compuestos poliméricos, porque sus propiedades mecánicas son muy satisfactorias (Pedraza Abril, 2019). También se establece acuerdo con el autor puesto que al evaluar las condiciones del seudotallo seco como material vegetal biodegradable, podemos encontrar que estas fibras son de fácil descomposición en el medio ambiente.

4. Conclusiones

Se logro determinar las propiedades físicas y mecánicas del seudotallo de plátano seco, permitiendo encontrar un fácil manejo y flexibilidad de los materiales obtenidos de los procesos, para un posterior uso en la fabricación de artículos, como son platos descartables y demás productos para la manipulación de alimentos.

Se logro optimizar el proceso de secado del seudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*) para su uso como material vegetal biodegradable, mediante la prueba de humedad el elevado valor de coeficiente de determinación (R^2) del modelo seleccionado para predecir los % humedad para secado de seudotallo de plátano ($R^2=0.93268$), la absorción de agua, para predecir la absorción de agua para secado de seudotallo de plátano ($R^2=0.98421$).

Se logro obtener las mejores condiciones de tiempo y temperatura de secado del seudotallo de plátano, a través de la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), la combinación de temperatura ($\sim 70 - 90^\circ \text{C}$) y tiempo (60 – 100 horas), que representan los valores óptimos.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo recibido por Prociencia-Banco Mundial según contrato N° 024-2018-Fondecyt/BM. Asimismo, por el apoyo financiero del Instituto de investigación de la Universidad Nacional de San Martín mediante Resolución N° 729-2019-UNSM/CU-R.

6. Bibliografía

AOAC. (2012). *Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemist* (18a ed.). AOAC internacional.

Haro Velastegui, A. J., Borja Arévalo, A., & Triviño Bloisse, S. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Dominio de Las Ciencias*, 3(2), 506–525.

Ley N° 28611 - *General del Ambiente*. (2017). Congreso de La República Del Perú.

Pedraza Abril, C. G. (2019). *Caracterización de la fibra del pseudo tallo de plátano como refuerzo y desarrollo de un material compuesto para fabricación de tejas*, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Pizá, H., Rolando, S., Ramirez, C., Villanueva, S., & Zapata, A. (2017). Análisis experimental de la Elaboración de Biplástico a partir de la Cascara de Plátano. *Pirhua*, 108.

Política Nacional del Ambiente. (2009). In *Ministerio del Ambiente*.

R CORE TEAM. (2016). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing (Versão 3.3.1).

Ramdhonee, A., & Jeetah, P. (2017). Production of wrapping paper from banana fibres. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5), 4298–4306.

UNE-EN ISO 535:2014. (2014). *Papel y cartón. Determinación de la absorción de agua. Método de Cobb*. AENOR Madrid.