

Optimization of the Mixture of Rice Hulls, Rice Starch and Corn to Improve the Strength of Biodegradable Trays

Luna Jonel¹, Gutiérrez Frank¹, López Keysi¹, Álvarez Edson¹ y Veneros Candy, Mg¹ Boñón Cesia, Mg¹,
¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00248727@upn.pe, N00248656@upn.pe, N00235577@upn.pe, N00239874@upn.pe,
candy.veneros@upn.pe, cesia.bonon@upn.edu.pe

Abstract– *The growing interest in the preservation and care of the environment has motivated the development of biodegradable packaging from agroindustrial waste. The rice milling process generates considerable lignocellulosic waste such as husk that can be used for the development of biodegradable packaging. This research focuses on the use of rice husk, corn starch and rice starch as raw materials for the manufacture of biodegradable packaging. The objective is to identify the optimal percentages of raw material concentration for the development of the packaging. To do this, a mixture design was developed with the Statistica software and the resistance of the three types of biodegradable packaging mixtures was measured. Studies are mentioned that evaluate and examine the key factors to consider when manufacturing and marketing biodegradable containers made from natural fibers, such as corn husk or fruit waste, evaluating the environmental, economic and social impact of the consumption of these containers, as well as as the level of consumer acceptance. It is concluded that the optimal mixture for the development of the biodegradable packaging is that it contains 74.17619% of rice husk, 4.06859% of corn starch and 21.75521%. These wastes can be used sustainably, which would reduce their environmental impact and create economic opportunities.*

Keywords-- Rice husk, rice husk, raw material, biodegradable packaging

Optimización de la mezcla de cáscaras de arroz, almidón de arroz y maíz para mejorar la resistencia de bandejas biodegradables

Luna Jonel¹, Gutiérrez Frank¹, López Keysi¹, Álvarez Edson¹ y Veneros Candy, Mg¹, Boñón Cesia, Mg¹,
¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00248727@upn.pe, N00248656@upn.pe, N00235577@upn.pe, N00239874@upn.pe,
candy.veneros@upn.pe, cesia.bonon@upn.edu.pe

Resumen– El creciente interés por la preservación y el cuidado del ambiente ha motivado el desarrollo de envases biodegradables a partir de residuos agroindustriales. El proceso de pilado de arroz genera considerables residuos lignocelulósicos como la cascarilla que puede emplearse para el desarrollo de envases biodegradables. Esta investigación se centra en la utilización de cascarilla de arroz, almidón de maíz y almidón de arroz, como materia prima para la fabricación de un envase biodegradable. El objetivo es identificar los porcentajes óptimos de concentración de materia prima para el desarrollo del envase. Para ello, se desarrolló un diseño de mezcla con el software Statistica y se midió la resistencia de los tres tipos de mezclas de envases biodegradables. Se mencionan estudios que evalúan y examinan los factores clave a considerar al fabricar y comercializar envases biodegradables elaborados a partir de fibras naturales, como la cáscara de maíz o residuos de frutas, evaluando el impacto ambiental, económico y social del consumo de estos envases, así como el nivel de aceptación a los consumidores. Se concluye la mezcla óptima para el desarrollo del envase biodegradable es la contiene 74.17619 % de cascarilla de arroz, 4.06859 % de almidón de maíz y 21.75521 % almidón de arroz. Estos residuos pueden ser aprovechados de manera sostenible, lo que reduciría su impacto ambiental y crearía oportunidades económicas

Palabras clave-- Palabras clave: Cascarilla de arroz, cascarilla de arroz, materia prima, envase biodegradable

I. INTRODUCCIÓN

El manejo de residuos es un desafío clave para la sostenibilidad ambiental, ya que el aumento de desechos humanos intensifica la contaminación y el daño a los ecosistemas, poniendo en riesgo la salud del planeta. En este contexto, los residuos biodegradables se presentan como una solución prometedora, ya que se descomponen de manera natural y ofrecen una alternativa más ecológica frente a los materiales no biodegradables que saturan vertederos y océanos [1]. La industria agroalimentaria, en particular el pilado del arroz, es una fuente significativa de desechos, generando grandes cantidades de cáscaras y subproductos que, si no se gestionan adecuadamente, contribuyen a la contaminación del suelo y del agua [2].

En Perú se consumen aproximadamente 950,000 toneladas de plástico al año, con más de 886 toneladas diarias solo en Lima y Callao. De estos residuos, solo el 25% se convierte en productos duraderos; el resto termina en vertederos o en el océano, donde tarda siglos en descomponerse. A nivel global, entre el 60% y el 90% de los residuos marinos son plásticos, y se espera que esta cifra se duplique para 2030 [3]. La contaminación ambiental por desechos sólidos de envases, bolsas y productos a base de polietileno de consumo diario tiene una vida útil prolongada y no se degrada fácilmente en el medio ambiente; por lo que se genera un consumismo excesivo e irresponsable en la proliferación de envases y productos plásticos de un solo uso [4]. La mayoría de los productos plásticos no son reutilizables y su reciclaje es costoso, especialmente porque el 70% de los envases plásticos son de un solo uso y rara vez se reciclan. Aunque el plástico ha sido crucial en la industria alimentaria para asegurar la seguridad de los productos, la creciente acumulación de residuos y la contaminación han impulsado a los gobiernos a adoptar políticas para reducir residuos y promover una gestión más sostenible [5].

En Perú se generan alrededor de 380,000 toneladas anuales de cascarilla de arroz, con más del 60% concentradas en los molinos de la costa norte. Generalmente, esta cascarilla se quema cerca de los molinos, y solo una pequeña cantidad se utiliza como combustible en fábricas de ladrillos. Debido a su composición fisicoquímica y baja densidad, la cascarilla de arroz es difícil de biodegradar y presenta problemas de evacuación y transporte, con altos costos y un impacto ambiental negativo [6]. Según [7] la cascarilla representa uno de los mayores problemas para los agricultores de arroz, un residuo que corresponde aproximadamente al 20% en peso de la producción total de arroz. Esta se compone fundamentalmente por fibras, celulosa, y minerales. No se usa para la elaboración de alimentos concentrados para animales, debido a su alto contenido de sílice. La cascarilla de arroz al ser sometida a calcinación produce una alta cantidad de ceniza, entre 13 y 29% del peso inicial, la cual contiene 87-97% de sílice en forma cristalina junto con pequeñas cantidades de sales inorgánicas.

El almidón de maíz, compuesto principalmente de amilosa y amilopectina, presenta propiedades fisicoquímicas y funcionales, las cuales se destacan por su versatilidad en la creación de bioplásticos. Además, su capacidad para ser moldeado en diferentes formas y su transparencia natural es ideal para envases que requieren claridad visual. Un beneficio clave del almidón de maíz en este contexto es su biodegradabilidad, que ayuda a reducir la contaminación plástica, ya que se degrada más fácilmente en el ambiente en comparación con los plásticos convencionales [8]. Por otra parte, el almidón de arroz ofrece una excelente opción para envases biodegradables debido a su capacidad para crear texturas suaves y uniformes. Asimismo, posee características como su alta resistencia al ácido y los amplios rangos de variación en sus contenidos de amilosa y amilopectina (el de la amilosa, por ejemplo, puede variar entre 8 y 37%), por lo cual se ha incrementado su demanda en aplicaciones farmacéuticas y alimenticias [9].

[10]. presentaron resultados positivos derivados de la introducción de envases que son biodegradables y elaborados a partir de bagazo de caña de azúcar, así como de PLA con fibra de bambú, en una cadena de café Premium. Utilizando varios métodos, confirmaron que el costo de producción de estos envases biodegradables es menor en comparación con los envases que comúnmente se importan y que están hechos de películas de plástico. Por lo tanto, estos envases biodegradables resultan ser más rentables. Además, los investigadores concluyeron que estos envases biodegradables cumplen con los requisitos esenciales para satisfacer a los clientes en términos de rigidez del material, resistencia al calor, estética y, al mismo tiempo, abordan las preocupaciones ambientales del público al contribuir a la reducción de los plásticos de un solo uso.

[11] llevaron a cabo la planificación y desarrollo de bandejas biodegradables elaboradas principalmente a partir de fécula de maíz. Este proceso implicó la evaluación detallada de los materiales, la ubicación de la planta de producción, la maquinaria necesaria y la creación de puestos de trabajo. Además, realizaron un análisis de mercado para determinar la viabilidad comercial del producto, y los resultados fueron positivos. Esta investigación se llevó a cabo en Piura, Perú, y se centró en esta área geográfica. En resumen, lograron fabricar con éxito

las bandejas, y sus recomendaciones se enfocaron en la selección de materiales que pudieran aumentar la resistencia y la rigidez del producto final. Además, señalaron que estos envases no tienen un costo elevado.

[12] emprendió el proyecto de desarrollar un envase biodegradable confeccionado principalmente a partir de bagazo de caña de azúcar. Su objetivo era utilizar este recipiente para el transporte y la distribución de insectos destinados al control biológico en diversos cultivos, ya que normalmente se albergan en vasos de plástico. Durante este proceso, se crearon varios prototipos que incorporaban el bagazo de caña de azúcar junto con otros materiales. Sin embargo, los resultados revelaron que este envase no era viable para cumplir con los objetivos deseados, particularmente en lo que respecta al control de los insectos. Además, se encontraron dificultades para lograr un sellado completo que impidiera que los insectos se escaparan del recipiente. A pesar de estos desafíos, se sugirió que estos envases podrían ser aplicados en otros campos, como en cafeterías.

[13] llevó a cabo un proyecto de investigación en el que examinó los factores clave a considerar al introducir y comercializar envases biodegradables elaborados a partir de fibras naturales, como la cáscara de maíz o residuos de frutas, como la corona de la piña. Su enfoque se centró en empresas dedicadas a la preparación y distribución de alimentos, como cafeterías, restaurantes o servicios móviles de comida. El estudio también evaluó el impacto ambiental, económico y social del consumo de estos envases, así como el nivel de aceptación tanto por parte de las empresas como de sus clientes. Como resultado de esta investigación, se concluyó que es muy probable que este tipo de empresas muestren una receptividad positiva hacia estos productos respetuosos con el medio ambiente. No obstante, se señaló que en caso de que la implementación de estos envases biodegradables resulte en un aumento de los costos para las empresas, podrían buscar alternativas más económicas.

El objetivo de la investigación consiste en determinar la mezcla óptima de cascarilla de arroz y almidón en la resistencia de un envase biodegradable.

II. METODOLOGÍA

Para la fabricación de envases biodegradables a partir de cascarilla de arroz y fécula de maíz, se utilizaron materias primas adquiridas en el mercado zonal El Cortijo, en Trujillo, con un total de 100 gramos. El proceso comenzó con la recolección de la cascarilla de arroz, que fue sometida a un proceso de limpieza para eliminar impurezas. Posteriormente, se trató químicamente con ácido clorhídrico durante 30 minutos y se deshidrató en una estufa modelo BINDER BD a 50 °C durante una hora. Una vez seca, la cascarilla de arroz fue triturada utilizando un molino modelo DH1500 hasta obtener un polvo de partículas uniformes, que luego fue tamizado para asegurar una textura manejable y sin gránulos. Se pesaron 48 gramos de este polvo en una balanza modelo OHAUS.

El siguiente paso consistió en mezclar los componentes, para lo cual se prepararon tres tipos de muestras con diferentes proporciones de cascarilla de arroz, almidón de maíz y almidón de arroz. La primera muestra contenía 58.3% de cascarilla de arroz, 22.4% de almidón de maíz y 19.3% de almidón de arroz; la segunda, 54.5% de cascarilla de arroz, 23.4% de almidón de maíz y 22.1% de almidón de arroz; y la tercera, 66.6% de cascarilla de arroz, 8.2% de almidón de maíz y 25.2% de almidón de arroz. Estas mezclas fueron trabajadas hasta obtener una masa homogénea, que luego fue moldeada según la forma deseada para los envases.

La masa moldeada fue sometida a un proceso de prensado, donde se aplicó una fuerza específica para asegurar un moldeado adecuado. Luego, los moldes se hornearon en una estufa a una temperatura de 200 °C durante 40 minutos, garantizando la consistencia y resistencia del producto final. Tras la cocción, los moldes se dejaron secar a temperatura ambiente en un espacio acondicionado, libre de agentes contaminantes. Posteriormente, se procedió a limar los bordes de cada envase para mejorar su apariencia y durabilidad. Finalmente, se evaluó la resistencia a la compresión mediante una máquina compresora CONTROLS modelo C56B03, la que midió la fuerza aplicada hasta su rotura.

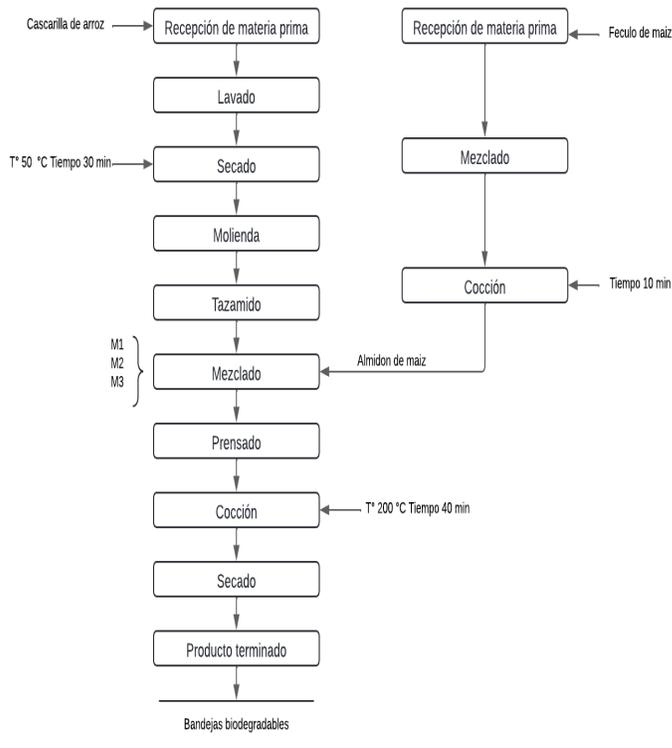


Fig. 1 Diagrama de flujo de proceso productivo.

2.1. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ESTADÍSTICO

Se realizarán 3 tratamientos de diferentes concentraciones para el mezclado como se muestra en la tabla 1, para luego realizar un diseño de mezcla en software Statistica para hallar los porcentajes de valores óptimos para la mezcla de envases biodegradables. Entre las diferentes proporciones de porcentaje de cascarilla de arroz, almidón de maíz y almidón de arroz.

TABLA 1
NÚMERO DE TRATAMIENTOS DE PORCENTAJE DE MEZCLA Y
RESISTENCIA DE ENVASES BIODEGRADABLES

Tratamiento	Cascarilla de Arroz	Almidón de Maíz	Almidón de Arroz
T1	58.30%	22.40%	19.30%
T2	54.50%	23.40%	22.10%
T3	66.60%	8.20%	25.20%

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

La tabla 2 muestra los resultados de la prueba de resistencia a la compresión en Newton (N), para cada tratamiento; se observa que el T1 que contiene una mayor resistencia a diferencia de los otros tratamientos,

esto se debe a que el almidón mejora la dureza en las bandejas; sin embargo podemos observar que el tratamiento 3 con mayor contenido de cascarilla y menor contenido de almidón de maíz obtuvo menor resistencia, según [14] se debe a que la fibra tiende a debilitar la cohesión en la estructura del almidón.

TABLA 2
PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tratamiento	Cascarilla de Arroz	Almidón de Maíz	Almidón de Arroz	Fuerza (N)
T1	58.30%	22.40%	19.30%	2.02
T2	54.50%	23.40%	22.10%	1.91
T3	66.60%	8.20%	25.20%	1.83

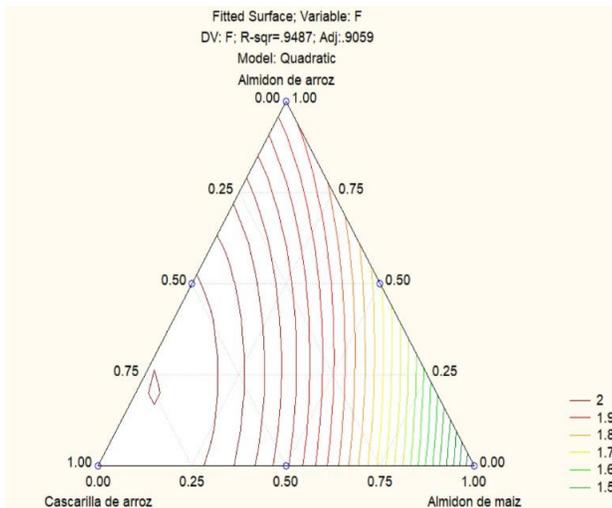


Fig. 2 Gráfico de contorno para el diseño de mezcla para envase biodegradable

Los resultados obtenidos al combinar las variables independientes de cascarilla de arroz, almidón de maíz y almidón de arroz se visualizan mediante las líneas de contorno en la figura 2. En esta representación gráfica, la región óptima se resalta en un tono rojo oscuro, especialmente en la zona cercana a la cascarilla de arroz. Este hallazgo es fundamental, ya que sugiere una correlación significativa entre las variables analizadas. La figura 2, al ofrecer una representación clara de la combinación ternaria, resulta esencial para interpretar los resultados. El área intensificada en rojo oscuro señala la ubicación preferida para las variables, subrayando la importancia de la cascarilla de arroz en la formulación.

Es significativo destacar el alto valor del coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) de 0,9487. Este valor sugiere que el modelo propuesto tiene una

capacidad del 94,87% para explicar la variación en los datos experimentales. Este alto nivel de explicación fortalece la confianza en la relación entre las variables y respalda la validez del modelo propuesto.

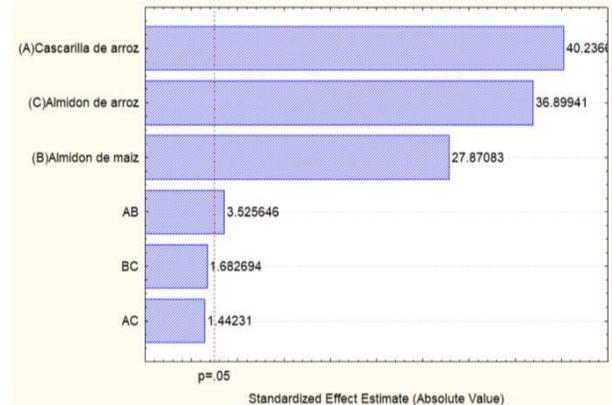


Fig. 3. Diagrama de Pareto que muestra el orden de las variables significativas

La Figura 3 presenta un Diagrama de Pareto que ilustra los resultados del análisis de varianza (ANOVA), proporcionando una visión clara de la importancia relativa de cada factor en la concentración de la mezcla. Los efectos estimados estandarizados de cada variable se representan en orden decreciente, y la línea vertical discontinua indica el umbral de significancia estadística con un 95% de confianza ($p = 0,05$). Los hallazgos revelan que todas las variables tuvieron un impacto significativo en la concentración de la mezcla. Este resultado es fundamental, ya que subraya la necesidad de considerar todas las variables en el proceso de formulación, ya que cada una contribuye de manera significativa al resultado final.

El orden de significancia, como se indica en el estudio, fue cascarilla de arroz > almidón de arroz > almidón de maíz. Este orden proporciona una guía valiosa para priorizar y ajustar las proporciones de estos componentes en la mezcla, destacando la influencia preeminente de la cascarilla de arroz en la concentración final. Este conocimiento es esencial para la formulación precisa y la optimización del producto. Además, el análisis de las interacciones binarias muestra una fuerte sinergia entre la cascarilla de arroz y el almidón de maíz. Esta sinergia puede explotarse estratégicamente para mejorar y ajustar aún más la concentración de la mezcla. La comprensión de estas interacciones facilita la toma de decisiones informada en la formulación, lo que contribuye a la eficacia y la eficiencia del proceso.

Factor	Observed Minimum	Critical Values	Observed Maximum
Cascarilla de arroz	0.00	74.17619	100.0000
Almidon de maiz	0.00	4.06859	100.0000
Almidon de arroz	0.00	21.75521	100.0000

Fig.4. Valores óptimos para la mezcla para la elaboración de envases biodegradable utilizando el software STATISTICA

Los resultados de la figura 4 se puede observar la mezcla óptima que nos dio el software Statistica; la cascarilla de arroz con 74.17619 %, almidón de maíz de 4.06859 % y almidón de arroz 21.75521 % para la elaboración de envases biodegradables. La identificación de la mezcla óptima es crucial para la formulación eficiente y efectiva de envases biodegradables. La predominancia de la cascarilla de arroz en la mezcla sugiere su importancia en términos de propiedades físicas y biodegradabilidad. La combinación específica de almidón de maíz y almidón de arroz también juega un papel significativo en la determinación de las características finales del envase. Así corrobora; [11]. La presencia significativa de almidón de arroz puede estar asociada con propiedades específicas que aporta al material, como la resistencia o la flexibilidad. El almidón de maíz, aunque en menor proporción, puede tener características particulares que mejoren la estructura y la descomposición del envase. Sin embargo, A. [10] es esencial validar experimentalmente la mezcla óptima propuesta por el software. Se pueden realizar pruebas físicas y químicas para confirmar que el material resultante cumple con los estándares deseados en términos de resistencia, biodegradabilidad y otras propiedades clave. Además, la mezcla óptima proporcionada por el software Statistica sirve como un punto de partida valioso para la formulación de envases biodegradables. Sin embargo, es esencial realizar pruebas experimentales para validar y ajustar la composición según sea necesario, garantizando así un producto final que cumpla con los requisitos de sostenibilidad y funcionalidad [13].

Finalmente resulta oportuno analizar la estructura de costos directos de producción, para ello se consideró los costos de materia prima y de mano de obra directa (MOD) . Para determinar los costos se consideró un lote de 500 envases biodegradables y una producción de 100 lotes al mes.

TABLA 3
COSTOS DE MATERIA PRIMA

Insumos	Unidad	Precio por Unidad (S/)	Cantidad por Unidad de Producción (Kg o l)	Costo por Unidad de Producción(S/)
Cascarilla de arroz	Kg.	4.50	0.750	3.38
Almidón de maiz	Kg.	4.00	0.041	0.16
Almidón de arroz	Kg.	60.00	0.210	12.60
Agua destilada	l	4.00	2.800	11.20
Costo de Materia prima (lote 500 envases)				27.34

Los costos de MOD estarán representados por el puesto de operario de producción y el jefe de producción. Se estima una remuneración fija mensual, además de sus beneficios sociales como se muestran en la table 4.

TABLA 4
COSTOS TOTALES DE MANO DE OBRA POR LOTE

MOD	Cantidad MOD	Sueldo	Cantidad de Sueldos	Total
Operario de Producción	3	S/ 1,308.00	14.00	S/ 18,312.00
Jefe de Producción	1	S/ 2,441.60	14.00	S/ 34,182.40
Costo anual				S/ 52,494.40
Costo mensual				S/ 4,374.53
Costo por lote				S/ 43.75

TABLA 5
COSTOS TOTALES DIRECTOS

Tipo de Costo Directo	Costo
Costo de materia prima	S/ 27.34
Costo de MOD	S/ 43.27
Costo Directo por lote	S/ 70.61
Unidades por lote	500
Costo directo unitario	S/ 0.14

La tabla 5 detalla los costos directos estimados de producción, sin embargo, para obtener los indicadores financieros que permitan determinar la viabilidad y rentabilidad económica de la propuesta es necesario el desarrollo de pruebas pilotos que proporcionen información adicional a fin de determinar el retorno de la inversión y periodo de recuperación de capital.

