

Development of Biodegradable Films from Cocoa Husk and Potato Starch for the Circular Economy in the Peruvian Rainforest

Julio Martin Castillo Otazu¹ ; Leydi Antonella Zevallos Agurto² 
and Samuel Astete³ 

^{1,2,3} Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201916214@upc.edu.pe, u202019648@upc.edu.pe, pcigsast@upc.edu.pe

Abstract: *The project addresses the environmental problem of the accumulation of unmarketed cocoa husks in the Peruvian jungle at the Wayu company. To alleviate the problem, biodegradable films were developed from cellulose extracted from foreign cocoa husks and corn starch with the aim of promoting the circular economy. The films, made with different amounts of cellulose and glycerin, were subjected to density, humidity and performance tests. The results showed that higher cellulose content increases the density and humidity of the film, while glycerin improves flexibility and water absorption. This approach demonstrates the potential of sustainable materials from cocoa husk waste.*

Keywords: *cocoa husk, biodegradable films, circular economy, cellulose, potato starch.*

Desarrollo de Films Biodegradables de Cascarilla de Cacao y Fécula de Papa para la Economía Circular en la Selva Peruana

Julio Martín Castillo Otazu¹ ; Leydi Antonella Zevallos Agurto² 
y Samuel Astete³ 

^{1,2,3} Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201916214@upc.edu.pe, u202019648@upc.edu.pe, pcigsast@upc.edu.pe

Resumen: *El proyecto aborda el problema ambiental de la acumulación de cascarilla de cacao no comercializada en la selva peruana en la empresa Wayu. Para aminorar la problemática se desarrollaron films biodegradables a partir de celulosa extraída de cascarilla de cacao forastero y fécula de papa con el objetivo de promover la economía circular. Las películas, elaboradas con distintas cantidades de celulosa y glicerina, se sometieron a pruebas de densidad, humedad y rendimiento. Los resultados mostraron que un mayor contenido de celulosa aumenta la densidad y la humedad de la película, mientras que la glicerina mejora la flexibilidad y la absorción de agua. Este enfoque demuestra el potencial de los materiales sostenibles a partir de los residuos de la cascarilla de cacao.*

Palabras Clave: *cascarilla de cacao, films biodegradables, economía circular, celulosa, fécula de papa.*

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es una problemática global cada vez más alarmante, con efectos significativos como el cambio climático, la erosión del suelo y los impactos adversos en la salud humana. Una proporción considerable de los residuos generados proviene de actividades antropogénicas, y su manejo inadecuado contribuye a la contaminación del aire, agua y suelo [1]. Esta situación evidencia la urgencia de implementar propuestas innovadoras para mitigar dichos impactos.

A nivel global, el 44% de los residuos son orgánicos; mientras que el plástico representa un 12%, constituyendo uno de los mayores problemas debido a su larga vida útil y difícil degradación [2]. Uno de los sectores con mayor potencial de aprovechamiento de los residuos es la agricultura debido a los subproductos que genera, siendo el cacao uno de estos. En el Perú, la producción nacional de cacao en grano creció en la última década un 12.6% promedio al año y, de acuerdo con la Organización Internacional del Cacao, el 75% de las exportaciones peruanas es cacao fino y de aroma [3]. Sin embargo, otras cifras como las de los subproductos del cacao también crecen; de acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, la producción de cacao alcanzó las 230 mil toneladas generando alrededor de 150 mil toneladas de residuos, entre los que se encuentra la cascarilla de cacao.

La cascarilla de cacao es la capa protectora de los granos de cacao y proviene del procesamiento del chocolate y sus derivados, actualmente se usa sobre todo para fertilizantes y alimentos para ganado de acuerdo con el Centro de Investigación y Desarrollo [4].

En este contexto, el insuficiente aprovechamiento de subproductos representa una problemática crítica en empresas que no cuentan con una gestión eficiente de estos materiales. Un ejemplo de ello es la empresa "Wayu Chocolates", ubicada en Tingo María, en la región de la selva peruana, dedicada a la producción de chocolates artesanales. Durante el proceso de descascarillado del cacao, esta empresa genera una cantidad significativa de cascarilla como subproducto. No obstante, no maximiza el uso de este material, lo que no solo representa un desaprovechamiento de recursos, sino que también afecta negativamente la sostenibilidad económica y ambiental de sus operaciones.

Otro subproducto con alto potencial es la fécula de papa, también conocida como chuño, un producto tradicional derivado de este tubérculo que se encuentra disponible en los Andes. Esta fécula destaca como un aditivo natural con potencial para mejorar las propiedades mecánicas y estructurales de los films biodegradables, incrementando así su aplicabilidad [5]. Este enfoque se enmarca en los principios de la economía circular, en la cual los residuos se transforman en productos de valor agregado. Este modelo resulta particularmente relevante en la producción agrícola, que genera grandes cantidades de residuos orgánicos con alto potencial de aprovechamiento, como es el caso del cacao y la papa [6].

Por ello, la cascarilla de cacao, un subproducto de la industria chocolatera que habitualmente se desecha, surge como una fuente interesante para la producción de films biodegradables. Mediante la extracción de celulosa de esta cascarilla, y con la incorporación de agentes plastificantes como la glicerina, así como la incorporación de fécula de papa, es posible desarrollar films biodegradables con las propiedades mecánicas y de flexibilidad necesarias para sustituir al plástico convencional. Estos films podrían ser utilizados en el empaquetado de alimentos y otros productos, contribuyendo a la reducción de la contaminación por plásticos y creando oportunidades económicas para las regiones productoras de cacao [7].

El presente trabajo evalúa la producción de films biodegradables como solución al deficiente aprovechamiento de recursos, al transformar un residuo en un subproducto con un alto valor agregado. Otros estudios sobre la cascarilla de cacao, aunque limitados, indican que esta posee un porcentaje de celulosa suficiente para su utilización como materia prima en la elaboración de films biodegradables. Autores como Yeoup Chung [8] concluyen que la cascarilla de cacao presenta aproximadamente 26.38 g de lignina, 24.24 g de celulosa y 8.72

g de hemicelulosa, cantidades que resultan apropiadas para la elaboración del film, dado que la celulosa constituye la materia prima principal para dicho propósito.

II. METODOLOGÍA

A. Determinar la cascarilla de cacao y su composición lignocelulósica

En primer lugar, se determinó la cantidad de cascarilla de cacao generada por la empresa Wayu Chocolates. Posteriormente, se evaluó la composición lignocelulósica de la cascarilla de cacao de la variedad Forastero utilizada por dicha empresa. Para ello, se adoptó un enfoque cuantitativo, siguiendo la metodología de investigación propuesta por Hernández Sampieri [9], a fin de registrar y analizar la producción mensual de cascarilla de cacao. Asimismo, se calculó el porcentaje que representa la cascarilla respecto al peso total del fruto, y se elaboró un histograma para la visualización de los datos.

El muestreo fue de tipo no probabilístico por conveniencia, seleccionándose tres muestras de 100 gramos de cascarilla de cacao de la variedad Forastero, de acuerdo con el procedimiento empleado por Yeoup Chung, KenJi y Kang Wan Han. Las muestras fueron enviadas al laboratorio Sistemas de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. (SLAB) para el análisis de su composición lignocelulósica, aplicando la técnica ASTM D1104 para la determinación de holocelulosa, el método de Hoffer para hemicelulosa y el método de Kürschner para celulosa. Finalmente, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) con el propósito de validar la significancia de los resultados obtenidos, y se realizaron comparaciones con estudios previos.

B. Metodología para la extracción de celulosa

Para la extracción de celulosa se seleccionó la metodología propuesta por Sierra y Sánchez [10], debido a que este procedimiento presentó un mayor rendimiento, con un 44.9% de extracción de celulosa, en comparación con otras investigaciones. La metodología consiste en el tratamiento de la muestra con hidróxido de potasio (KOH) al 5%, seguido de un proceso de filtrado y lavado hasta alcanzar un pH neutro. Posteriormente, se realiza un blanqueamiento utilizando hipoclorito de sodio al 3% y 2%, a una temperatura de 85 °C durante 20 minutos con agitación constante. Finalizado este proceso, el residuo se lava nuevamente con agua destilada hasta obtener un pH neutro. La etapa final corresponde a la neutralización con ácido acético al 5%, también a 85 °C durante 20 minutos con agitación constante, lo cual permite obtener una celulosa de alta pureza. Por estas razones, dicha metodología fue considerada viable en términos de eficiencia y conformidad con los estándares regulatorios.

Asimismo, se descartó el método propuesto por Escamilla [11] debido al uso de hidróxido de sodio (NaOH) al 20%, un reactivo altamente corrosivo y clasificado como insumo

fiscalizado por la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT) [12], según lo establecido en el Decreto Supremo N.º 268-2019-EF y el Decreto Legislativo N.º 1103.

C. Metodología para elaboración de film biodegradable

En cuanto a la metodología adecuada para la elaboración de biopelículas, se seleccionó el método realizado por Álvarez, debido al enfoque que presenta en la producción de films biodegradables a partir de cascarilla de arroz (*Oryza sativa*). Aunque en su investigación no se empleó cascarilla de cacao, su metodología resultó relevante debido a la similitud en el proceso de extracción de celulosa y formulación de biopelículas.

De acuerdo con la investigación de Álvarez [13] la proporción óptima de celulosa a glicerina en la producción de biopelículas a partir de cascarilla de arroz oscila entre un 6 % y un 10 %, logrando así el mayor rendimiento del material. En este proceso, es un paso fundamental la extracción de celulosa y posteriormente una mezcla de los insumos seleccionados, esto logrado mediante una tabla de diseño experimental factorial; finalmente, dando como resultado una relación entre la concentración de celulosa y glicerina con las características del bioplástico, por lo que, un aumento en la concentración de celulosa aumentaría su densidad y humedad. Por el contrario, una mayor concentración de glicerina disminuye la humedad.

III. RESULTADOS

Para la obtención de los resultados, se realizaron reuniones con el gerente general de la empresa Wayu Chocolates, el Sr. Juan Iman, a quien se le solicitaron informes y registros del procesamiento mensual de cacao correspondientes al periodo comprendido entre enero de 2023 y agosto de 2024. En la Figura 1 se presenta un histograma que muestra el volumen mensual de cacao procesado por la empresa, así como la cantidad estimada de cascarilla de cacao generada. A partir de la información recolectada, y tras una revisión de la literatura especializada, se identificó en el trabajo de García J y Quintana F [14] que indica que la proporción de cascarilla de cacao con respecto al fruto entero es aproximadamente del 12 %. Con base en este valor referencial, se estimó que la empresa Wayu Chocolates genera, en promedio, 127 kilogramos de cascarilla de cacao mensualmente.

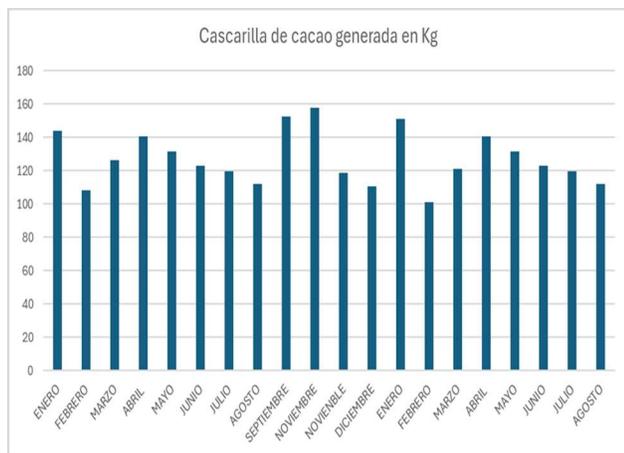


Fig.1 Histograma de cascarilla de cacao generada por la empresa “Wayu Chocolates”.

Para determinar la composición lignocelulósica de la cascarilla de cacao, se seleccionaron 100 g de cascarilla por muestra, con un total de tres muestras. Esta cantidad se estableció tomando como referencia los estudios de Yeoup Chung y Cevallo Vera [15], quienes utilizaron la misma cantidad para su análisis, permitiendo así una comparación directa de los resultados obtenidos. Además, los 100 g representan la cantidad mínima requerida por el laboratorio “Sistemas de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. SLAB” para realizar el análisis correspondiente. En la Tabla I, se muestran los resultados obtenidos por el laboratorio respecto al contenido de humedad, celulosa, holocelulosa, hemicelulosa, lignina y extracción soluble. Por último, para que tenga una relevancia estadística se realizó un análisis estadístico de varianza y límite superior e inferior.

TABLA I
Resultados de composición lignocelulósica de la cascarilla de cacao

Parámetro	Unidad	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3
Humedad	%	11.02	11.56	13.21
Celulosa	%	55.22	55.03	53.18
Holocelulosa	%	61.98	60.23	57.63
Hemicelulosa	%	5.76	5.42	6.48
Lignina	%	39.61	39.77	40.34
Extracción Soluble	%	7.62	7.21	7.14

Nota: Muestras de la cascarilla de cacao de la variedad forastero.

El análisis de laboratorio permitió demostrar que en 100 gramos de cascarilla de cacao de variedad forastero hay un promedio de 54.61% de celulosa; seguido de la lignina con un 39.91% y, finalmente, la hemicelulosa promediando un 5.81%.

Dado que se observó una varianza baja, significa que hay poca dispersión o variabilidad entre los datos individuales; esto demuestra que la cascarilla de cacao es un material ideal para la producción de films biodegradables debido a su alto nivel de celulosa.

Para la elaboración de los films biodegradables, se diseñó un conjunto de corridas experimentales con la finalidad de analizar el efecto de dos variables independientes: la cantidad de celulosa y glicerina. En este diseño, se mantuvieron constantes otros componentes necesarios en la formulación del film, como la fécula de papa, el agua y el ácido acético. La distribución de estos factores se presenta en la Tabla II. Asimismo, se realizaron cuatro tratamientos con dos repeticiones cada uno, siguiendo un diseño factorial $2k^2$ utilizado en la investigación de Álvarez para las dos variables y sus efectos.

TABLA II
Diseño de investigación elaboración del film biodegradable

Corridas experimentales	Variables independientes (g)	Constantes			
		Cantidad de celulosa (g)	Cantidad de Glicerina (ml)	Fécula de papa (g)	Agua (ml)
1	4	10	15	50	15
2	4	20	15	50	15
3	8	10	15	50	15
4	8	20	15	50	15
5	4	10	15	50	15
6	4	20	15	50	15
7	8	10	15	50	15
8	8	20	15	50	15

Las ocho muestras fueron elaboradas siguiendo un modelo sencillo; después del proceso de extracción de celulosa, se combinaron los elementos y cantidades indicadas en la Tabla II a una temperatura constante de 40 °C en un vaso de precipitados durante 30 minutos, hasta obtener una pasta uniforme. Esta pasta se colocó cuidadosamente en placas Petri y se dejó secar por dos días.

Posterior al secado, se examinó su rendimiento de material en la Tabla III, mediante la fórmula utilizada en la metodología de Álvarez, donde $R (\%) = \text{Masa del film biodegradable} / \text{masa de insumos}$.

TABLA III
Tabla de resultados de Rendimiento

	Masa del Film Biodegradable (g)	Masa Total de los insumos(g)	Rendimiento (%)
Muestra 1 (4g celulosa- 10 ml glicerina)	4	14	28.57
Muestra 2 (4g celulosa- 20 ml glicerina)	9	24	37.50

Muestra 3 (8g celulosa – 10 ml glicerina)	5	18	27.78
Muestra 4 (8 g celulosa - 20 ml glicerina)	4	28	14.29
Muestra 5 (4g celulosa- 10 ml glicerina)	4	14	28.57
Muestra 6 (4g celulosa- 20 ml glicerina)	6	24	25.00
Muestra 7 (8 g celulosa – 10 ml glicerina)	6	18	33.33
Muestra 8 (8 g celulosa - 20 ml glicerina)	5	28	17.86

De acuerdo con los datos de la Tabla III, el rendimiento promedio de los films biodegradables fue de 26.6 %. Esta variabilidad se atribuye a las proporciones de glicerina y celulosa utilizadas. Se observó que las muestras con 4 g de celulosa presentaron rendimientos más altos en comparación con las muestras que contenían 8 g de celulosa. En particular, la muestra 2 (4 g de celulosa y 20 ml de glicerina) obtuvo el mayor rendimiento con un 37.50 %, mientras que la muestra 4 (8 g de celulosa y 20 ml de glicerina) presentó el menor rendimiento con un 14.29 %. Estos resultados sugieren que un mayor contenido de celulosa podría reducir el rendimiento del film biodegradable, posiblemente debido a la influencia de la glicerina en la estructura del material.

Finalmente se analizó el porcentaje de humedad que llegan a alcanzar los films biodegradables, en la Tabla IV se presentan los resultados obtenidos para la humedad de las diferentes muestras de films biodegradables. Para los resultados de porcentaje de humedad se utilizó la siguiente fórmula, $porcentaje\ de\ humedad = \frac{M1-M2}{M1} * 100$, donde “M1” es masa en gramos de la muestra antes del secado y “M2” es la masa en gramos de la muestra después del secado.

TABLA IV
Resultados de humedad

	Masa de la muestra antes del secado (g)	Masa de la muestra después del secado (g)	Humedad
Muestra 1 (4g celulosa- 10 ml glicerina)	4	3.5	12.5%
Muestra 2 (4g celulosa- 20ml glicerina)	9	6.4	28.9%
Muestra 3 (8g celulosa – 10 ml glicerina)	5	4.2	16 %

Muestra 4 (8 g celulosa - 20ml glicerina)	4	3.1	22.5 %
Muestra 5 (4g celulosa- 10 ml glicerina)	4	3.7	7.5 %
Muestra 6 (4g celulosa- 20ml glicerina)	6	4.8	20%
Muestra 7 (8 g celulosa – 10 ml glicerina)	6	5.1	15 %
Muestra 8 (8 g celulosa - 20 ml glicerina)	5	3.9	22%

Los resultados de la Tabla IV indican que el nivel de humedad promedio en las muestras fue de 18.05 %. Se observó que las muestras con menor contenido de glicerina (10 ml) presentaron valores de humedad más bajos, con un rango entre 7.5 % y 16 %. En contraste, las muestras con mayor contenido de glicerina (20 ml) alcanzaron porcentajes más elevados, llegando hasta un 28.9 % en el caso de la muestra 2. Estos resultados reflejan que el contenido de glicerina influye directamente en la retención de humedad de los films biodegradables, lo cual podría afectar sus propiedades físicas y su estabilidad.

Finalmente, se procedió al cálculo de la densidad, una propiedad física fundamental para evaluar la compactación y estructura del material elaborado. En la presente investigación se determinaron los valores de densidad de las ocho muestras de films biodegradables, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla V.

Para los resultados de densidad se utilizó la siguiente fórmula, $p = \frac{m\ Film}{v\ (volumen)}$, donde “m” es la masa del film y “v” es el volumen del film. Asimismo, para las mediciones se utilizó una balanza electrónica y una probeta de 100 mL.

TABLA V
Resultados de densidad

	Masa del Film biodegradable (g)	Volumen del Film biodegradable (ml)	Densidad
Muestra 1 (4g celulosa- 10 ml glicerina)	4g	14 ml	0.67
Muestra 2 (4g celulosa- 20ml glicerina)	9g	6ml	1.5
Muestra 3 (8g celulosa – 10 ml glicerina)	5g	4ml	1.25

Muestra 4 (8 g celulosa - 20ml glicerina)	4g	2ml	2
Muestra 5 (4g celulosa- 10 ml glicerina)	4g	4ml	1
Muestra 6 (4g celulosa- 20ml glicerina)	6g	4ml	1.5
Muestra 7 (8 g celulosa - 10 ml glicerina)	6g	4ml	1.5
Muestra 8 (8 g celulosa - 20 ml glicerina)	5g	4ml	1.25

Los valores de densidad obtenidos presentan una variabilidad significativa en función de la composición de los films. Se observa que la muestra con mayor densidad (2 g/ml) corresponde a la formulación con 8 g de celulosa y 20 ml de glicerina (Muestra 4), mientras que la menor densidad (0.67 g/ml) se registró en la Muestra 1, que contiene 4 g de celulosa y 10 ml de glicerina. Esto sugiere que un mayor contenido de celulosa y una reducción del volumen final del film generan una estructura más compacta, incrementando la densidad.

Los resultados indican que la densidad del film biodegradable está influenciada tanto por la cantidad de celulosa como por el contenido de glicerina, con una relación más pronunciada cuando se incrementa la proporción de celulosa. Estos hallazgos son relevantes para la optimización del material, ya que una mayor densidad podría estar relacionada con una mejor resistencia mecánica y menor permeabilidad, aspectos fundamentales en el desempeño de films biodegradables.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos sobre la generación de cascarilla de cacao en la empresa “Wayu Chocolates” muestran que, en promedio, se generan 127 kg de cascarilla de cacao al mes, lo que representa aproximadamente el 12% del peso total del fruto procesado. Este porcentaje es consistente con datos reportados en la literatura, lo que valida la estimación realizada en el estudio. Sin embargo, se observa una variabilidad en la cantidad mensual de cascarilla generada, lo que podría atribuirse a fluctuaciones en la producción de cacao de la empresa debido a factores estacionales y disponibilidad de materia prima. En cuanto al análisis lignocelulósico, la selección de 100 g de cascarilla por muestra permitió establecer un criterio estándar de comparación con estudios previos, como los realizados por Yeoup Chung y Cavallo Vera, esta cantidad también fue adecuada para cumplir con los requisitos del laboratorio de análisis químico, asegurando la validez y confiabilidad de los resultados.

Los resultados de laboratorio revelan diferencias en la composición de la cascarilla de cacao en comparación con los estudios de Yeoup Chung y Díaz Oviedo, donde la lignina figura como el componente principal con 26.38 % y 43.6% respectivamente, seguida de la celulosa y la hemicelulosa, este resultado es altamente favorable, ya que optimiza significativamente la elaboración del film biodegradable. A mayor concentración de celulosa en la cascarilla de cacao, mayor será la cantidad que se podrá extraer y utilizar para el film, lo que redundará en mejores características del producto final. Por otro lado, las diferencias entre los resultados de los autores pueden deberse a aspectos no medidos o conceptuados en el estudio que lleguen a afectar la celulosa, procesos como el tipo de descascarillado, tiempo de fermentación, o tipo de secado. Sin embargo, el estudio se mantiene en que la cascarilla de cacao es óptima para la elaboración del film por sus propiedades lignocelulósicas.

Propiedades del film

La evaluación de las propiedades de los films biodegradables a base de cascarilla de cacao revela que las proporciones de celulosa y glicerina influyen significativamente en el rendimiento de material, la humedad y su densidad, ya que respecto de los resultados obtenidos en nuestro estudio, se observó que el rendimiento promedio de los films fue del 26.6%, lo cual supera al 22.748% reportado por Cando Sinaluisa, pero es inferior al 50% obtenido por Álvarez utilizando cascarilla de arroz, esta variabilidad en los resultados se atribuye no solo a las proporciones específicas de celulosa y glicerina empleadas en la formulación de los films biodegradables, sino también a las diferencias en la composición química entre la cascarilla de arroz y la cascarilla de cacao.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos evidencian que las proporciones de celulosa y glicerina tienen una influencia significativa en las propiedades físicas de los films biodegradables elaborados con cascarilla de cacao y fécula de papa. Se observó también que un mayor contenido de celulosa incrementa tanto la densidad como la humedad del film, comportamiento que difiere de lo reportado en estudios previos relacionados con el nuestro, lo cual podría atribuirse a diferencias en la composición química de las materias primas. Asimismo, la glicerina actuó como plastificante, aumentando la flexibilidad y la capacidad de absorción de agua, comportamiento consistente con investigaciones anteriores.

El rendimiento promedio obtenido (26.6%) fue superior al de algunos estudios similares pero inferior al de otros, lo que resalta la importancia de optimizar las formulaciones, los procesos de extracción y procesamiento para cada tipo de cascarilla. Estas diferencias subrayan el papel crucial de las características propias de la materia prima en las propiedades de los films biodegradables y destacan el potencial

de la cascarilla de cacao como recurso valioso para el desarrollo de alternativas sostenibles al plástico convencional, por lo que la aplicación de este tipo de biomateriales no solo contribuiría a la reducción del impacto ambiental generado por los plásticos convencionales, sino que también impulsaría la valorización de residuos agroindustriales dentro de un modelo de economía circular.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro profundo agradecimiento al Dr. Samuel Astete por su valiosa orientación y asesoramiento durante el desarrollo de esta investigación. Asimismo, agradecemos a la empresa Wayu Chocolates por su colaboración y aporte en la recolección de información. Finalmente, extendemos nuestra gratitud a nuestras familias por el apoyo incondicional y la motivación brindada a lo largo de este proyecto.

REFERENCIAS

[1] Banco Mundial, “Los desechos 2.0: Un panorama mundial de la gestión de desechos sólidos hasta 2050.” Accessed: Jun. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/news/infographic/2018/09/20/wat-a-waste-20-a-global-snapshot-of-solid-waste-management-to-2050>

[2] Ministerio del Ambiente, “Problemática - Orientación - Ministerio del Ambiente - Plataforma del Estado Peruano.” Accessed: Jan. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.gob.pe/58443-problematika>

[3] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), “En el Perú más de 100 mil familias se dedican al cultivo de cacao en 16 regiones - Plataforma del Estado Peruano.” Accessed: Jun. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/52030-minagri-en-el-peru-mas-de-100-mil-familias-se-dedican-al-cultivo-de-cacao-en-16-regiones>

[4] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), “Observatorio de COMMODITIES.” Accessed: Jun. 19, 2024. [Online]. Available: https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/1363/1/Commodities%20Cacao_%20abr-jun%202022.pdf

[5] UNESCO, “Chuno, sabiduría alimentaria andina (DPI) | Unesco.” Accessed: Jan. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.unesco.org/tich4sd/es/peru/chuno>

[6] V. M. Cando Sinaluisa, “OBTENCIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO (Theobroma cacao.L.)” 2021.

[7] V. Siracusa, P. Rocculi, S. Romani, and M. D. Rosa, “Biodegradable polymers for food packaging: a review,” *Trends Food Sci Technol*, vol. 19, no. 12, pp. 634–643, Dec. 2008, doi: 10.1016/J.TIFS.2008.07.003.

[8] B. Yeoup Chung, I. Kenji, and K. Kang Wan Han, “Compositional Characterization Of Cacao (Theobroma Cacao L.) Hull - Journal of Applied Biological Chemistry - 한국응용생명화학학회 - KISS.” Accessed: Jun. 23, 2024. [Online]. Available: <https://kiss.kstudy.com/Detail/Ar?key=2050914>

[9] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, and M. del P. Baptista, “Metodología de la investigación (Sexta edición),” 2014.

[10] F. R. G. Sierra and A. Jiménez-Sánchez, “Elaboración de películas biodegradables con policaprolactona y almidóncelulosa de la cáscara de plátano verde (Musa paradisiaca),” *Alimentos Ciencia e Ingeniería*, vol. 28, no. 2, pp. 19–33, Dec. 2021, doi: 10.31243/aci.v28i2.1429.

[11] G. Canché-Escamilla, J. M. De Los Santos-Hernández, S. Andrade-Canto, and R. Gómez-Cruz, “Production of Cellulose from Banana

Plant Agricultural Waste,” *Información tecnológica*, vol. 16, no. 1, pp. 83–88, 2005, doi: 10.4067/S0718-07642005000100012.

[12] Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria, “Listado de Insumos Químico y Bienes Fiscalizados (IQBF) - Informes y publicaciones - Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria - Plataforma del Estado Peruano.” Accessed: Jun. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/sunat/informes-publicaciones/1430728-listado-de-insumos-quimico-y-bienes-fiscalizados-iqbf>

[13] M. Alvarez, N. Chavez, and F. Quispe, “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CANTIDAD DE CELULOSA Y GLICERINA EN LA ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULAS A PARTIR DE CASCARILLA DE ARROZ.” Accessed: Jun. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-san-agustin-de-arequipa/investigacion-y-seminario-de-tesis-1/elaboracion-de-biopeliculas-a-partir-de-cascarilla-de-arroz/43781789>

[14] A. García-Jerez, L. F. Quintana-Fuentes, E. Moreno-Martínez, A. García-Jerez, L. F. Quintana-Fuentes, and E. Moreno-Martínez, “Determinación del índice de grano y del porcentaje cascarilla de los genotipos de cacao regionales FSV41, FEAR5 y FLE2 y genotipo universal CCN 51,” *Ingeniería y competitividad*, vol. 24, no. 2, 2022, doi: 10.25100/IYC.V24I2.11420.

[15] A. G. Cevallos Vera, “Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del papel kraft obtenido a partir de la biomasa lignocelulósica de la cascarilla de cacao (Theobroma cacao L.) tras someterse a un proceso de blanqueo con peróxido de hidrógeno.” Jun. 2024, Accessed: Oct. 23, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/22667>