

Almidón obtenido a partir de la cáscara de plátano de adquisición comercial como materia prima para la obtención de bioplástico

Starch obtained from commercially acquired plantain peel as a raw material for obtaining bioplastic

Valeria Patricia Figueroa Lanza

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: valeria.27637299@uru.edu

María Mercedes Vega Medina

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: maria.29563328@uru.edu

Gladys Ángela Quevedo Contreras

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: gladys.quevedo@uru.edu

Recibido: 17-01-2022

Aceptado: 04-04-2022

Resumen

Se identificaron los métodos de extracción de almidón a partir de la cáscara de plátano por medio de diferentes investigaciones, donde se seleccionó el método seco de Calero, Lapo (2021), ya que fue el más adecuado para su ejecución en el laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta. Se realizó la extracción del almidón para tres muestras, obteniendo un extracto fino de color marrón, el cual se caracterizó realizando análisis fisicoquímicos presentando: una densidad de 0,4566 g/mL, humedad 7,17%, pH 5,54, acidez 0,189% y temperatura de gelatinización 77,33°C. Posteriormente, se realizó la prueba del yodo verificando la presencia de almidón en el extracto mediante su coloración azul. Por último, un laboratorio externo determinó que el extracto obtenido presento un contenido de 72,76% (m/m) de almidón, obteniendo un rendimiento del 7,61%. Se concluyó que el almidón extraído presenta características favorables para su uso como materia prima para bioplástico.

Palabras Clave: Almidón, cáscara, plátano, bioplástico, propiedades fisicoquímicas.

Abstract

Starch extraction methods from plantain peels were identified through different researches, where the dry method of Calero, Lapo (2021) was selected, due to it was the most adequate for its execution in the laboratory of Universidad Rafael Urdaneta. Starch extraction was carried out for three samples, obtaining a fine brown extract, which was characterized by physicochemical analysis showing: density of 0.4566 g/mL, humidity 7.17%, pH 5.54, acidity 0.189% and gelatinization temperature 77.33°C. Subsequently, the iodine test was performed by verifying the presence of starch in the extract through its blue coloration. Finally, an external laboratory determined that the extract obtained contained 72.76% (m/m) of starch, obtaining a efficiency of 7.61%. It was concluded that starch extracted presents favorable characteristics for its use as a raw material for bioplastics.

Key Words: Starch, Peel, plantain, bioplastics, physicochemical properties.

Introducción

Con el transcurrir de los años, el plástico se ha convertido en un material indispensable para el ser humano, ya que es implementado en múltiples aplicaciones, como en la industria, farmacéutica y en artículos para el hogar, sin embargo, es responsable de la gran parte de los residuos contaminantes que se acumulan en el planeta, por el hecho de que generan un gran impacto ambiental, derivado a su largo proceso de degradación, Según datos aportados por la Dirección General de Responsabilidad Social [1], una bolsa de plástico común tarda en degradarse 150 años y una botella de polietileno tereftalato más de 1.000 años.

Por lo tanto, el uso de plástico es insostenible y la producción mundial sigue aumentando, se afirma que la situación mundial es dramática [2], donde el plástico alcanzó los 380 millones de toneladas alrededor del mundo en 2015. Asimismo, la Organización de las Naciones Unidas [3] advirtió que, si no se toman las medidas pertinentes, para el 2050 existirán cerca de 12.000 millones de toneladas de desechos plásticos repartidos en vertederos y en el océano.

En razón a lo anterior, resulta necesario la búsqueda de alternativas que permitan reducir los efectos negativos que generan los plásticos convencionales derivados del petróleo, ante esta problemática surgen los plásticos producidos a base de materiales biológicos. Acciona [4] afirma que, como alternativa, actualmente se está impulsando el empleo de bioplásticos, los cuales consisten en conseguir polímeros naturales a partir de residuos agrícolas, celulosa o almidón de patata o maíz.

El almidón se ha convertido en objeto de estudio en los últimos años, este es un polisacárido, conformado por la amilosa, un polímero lineal y un polímero ramificado conocido como amilopectina Hurtado [5]. Además, Tupa [6] menciona que el almidón es uno de los biopolímeros naturales más abundantes de la naturaleza, el cual ha sido ampliamente estudiado debido a su bajo costo, biodegradable y disponibilidad. Puede ser encontrado en cereales, legumbres, frutas, tubérculos y leguminosas.

Sin embargo, emplear estos alimentos como fuente para la obtención de almidón, podría generar una escasez de los alimentos destinados en principio para el consumo de la población mundial. En la actualidad la Zona Sur del Lago de Maracaibo es la principal productora de plátano en Venezuela, según Olivo *et al.* [7] esta zona constituye más del 60% de la producción nacional del mismo, además, según se conoce que la cáscara de este contiene hasta un 50% de almidón en base seca, permitiendo el aprovechamiento del almidón contenido en el desecho de la fruta, sin afectar el consumo de la población.

Por esta razón, Figueroa y Vega [8] plantean analizar el Almidón obtenido de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial como materia prima para la obtención de bioplástico, aprovechando de esta manera el residuo sin afectar el alimento destinado para el consumo de la población, generando una alternativa biodegradable y eco amigable.

Para la cual, por medio de la recopilación de investigaciones relacionadas, se busca conocer los métodos de extracción de almidón a partir de la cáscara de plátano, así como determinar el más conveniente para su aplicación en el Laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta, realizar la ejecución del mismo y analizar el extracto obtenido de manera fisicoquímica, y por último, analizar su uso como materia prima para la producción de bioplásticos.

El presente artículo deriva del trabajo especial de grado desarrollado por Figueroa y Vega [8] titulado almidón obtenido de la cáscara de plátano de adquisición comercial como materia prima para la obtención de bioplástico.

Materiales y Métodos

Se recopiló información de las investigaciones de García [9], Pizá *et al* [10]. Sayddi *et al.* [11]. Calero y Lapo [12] relacionada con la extracción de almidón contenido en la cáscara de plátano verde, donde se seleccionó el método más conveniente para su aplicación en el Laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta. Lo cual se llevó a cabo a través de una investigación de tipo descriptiva, aplicada y cuantitativa, con un diseño documental y experimental que derivaron del trabajo especial de grado de Figueroa y Vega [8]

En la cual se estudió el plátano verde de adquisición comercial, donde específicamente el almidón contenido en la cáscara de plátano verde, representó la unidad de análisis. Se aplicó observación directa e indirecta, y análisis documental como técnicas de recolección de datos. Como instrumento de recolección de datos se utilizaron formatos de tablas para el registro de información y resultados, así como una lista de cotejo para la selección del método más adecuado.

Identificación de los métodos de extracción de almidón a partir de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial

Primeramente, se llevó a cabo una recopilación de las fuentes de información, revisando y recolectando todos aquellos Trabajos de Investigación, que presentarán información relacionada con la extracción del Almidón presente en la cáscara de plátano, se registró su información básica, y por último se recopiló el rendimiento, tiempo de ejecución y equipos empleados en el desarrollo de cada investigación.

Selección del método de extracción de almidón a partir de la cáscara de plátano factible en los laboratorios de la Universidad Rafael Urdaneta

Con las investigaciones recopiladas en el apartado anterior, se realizó una comparación de los métodos de cada una de ellas en función de los indicadores a considerar como rendimiento, tiempo de ejecución y equipos, los cuales permitieron, a través de una lista de cotejo, la selección del método adecuado para la extracción del Almidón a partir de la Cáscara de Plátano en el laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta.

Extracción del almidón presente en la cáscara de plátano verde de adquisición comercial en los laboratorios de la Universidad Rafael Urdaneta

Para llevar a cabo la extracción del almidón contenido en la cáscara de plátano verde, se adquirió la materia prima en el mercado Fresconi Fresh Market ubicado en la ciudad de Maracaibo. Los plátanos seleccionados presentaron piel firme de color verde característico de la etapa de inicio de maduración y su masa osciló entre 300 y 420 gr. Una vez seleccionada la materia prima, se realizó el lavado de las cáscaras con agua potable, para eliminar los residuos que contenían, seguidamente se empleó un cuchillo de acero inoxidable, para separar las cáscaras de la pulpa del plátano.

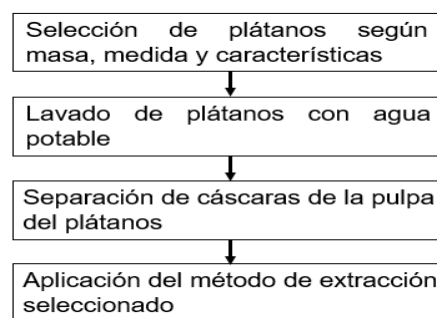


Figura 1. Flujograma del procedimiento experimental para la extracción [8]

Una vez separadas las cáscaras de la pulpa de los plátanos, se procedió a realizar la aplicación del método de extracción seleccionado. En la Figura 1, se presentan los pasos a seguir para la extracción del almidón, donde en primera estancia se detallan los pasos previos de preparación de la materia prima, y por último el paso de aplicación del método de extracción seleccionado, el cual conlleva todas las operaciones de separación para dicho método.

Medición de las propiedades fisicoquímicas del extracto obtenido a partir de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial

Finalizada la extracción se realizó el análisis físico químico del extracto obtenido, para ello se determinó su Densidad, Humedad pH, Acidez y Temperatura de Gelatinización. La densidad fue determinada empleando

la técnica descrita por Smith [13], la humedad se determinó a partir de la metodología descrita por Acosta *et al.* [14], para el análisis de pH se aplicó el método descrito por ISI [15], la acidez a partir de la técnica descrita por Smith [13] y, por último, la temperatura de gelatinización se midió aplicando el método descrito por Grace [16].

Análisis del rendimiento del almidón obtenido a partir de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial

El extracto obtenido fue analizado, primeramente, mediante la realización de la prueba cualitativa, en este caso denominada prueba del yodo, siguiendo la metodología descrita por Hernández *et al.* [17] hasta observar el cambio de color de la solución, presentando una coloración azul como reacción positiva en el caso de la presencia del almidón, haciendo uso de una solución de yodo. Una vez obtenido el resultado de la prueba cualitativa, se llevó a cabo una segunda prueba, en este caso cuantitativa, para la determinación de la cantidad exacta de almidón en el extracto obtenido, a través de un laboratorio externo ubicado en la ciudad de Maracaibo. Por último, con el resultado obtenido en la prueba cuantitativa se aplicó la metodología de Calero y Lapo [12] para la determinación del rendimiento.

Resultados y Discusión

Identificación de los métodos de extracción de almidón a partir de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial

Tras una búsqueda exhaustiva, se recopilaron las fuentes de información relacionadas con la extracción del Almidón presente en la cáscara de plátano, dando como resultado la Tabla 1, donde se registró la información básica de las investigaciones, esta tabla permitió observar de una manera organizada la información básica de las investigaciones recopiladas.

Tabla 1. Trabajos relacionados a la extracción de Almidón presente en la cáscara de plátano [8]

	Título de la investigación	Autores	Año y lugar de publicación	Tipo de Investigación
1	Determinación de concentración óptima de Ácido Acético-Glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del Almidón de cáscara de Plátano (musa paradisiaca) en Pucallpa	Iber García	2017 Perú	Tesis
2	Análisis experimental de la Elaboración de Bioplástico a partir de la Cáscara de Plátano para el Diseño de una Línea de Producción Alternativa para las Chifleras de Piura, Perú	Hamlet Pizá, Sophia Rolando, Claudia Ramírez, Stephanie Villanueva, Ana Zapata	2017 Perú	Proyecto de Investigación
3	Análisis Potencial de Productos Biopoliméricos como Materia Prima para Elaborar Empaques Biodegradables	Sayddi Salazar y Melanie Ñahui	2019 Perú	Trabajo de investigación
4	Diseño de una línea de producción de envases biodegradables a partir de bioplástico, aprovechando residuos del Plátano (Musa Paradisiaca) con aplicación para el uso de empaquetado de alimentos.	Mabel Calero, Esthela Lapo	2021 Ecuador	Proyecto de Investigación

La Tabla 1, se describe la información referencial y el enfoque de cada estudio; además, se presentan los autores de cada investigación, así como el año de publicación el cual es de vital importancia, para determinar si se trata de información actualizada. Por otro lado, también se presentó el tipo de investigación, siendo de relevancia para indicar el grado de profundidad del estudio.

Para la selección del método más apropiado, fue necesario primero conocer el rendimiento obtenido para cada Método de Extracción de las diferentes Investigaciones, el tiempo de ejecución, y los equipos empleados, con el fin de evaluar los métodos lo cual se dio a conocer en la Tabla 2.

Tabla 2. Indicadores recopilados de las investigaciones [8]

N°	Método de Extracción	Rendimiento de Almidón (%)	Tiempo de ejecución (h)	Equipos
1	Método Húmedo descrito por (Flores-Gorosquera et al., 2004) con modificaciones realizadas por (García 2017)	8.32%	29.15	Tamiz N° 225 y 270 Estufa de +30 °C a +300 ° Cocina eléctrica, Micrómetro de 0-2.6 mm Licuadora industrial Balanza digital Balanza analítica Tela Fina (tocuyo) pH metro
2	Método Seco (Pizá et al.2017)	No especifica	25.25	Tamiz 250 um Cocina eléctrica Molino de Maíz Termómetro Balanza Digital Mortero de Cerámica
3	Método Seco (Castillo et al.2015)	No especifica	No especifica	Tamiz Horno de estufa Parrilla Unidad manual de Molienda Termómetro
4.1	Método Seco (Calero, Lapo 2021)	14,15% y 11,81%	2.5	Tamiz 250 um Horno Estufa Molino Manual Gramera Digital Termómetro
4.2	Método Húmedo (Calero, Lapo 2021)	7,3% 6,8%	36.5	Malla Licuadora Termómetro Gramera Digital

Por medio de la Tabla 2 se expresó los resultados del rendimiento de cada método de extracción, donde se observó que el Método No. 2 y 3 no desarrolló este análisis por otro lado los métodos húmedos presentaron un menor rendimiento del almidón, esto es debido a la concentración de agua en las cáscaras. Por lo tanto, el rendimiento representó un factor relevante para la selección del método de extracción más eficiente.

También, el tiempo de ejecución fue expresado en la tabla, dado que, el tiempo de ejecución estimado es considerado un factor de suma importancia para la selección del método de extracción de la presente investigación, ya que permitió precisar un estimado de tiempo para aplicar en el laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta, tras analizar los datos se concretó que el método 4.1 presentó el menor tiempo de ejecución, con el mayor rendimiento de todas las investigaciones.

Asimismo, los equipos empleados necesarios para la extracción del almidón de la cáscara de plátano, lo que permitió determinar si estos se encontraban disponibles o en su defecto era posible su alcance para la ejecución del método de extracción.

Selección del método de extracción de almidón a partir de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial factible en los laboratorios de la Universidad Rafael Urdaneta

A partir de la Tabla 3, se presentaron los criterios a evaluar en cada método de las investigaciones recopiladas para realizar en los laboratorios de la Universidad Rafael Urdaneta, donde se evaluaron en función de sus ventajas, tomando en cuenta los indicadores, como rendimiento, tiempo de ejecución y equipos, los cuales permitieron determinar con efectividad el método más adecuado. La lista de cotejo presentada en la Tabla 3 fue completada a partir del análisis de los datos obtenidos en las Tabla 3.

La información recopilada a través de las investigaciones permitió realizar un análisis de los métodos presentados para una adecuada selección. En la Tabla 3, se dieron a conocer los criterios a evaluar cada método de acuerdo a los indicadores como rendimiento, tiempo de ejecución y equipos empleados.

Tabla 3. Lista de cotejo para la selección del método de extracción [8]

N°	INDICADORES	MÉTODOS				
		1	2	3	4.1	4.2
1	Los equipos empleados para la ejecución del método se encuentran en el Laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta	NO	NO	NO	NO	NO
2	Los equipos no disponibles en el Laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta pueden ser sustituidos	SI	SI	SI	SI	SI
3	Los materiales empleados en el método son de fácil acceso	SI	SI	SI	SI	SI
4	El rendimiento obtenido en el método se considera beneficioso	NO	-	-	SI	NO
5	El tiempo de ejecución es adecuado en relación con el rendimiento obtenido	NO	NO	-	SI	NO
6	Se encuentra detallado el procedimiento a emplear en el Método	SI	SI	NO	SI	SI

¹ García ² Pizá et. al ³ Salazar, Ñahui ^{4.1} Calero, Lapo ^{4.2} Calero, Lapo

La lista de cotejo de la Tabla 3 fue completada, y permitió observar con claridad la metodología más conveniente para ejecutar en la investigación de Figueroa y Vega [8], donde se observó que el Método 4.1, es decir el Método Seco de Calero y Lapo [12], cumplió con la mayoría de los criterios planteados.

Analizando la lista de cotejo, los equipos empleados para la ejecución del método no se encontraban disponibles sin embargo pueden ser sustituidos por otros similares que cumplan la misma función y sea posible su alcance. El método seleccionado emplea materiales de fácil acceso lo cual fue corroborado a partir de la lista de cotejo. Además, fue evaluado el rendimiento, un factor sumamente importante, donde el resultado obtenido por Calero y Lapo [12] se consideró beneficioso, a su vez el tiempo de ejecución para el mismo se consideró adecuado en relación al rendimiento obtenido, siendo posible su aplicación tomando en cuenta la situación actual de pandemia.

Extracción del almidón presente en la cáscara de plátano verde de adquisición comercial en los laboratorios de la Universidad Rafael Urdaneta

Finalizada la selección del método, se procedió a realizar la ejecución del mismo, para ello se adquirieron 15 plátanos, los cuales en su totalidad presentaron una masa de 5,258 Kg de plátano, esta cantidad fue dividida en 3 muestras para realizar su análisis, resultando 5 plátanos por cada muestra con el fin de obtener suficiente cantidad de almidón, para la realización de los análisis fisicoquímicos posteriores.

Tabla 4. Masa de materia prima seleccionada [8]

Muestra	Cantidad de Plátanos	Masa (g)
1	5	1,67
2	5	1,701
3	5	1,887

Seguidamente, la materia prima a emplear fue preparada, lavando las cáscaras con agua potable, esto se realizó en el laboratorio de química de la Universidad Rafael Urdaneta, para eliminar los residuos de las mismas, seguidamente se empleó un cuchillo de acero inoxidable, para separar las cáscaras de la pulpa del plátano.

Tabla 5. Masa medida para cada muestra [8]

Muestra	Masa del Plátano (g)	Masa de las Cáscaras (g)	Masa de la pulpa (g)
1	1,67	477	1,193
2	1,701	480	1,221
3	1,887	488	1,399

Al finalizar la separación de las cáscaras de la pulpa del plátano, se midió la masa obtenida de las cáscaras de cada muestra, los valores obtenidos se registraron en la Tabla 5 con el fin de emplear estos datos, en las siguientes fases para su análisis.

Una vez preparada la materia prima se comenzó con la aplicación del método de extracción seleccionado, en este caso el Método Seco de Calero y Lapo [12], para ello, se siguieron los pasos presentados en la Figura 2.

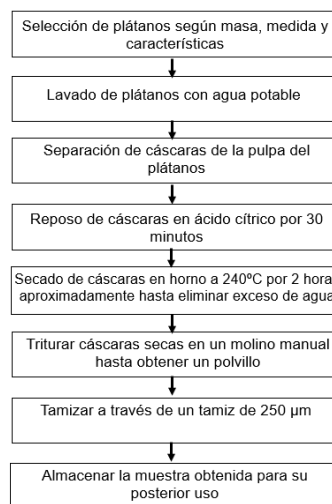


Figura 2. Flujograma del Método de extracción empleado en la presente investigación [8]

Las cáscaras separadas de la pulpa fueron sumergidas en un recipiente con agua destilada y ácido cítrico, este fue preparado al 2%, siguiendo la teoría de García [9], puesto que, en la metodología descrita por Calero y Lapo [12] no proporcionó especificaciones acerca de la concentración de ácido cítrico empleado. Cada muestra en recipientes separados se mantuvo en reposo por un tiempo de 30 minutos, lo que permitió la inhibición del proceso de oxidación.

Siguiendo con la metodología descrita por Calero y Lapo [12] se secaron las cáscaras empleando un horno a una temperatura de 240°C, cada muestra separada en bandejas se introdujo en el horno por un tiempo aproximado de 2 horas, sin embargo, las muestras 1 y 2 al cabo de 2 horas no se encontraban completamente secas por lo que su tiempo fue extendido como se observa en la tabla 6, para garantizar que las cáscaras se secaran completamente.

Tabla 6. Masa obtenida y Tiempo de secado de las cáscaras [8]

Muestra	Masa de las cáscaras antes del secado (g)	Masa de las cáscaras después del secado (g)	Tiempo de secado
1	521	66	2:50
2	533	58	2:40
3	545	84	2:10

En la Tabla 6 se presentan los tiempos de secado para las muestras, se presume que las muestras 1 y 2 tuvieron un tiempo mayor de secado puesto que estas fueron las primeras en ingresar al horno y por lo tanto

posiblemente el equipo no había alcanzado la temperatura establecida, otra posible causa que pudo haber afectado este indicador es la posición en el horno, y su cambio constante para que la misma no se quemara, no le favoreció. Al extraer las muestras del horno, fue medida su masa en una balanza digital, lo cual se registró en la Tabla 6.

Para continuar con la extracción del almidón, se procedió a triturar las cáscaras, para esta actividad el molino manual no se encontraba disponible en el laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta y adicionalmente no se encontraba bajo un posible alcance, por lo tanto, este equipo fue sustituido por el procesador de alimentos modelo NINJA MASTER QB900B, cumpliendo la misma función que el molino manual. El procesador de alimentos se empleó para triturar las muestras previamente secadas, esta operación se realizó para cada muestra por separado, hasta que se obtuvo un polvillo de color marrón de textura granulosa.

Finalizando con el método de extracción, se realizó el tamizado del polvillo obtenido, empleando un tamiz de 250 μm , el cual permitió la separación de los gránulos de diferentes tamaños presentes en cada muestra, esto ocasionó un cambio notorio en la textura de las muestras, obteniendo un polvillo con una textura mucho más fina similar a la de arena, con pequeños gránulos característicos.

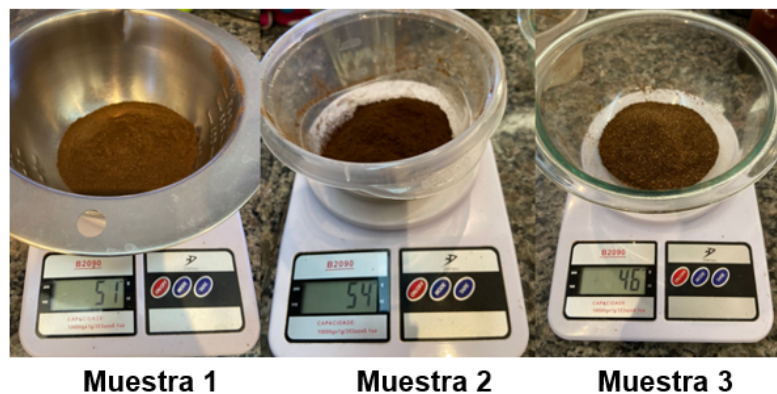


Figura 3. Medición de la masa obtenida después del tamizado [8]

De igual forma, se observaron diferentes tonalidades para las 3 muestras, como se puede observar en la Figura 3, se presume, que esto ocurrió debido a los diferentes tiempos en el horno, así como la posición de las muestras, para realizar el secado total de las cáscaras. De igual forma, se estima que, en el extracto obtenido, adicionalmente aparte del almidón pueden presentarse impurezas de otros componentes como grasas, proteínas y algunas trazas de minerales, lo cual fue analizado en el resto de objetivos.

Tabla 7. Masa obtenida después del tamizado del extracto [8]

Muestra	Masa de las cáscaras después del secado (g)	Masa obtenida después del tamizado (g)
1	66	51
2	58	54
3	84	46

La masa de extracto obtenida para cada muestra fue medida en una balanza digital, obteniendo los valores expresados en la Tabla 7, en líneas generales, las cantidades obtenidas en el tamizado para cada muestra no variaron en gran magnitud, sin embargo, se presume que la cantidad de kilogramos de plátano utilizado para cada muestra y el tamaño del gránulo una vez triturado fueron factores que afectaron la diferencia entre la masa de las muestras.

Como se observó en la Tabla 7, gran parte de la muestra 1 fue tamizada, obteniendo poco residuo, la muestra 2 fue tamizada casi en su totalidad, se presume que, ya que se encontraban más incineradas, las

partículas eran de menor tamaño. Por último, la muestra 3 es la que presentó un mayor residuo, ya que, a diferencia de las muestras anteriores, el tiempo de secado fue menor, por lo tanto, las cáscaras no redujeron tanto su tamaño. Por último, las muestras obtenidas fueron almacenadas en un frasco de vidrio ámbar.

Medición de las propiedades fisicoquímicas del almidón obtenido a partir de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial

Una vez obtenido el extracto de la cáscara de plátano, se realizaron diferentes pruebas para el análisis de sus propiedades fisicoquímicas, iniciando con la determinación de la densidad y humedad del extracto, presentando los resultados obtenidos en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis de Densidad y Humedad del extracto [8]

Muestra	Densidad (g/mL)	Humedad (%)
1	0,4606	7,5
2	0,4591	6,04%
3	0,45	7,98%

La Tabla 8 indica los valores obtenidos de densidad y humedad del extracto, donde se puede observar que, para la densidad de las muestras, estas no presentaron una gran diferencia entre sí, no obstante, con respecto a lo reportado por FAO [18] el almidón presenta una densidad promedio de 1,560 g/mL, sin embargo en la presente investigación este resultado varió para el extracto obtenido, pudiendo deberse a que en este caso no solo se analizó el almidón, ya que en el extracto existían otras impurezas de componentes presentes en el mismo, provenientes de las cáscaras de plátano.

Por otro lado, los resultados de porcentaje de humedad contenido en la muestra presentan ligeras variaciones esto se puede analizar considerando los diferentes tiempos de secado, así como su posición en el horno, como se mencionó anteriormente. Sin embargo, los valores obtenidos se encuentran muy cercanos a los establecidos por Cárdenas [19], para el almidón obtenido a partir de residuos de banano, el cual se encontró en un rango entre 7 y 7,5%. El resultado que varía en mayor magnitud es el de la muestra 2, esto se presume a que debido a la incineración parcial de la misma por la posición en el horno.

Continuando con los análisis fisicoquímicos, se realizó el análisis de pH y próximamente el de Acidez, presentando los datos obtenidos en la Tabla 9, se observó, que en general los valores son similares entre sí, con muy poca variación entre cada muestra, tanto para pH como para acidez.

Tabla 9. Análisis de pH y Acidez del extracto [8]

Muestra	pH	Acidez (%)
1	5.45	0,282
2	5,61	0,252
3	5,57	0,228

Se observó que las medidas de pH del extracto obtenido para cada muestra se encuentran dentro del rango señalado por Holguín [20] citado por Sánchez [21] siendo 4.5 a 6.5 el rango de valores de referencia para los almidones nativos. Lo cual afirma Beltrán *et al.* [22] reportando en su investigación un pH de 5.78 empleado plátano bellaco en estado inmaduro. Los resultados obtenidos demostraron un pH ligeramente ácido, pudiendo deberse al ácido málico, el cual es encontrado en altas proporciones en todas las variedades de plátano.

Con respecto a la acidez obtenida para el extracto, se tiene que Dávila [23] en su investigación, obtuvo para el almidón extraído de plátano bellaco, un porcentaje de acidez de 0.268%. en la Tabla 9 se presentan los valores obtenidos, donde se obtuvieron valores ligeramente menores para la acidez del extracto, lo cual concuerda con lo establecido por Barrera *et al.* [24], que indica que los valores de acidez aumentan a medida

que transcurren los estados de maduración de verde a muy amarillo. Es por ello que los resultados obtenidos evidencian el estado inmaduro del fruto ya que durante la maduración se genera ácido málico, ocasionando un aumento del porcentaje de acidez.

Por último, fue determinada la temperatura de gelatinización del extracto obtenido, la misma se registró al observar el cambio de aspecto del extracto, de normal a uno gelatinoso, con una consistencia viscosa al pasar cierto tiempo en calor, por la desorganización de las moléculas, registrando las temperaturas obtenidas en la Tabla 10.

Tabla 10. Determinación de Temperatura de gelatinización del extracto [8]

Muestra	Temperatura de gelatinización (°C)
1	78
2	76
3	78

Analizando las temperaturas de gelatinización para cada muestra, se observó una pequeña variación entre las muestras 1 y 3 con la muestra 2, sin embargo, Baudui [25], citado por Floríndez & Floríndez, [26], establece que no todos los gránulos de almidón se hinchan y gelatinizan al mismo tiempo y temperatura, ya que algunos son más resistentes y pueden requerir más temperatura que otros. Por lo tanto, la temperatura de gelatinización puede variar de acuerdo a las características del gránulo de almidón, se presume que la muestra 1 y 3 presentan en el extracto gránulos de almidón más resistentes que los contenidos en el extracto de la muestra 2.

Las temperaturas de gelatinización obtenidas para cada muestra variaron en un rango de 76-78°C, como se observa en la Tabla 10, por lo tanto, a esa temperatura comenzó el hinchamiento de los gránulos, según García [9], el calentamiento del almidón en soluciones acuosas a temperaturas por arriba de los 60°C provoca la gelatinización, lo cual se evidenció en la presente investigación.

Por otro lado, Núñez [27], indica que el rango de temperaturas donde ocurre el hinchamiento del gránulo se ve influenciado por las fuerzas aglutinantes del mismo, es decir los enlaces que presenta en su composición, y establece que estos varían según el origen del almidón.

Análisis del rendimiento del almidón obtenido a partir de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial

Dentro de la última fase se realizó el análisis del rendimiento del almidón contenido en las muestras de plátano verde, primeramente, se realizó la prueba cualitativa del almidón presente y seguidamente la prueba cuantitativa para la determinación del rendimiento del almidón obtenido.

La prueba cualitativa generó un resultado positivo, a través de la aplicación de la prueba del yodo, se obtuvo una coloración azul de la solución, comprobando de esta manera la presencia de almidón en el extracto obtenido. Donde el yodo reacciona con el almidón formando una solución colorida, esto se debe a la formación de un complejo de coordinación entre las micelas de almidón y de yodo. Aguiar T. et al. [28, p.1] explica que:

La prueba del yodo se da como consecuencia de la formación de cadenas de poliyoduro a partir de la reacción entre el almidón y el yodo presente en el reactivo de Lugol preparado. La amilosa es de estructura lineal, con enlaces α (1-4), que forma hélices en donde se juntan las moléculas de yodo formando un color azul oscuro; mientras que la amilopectina de estructura ramificada, con enlaces α (1-4) (1-6), forman hélices mucho más cortas y las moléculas de yodo son incapaces de juntarse presentando un color intermedio entre anaranjado o amarillo.

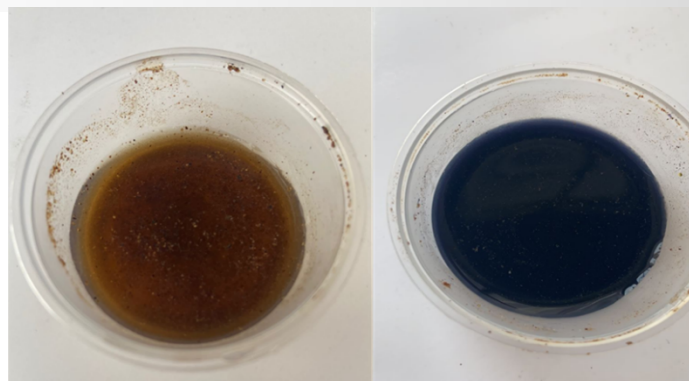


Figura 4. Verificación de la presencia de almidón en el extracto [8]

La Figura 4 presenta la coloración obtenida de la solución, una vez comprobada la presencia de almidón en el extracto, se procedió a analizar de forma cuantitativa la muestra. El análisis cuantitativo fue llevado a cabo por un laboratorio externo, ya que para su realización se necesitaba una metodología más compleja, con reactivos y equipos más profesionales, y no era posible su ejecución en el laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta. Asimismo, debido a los altos costos asociados a la realización del análisis, se seleccionó de forma aleatoria la muestra 1 para ser analizada, determinando de esta manera la cantidad de almidón contenido en la muestra.

El laboratorio indicó que el valor obtenido del contenido de almidón en la muestra 1 resultó 72,76 (%m/m). Debido a que el estudio no se pudo realizar para todas las muestras, esta relación obtenida se asumió para el resto de las muestras. A partir de este valor se determinó la cantidad estimada de almidón contenida en cada muestra de extracto, los resultados se registraron en la Tabla 11.

Tabla 11. Cantidad de Almidón obtenido en el extracto [8]

Muestra	Contenido de almidón (% m/m)	Masa obtenida después del tamizado (g)	Cantidad de almidón (g)
1	72,76	51	37,11
2	72,76	54	39,29
3	72,76	46	33,47

La cantidad estimada de almidón contenido en el extracto se presenta en la Tabla 11, generando un resultado satisfactorio, debido a su alto contenido de almidón. Este resultado a su vez confirma la presencia de otros componentes e impurezas en la cáscara de plátano, representando un 27,24% de la composición de la misma, por su parte, una vez obtenido este valor fue posible el cálculo del rendimiento del almidón en las cáscaras de plátano verde, registrando estos valores en la Tabla 12.

Tabla 12. Cantidad de Almidón obtenido y rendimiento a partir de las cáscaras antes de ser secadas [8]

Muestra	Masa de las Cáscaras (g)	Cantidad de almidón (g)	Rendimiento (%)
1	477	37,11	7,78
2	480	39,29	8,19
3	488	33,47	6,86

Como se observó en la Tabla 12 el rendimiento promedio resultó 7,61%, aunque bajo una primera impresión pareciera ser un bajo porcentaje, es importante mencionar que el rendimiento fue calculado en relación a la masa de las cáscaras empleadas, las cuales están compuestas principalmente por agua, esta fue removida a través del secado, donde las cáscaras redujeron en gran proporción su masa, para extraer el almidón.

Los resultados alcanzados para el rendimiento fueron ligeramente menores a los obtenidos por Calero &

Lapo [12] autores del método, los cuales presentaron un rendimiento de 14,15% y 11,81% , sin embargo, esta diferencia se debe a que en su investigación el rendimiento fue calculado a partir de todo el extracto obtenido, debido a que este fue asumido en su totalidad como almidón, lo que implicaría que el método extrae de forma completa el almidón, sin tomar en cuenta las impurezas que pudieran estar presente, aumentando de esta forma el rendimiento del método.

Con el objetivo de comparar los resultados obtenidos por Calero y Lapo [12], se realizó la estimación del rendimiento utilizando el extracto en su totalidad con respecto a masa de las cáscaras inicial, como fue realizado por dichos autores, obteniendo un rendimiento promedio de 10,51%, Como se puede observar son valores relativamente similares, sin embargo, la diferencia obtenida se le puede asumir a la especie de plátano empleado.

Ya que el rendimiento fue estimado en base a la masa de las cáscaras iniciales, sin tomar en cuenta la gran proporción de humedad que estas presentaban, también fue de interés calcular el rendimiento con respecto a las cáscaras ya secadas, una vez eliminada la cantidad de agua y ácido cítrico contenido en las mismas, para ello, el cálculo se realizó en base a la masa de las cáscaras después del secado, los resultados obtenidos se observan en la Tabla 13.

Tabla 13. Rendimiento de almidón obtenido a partir de la masa de las cáscaras secadas [8]

Muestra	Masa de las Cáscaras (g)	Cantidad de almidón (g)	Rendimiento (%)
1	477	37,11	7,78
2	480	39,29	8,19
3	488	33,47	6,86

Se observó que al utilizar como base la masa de las cáscaras después del secado, el rendimiento aumentó en gran proporción, lo que afirma, el gran contenido de humedad presente en las mismas, donde una vez secas y removido el contenido de agua, se demuestra que aproximadamente la mitad del contenido representa almidón.

La ejecución de la presente fase demostró que el método de extracción fue satisfactorio ya que se logró la obtención de almidón, presentando en gran porcentaje del extracto el contenido de este compuesto, a su vez siendo confirmado a través de los resultados de los análisis fisicoquímicos los cuales corresponden a los valores descritos por la literatura para el almidón.

Sin embargo, al corroborar las propiedades fisicoquímicas de la literatura con las obtenidas de forma experimental, se demostró que las impurezas presentes en el extracto no influyeron en gran proporción para estos resultados ya que no representan un mayor porcentaje de la composición del mismo, manteniendo de esta manera las propiedades del almidón, lo que va a permitir su uso como materia prima para obtener bioplástico.

Para finalizar, el extracto obtenido presentó en su mayoría almidón, con características convenientes y adecuadas para ser empleado como materia prima para la obtención de bioplástico, donde la gran cantidad de cáscaras desechadas por el ser humano pueden ser aprovechadas para obtener este compuesto, y a su vez un material que se degrade en un menor tiempo, reduciendo de esta manera los efectos ambientales de los plásticos convencionales.

Conclusiones

La revisión exhaustiva de las investigaciones relacionadas a la extracción de almidón de la cáscara de plátano permitió la recopilación de 5 metodologías para su extracción. Donde, en líneas generales los métodos húmedos presentan un menor rendimiento, con tiempos de ejecución mayores. En su mayoría los equipos necesarios para todas las metodologías son de fácil acceso, o en su defecto estos pueden ser reemplazados por otros que cumplan la misma función.

Se seleccionó el Método Seco de Calero & Lapo [12], para la extracción del almidón de la cáscara de

plátano, ya que presentó ventajas con respecto al resto de investigaciones, donde el rendimiento fue el más alto en comparación con el resto de investigaciones, en este caso 14,15% y 11,81%, con un tiempo de ejecución de 2.5 horas, siendo factible su tiempo de ejecución en los laboratorios de la Universidad Rafael Urdaneta, debido a las restricciones de horario derivadas de la situación pandemia actual.

Al aplicar el método de extracción seleccionado, los tiempos de secado variaron para cada muestra, se presume que la posición de las muestras y la temperatura del horno ocasionaron esta diferencia. Al finalizar la extracción se obtuvo un polvo de color marrón, con textura fina similar a la de arena, con pequeños gránulos característicos. Después del tamizado se obtuvo una cantidad de masa significativa, sin embargo, se estima que, en el extracto obtenido, aparte del almidón pueden presentarse impurezas de otros componentes de las cáscaras, lo cual fue analizado en el resto de los objetivos.

En líneas generales las propiedades fisicoquímicas evaluadas del extracto obtenido evidenciaron en su mayoría resultados similares a los correspondientes para almidón, donde el pH de las muestras se mantuvo dentro del rango de referencia establecido para almidón, por otro lado, la densidad del extracto varió con respecto a la del almidón, pudiendo deberse a la presencia de impurezas. La humedad del extracto presentó valores cercanos al promedio aproximado general para el almidón extraído a partir de residuos de plátano. El porcentaje de acidez fue determinado a partir del ácido málico, los resultados obtenidos para el pH y la acidez evidenciaron el estado inmaduro del fruto. A través de la determinación de la temperatura de gelatinización se observó la formación una masa gelatinosa debido al hinchamiento de los gránulos.

La presencia de almidón fue verificada en el extracto, por medio de la coloración azul de la solución a través de la prueba del yodo. La ejecución de la prueba cuantitativa demostró el contenido en %m/m de almidón presente en el extracto de la muestra 1 analizada. Este porcentaje resultó alto y satisfactorio, y fue asumido para calcular la cantidad estimada de almidón en el resto de las muestras, a través de la cual se determinó el rendimiento de almidón en las cáscaras de plátano para cada muestra. El porcentaje de rendimiento en base a las cáscaras antes de ser secadas resultó 7,61% y este se consideró razonable, debido a los altos contenidos de agua que presentaba la cáscara en principio. Sin embargo, las cifras fueron similares a lo obtenido por Calero y Lapo [12], si se compara con el extracto completo obtenido, por último, para el rendimiento determinado con respecto a las cáscaras ya secadas, se obtuvo un promedio de 54.61% el cual resultó alto debido a que se eliminó todo el contenido de humedad. Finalmente se analizó que el extracto obtenido presenta características deseables de almidón para ser usado como materia prima para bioplástico.

Referencias bibliográficas

- [1] Dirección General de Responsabilidad Social. ¿Sabe cuántos años demora el plástico en degradarse?, (2019). <https://dgrs.unmsm.edu.pe/2019/02/01/sabe-cuantos-anos-demora-el-plastico-en-degradarse/>
- [2] Greenpeace. Plásticos, (2022). <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/>
- [3] Organización de las Naciones Unidas. O nos divorciamos del plástico, o nos olvidamos del planeta, (2018). <https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111>.
- [4] Acciona. Qué son los bioplásticos, (2019). https://www.sostenibilidad.com/medio-ambiente/que-son-los-bioplasticos/?_adin=02021864894
- [5] Hurtado, J. Caracterización fisicoquímica y funcional del almidón extraído de la papa china (Colocasia esculenta) cultivada en el pacífico colombiano. (Trabajo de grado en Química, Universidad Santiago de Cali). Cali, Colombia, (2019).
- [6] Tupa, M. Modificación organocatalítica de almidón para la obtención sostenible de derivados de alto valor agregado. (Tesis doctoral en Ingeniería, Universidad de Buenos Aires). Buenos Aires, Argentina, (2019).
- [7] Olivo, E., Gutiérrez, A., Quintero, M., Molina, L., Anido, J., Ablan, E., Cartay, R., Mercado, C. El cultivo

del plátano en Venezuela. Desde el campo hasta la mesa, (2007). https://bibliofep.fundacionempresaspolarg.org/media/1280477/platano_d_importancia_platano.pdf.

[8] Figueroa, V. y Vega, M. Almidón obtenido a partir de la cascara de plátano de adquisición comercial como materia prima para la obtención de bioplástico (Trabajo Especial de Grado en Ingeniería Química, Universidad Rafael Urdaneta). Maracaibo, Venezuela, (2022).

[9] García, I. Determinación de concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de cáscara de plátano (musa paradisíaca) en Pucallpa. (Tesis de pregrado en Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Ucayali). Pucallpa, Perú, (2017).

[10] Pizá, H., Rolando, S., Ramírez, C., Villanueva, S., Zapata, A. Análisis experimental de la Elaboración de Bioplástico a partir de la Cáscara de Plátano para el Diseño de una Línea de Producción Alterna para las Chifleras de Piura, Perú. (Proyecto de Investigación en Ingeniería, Universidad de Piura). Piura, Perú, (2017).

[11] Sayddi, K., Salazar, J., Ñahui, M. Análisis Potencial de Productos Biopoliméricos como Materia Prima para Elaborar Empaques Biodegradables. (Trabajo de Investigación en Ingeniería Industrial, Universidad Católica San Pablo). Arequipa, Perú, (2019).

[12] Calero, M. y Lapo, E. Diseño de una línea de producción de envases biodegradables a partir de plástico, aprovechando residuos del plátano (musa paradisíaca) con aplicación para el uso de empaquetado de alimentos. (Proyecto de investigación, Universidad Técnica Estatal de Quevedo). Los Ríos, Ecuador, (2021).

[13] Smith, R. Characterization and analysis of starches. In Whistler, R.L. & Paschall, E. Starch: Chemistry and Technology. New York: Industrial Aspects. Vol II, (1967). Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>.

[14] Acosta, J., Gomajoa, H., Benavides, Y., Charfuelan, A., Valenzuela, F., Evaluación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la obtención de bioplástico. Bionatura Conference Series, Vol., 1, N°1, (2018), 1-18 <https://www.revistabionatura.com/files/CS-2018.01.01.2---Revista-bionatura.pdf>

[15] ISI. Determination of pH in starch and syrup. Dinamarca: Laboratory methods, (1999). Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>.

[16] Grace, M. Elaboración de la yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, (1977). Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>

[17] Hernández, I., Martínez, M., Contreras, R., Pérez, R. Extracción de almidón por el método seco en plátano macho, cuadrado y castilla. Revista de Simulación y Laboratorio, Vol., 4, N°13, (2017), 1-7.

[18] FAO. Guía Técnica para producción y análisis de almidón de Yuca, (2007). <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>

[19] Cárdenas, M. Extracción de almidón a partir de residuos de banano (*Musa paradisíaca*) para la elaboración de un biopolímero (Trabajo de Titulación en Ingeniería Biotecnológica de los Recursos Naturales, Universidad Politécnica Salesiana). Cuenca, Ecuador, (2018).

[20] Holguín, J. Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa. (Proyecto Integral de Grado en Ingeniería Química, Fundación Universidad de América). Bogotá, Colombia, (2019).

[21] Sánchez, Y. Caracterización Físicoquímica del almidón extraído de la almendra y cáscara del mango (*Mangifera Indica L.*). (Trabajo Especial de Grado, Universidad Rafael Urdaneta). Maracaibo, Venezuela, (2021).

[22] Beltrán, D., Velásquez, J., Giraldo, G. Caracterización Físicoquímica de la maduración del plátano dominico-harton (*Musa AAB Simmonds*), (2010). <https://ojs.uniquindio.edu.co/ojs/index.php/riuq/article/view/728/831>

[23] Dávila, V. Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco

(Musa paradisiaca). Revista de Investigación Universitaria. Vol., 3, N°2, (2014), .23-28. <https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/riu/article/view/673/644>.

[24] Barrera, J., Arrazola, G., Cayón, D. Caracterización fisicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (musa AAB Simmonds) en dos sistemas de producción. Acta Agronómica. Vol., 59, N°1, (2010), 20-29 <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169916223003.pdf>.

[25] Baudui, S. Química de los Alimentos 4ª, ed, (2006). <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/QUIMICA-DE-LOS-ALIMENTOS-4ta-Edicion.pdf>

[26] Florindez, C. y Florindez, G. Caracterización Fisicoquímica del almidón de almendra de mango (Mangifera Indica L) Variedad chico rico, para la obtención de talco medicinal. (Tesis en ingeniería Química, Universidad Nacional de la Amazonia) Iquitos, Perú, (2009).

[27] Núñez, F., Extracción y caracterización del almidón de banano verde y de su residuo de pulpa. (Trabajo de Graduación en Ingeniería Agroindustrial, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras). Honduras, (2003).

[28] Aguiar, C., Carrillo, F., Díaz, S., Parreño, J., Vallejo, L. Prueba del Almidón Prueba del Yodo, (2014). <https://sites.google.com/site/laboratoriosbioquimica/bioquimica-i/prueba-del-almidon>

Notas Especiales

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, titulado: Almidón obtenido a partir de la cáscara de plátano de adquisición comercial como materia prima para la obtención de bioplástico, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.