



Received: APRIL 30, 2024 / Juny 02, 2024

Artículo Original

## Caracterización fisicoquímica de polímeros biodegradables para la obtención experimental de utensilios descartables

### Physicochemical characterization of biodegradable polymers for the experimental production of disposable utensils

J. Orbegoso-López<sup>1</sup> , T. Quispe-Ojeda<sup>2</sup> , M. Jiménez-Escobedo<sup>1</sup> 



<https://doi.org/>

#### Resumen

**Objetivo:** determinar las características fisicoquímicas de los polímeros biodegradables obtenidos a partir de la papa (*Solanum tuberosum*), que servirían de base para la elaboración de utensilios descartables. **Metodología:** el análisis de la composición fisicoquímica de las muestras de almidón se realizó en el laboratorio de Bioplásticos de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión (UNJFSC). Se desarrolló el siguiente procedimiento: a). Obtención de muestras de almidón: se utilizaron papas de descarte de la variedad Yungay. Las papas se sometieron a un proceso de molienda y se aplicó hidrólisis directa para separar el almidón. b). Deshidratación: las muestras se deshidrataron en una estufa a 65°C durante 24 horas. Posteriormente, se realizó el análisis espectrofotométrico para determinar el porcentaje de transmitancia de las muestras. **Resultados:** Se obtuvieron algunos componentes importantes como: el ácido poliláctico (PLA), polihidroxicanoatos (PHA) y almidón termoplástico (TPS). En menor proporción, también se obtuvo la policaprolactona (PCL). Estos componentes son fundamentales para la estructura de los bioplásticos. **Conclusiones:** El almidón nativo exhibe una mayor claridad y valores de transmitancia ligeramente superiores en comparación con el almidón acetilado. Estas diferencias influyen en las propiedades reológicas del termoplástico, especialmente en su elasticidad, para la formación de películas

**Palabras clave:** Biopolímero, Ácido poliláctico (PLA), Polihidroxicanoato (PHA), Almidón termoplástico (TPS), Policaprolactona (PCL).

#### Abstract

**Objective:** to determine the physicochemical characteristics of biodegradable polymers obtained from potato (*Solanum tuberosum*), which would be the basis for manufacturing disposable utensils. **Methodology:** A physicochemical composition analysis of the starch samples was carried out at the Bioplastics Laboratory of the Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión (UNJFSC). The following procedure was developed: a) Obtaining starch samples: discard potatoes of the Yungay variety were used. The potatoes were subjected to a milling process and direct hydrolysis was applied to separate the starch. b) Dehydration: the samples were dehydrated in an oven at 65°C for 24 hours. Subsequently, spectrophotometric analysis was performed to determine the percentage transmittance of the samples. **Results:** Some important components were obtained, such as polylactic acid (PLA), polyhydroxyalkanoates (PHA) and thermoplastic starch (TPS). In smaller proportions, polycaprolactone (PCL) was also obtained. These components are fundamental to the structure of bioplastics. **Conclusions:** Native starch exhibits higher clarity and higher transmittance values compared to acetylated starch. These differences influence the rheological properties of the thermoplastic, especially its elasticity, for film formation.

**Keywords:** Biopolymer, Polylactic acid (PLA), Polyhydroxyalkanoate (PHA), Thermoplastic starch (TPS), Polycaprolactone (PCL).

<sup>1</sup>Departamento Académico de Ingeniería y Gestión Ambiental- Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería; Av. Túpac Amaru 210, Rímac 15333, Lima-Perú

<sup>2</sup>Departamento Académico de Ingeniería y Gestión Ambiental- Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería; Av. Túpac Amaru 210, Rímac 15333, Lima-Perú

\*autor para la correspondencia: [jorbegozo@unjfsc.edu.pe](mailto:jorbegozo@unjfsc.edu.pe)

## Introducción

El uso de los biopolímeros constituye hoy por hoy uno de los retos más importante de la industria de los polímeros, debido principalmente a la necesidad de encontrar fuentes alternativas para reemplazar utensilios no biodegradables, constituidos por plásticos de cadena larga y no degradables (Official Methods of Analysis [AOAC], 2000; AOAC, 2023), y por el innegable impacto ambiental que se ha generado durante los últimos 60 años, en la naturaleza y en los cuerpos de agua, receptores de los desechos plásticos utilizados para envolver, portar o cubrir sustancias, alimentos e insumos diversos, inherentes a las actividades antrópicas e industriales (Bautista, 2010).

Frente a este desafío se ha dirigido la atención hacia la búsqueda de soluciones innovadoras, como la sustitución de plásticos tradicionales por bioplásticos (Amado, 2014; Gowthaman et al., 2021). El primer paso en este proceso es la caracterización fisicoquímica, lo cual permite identificar las propiedades reológicas y termoplásticas de los biopolímeros. Estas propiedades incluyen tanto el comportamiento newtoniano, que varían según la temperatura, así como la fusión y el moldeo de los materiales (Vargas et al., 2016, AOAC, 2023).

Holguín (2019) modificó el almidón nativo mediante procesos de acetilación y reticulación para producir plásticos biodegradables. Utilizando estos métodos desarrolló películas mediante colada con resultados prometedores. La acetilación, medida por el grado de sustitución de los grupo acetilo, fue baja ( $0,058 \pm 0,006$ ) debido a que la reticulación predominó sobre la acetilación. Como consecuencia, el biopolímero resultante mostró un mayor porcentaje de elongación (82,81%) en comparación con el almidón nativo (57,4%), aunque presentaba menor resistencia a la tracción y menor cristalinidad tanto en películas frescas como almacenadas. A partir de estos hallazgos concluyeron que la modificación dual del almidón puede ser una opción viable para mejorar las propiedades de las películas de almidón biodegradables.

En base a estas premisas, el objetivo de la investigación fue determinar las características fisicoquímicas de los polímeros biodegradables obtenidos a partir de la papa (*Solanum tuberosum*) cv. Yungay lo que servirá como

fundamento para la fabricación de utensilios descartables.

## Metodología

### Localización geográfica

La investigación se desarrolló en el laboratorio de bioplásticos de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión,, ubicado en el distrito de Huacho, provincia de Huaura, región Lima provincias, coordenadas geográficas UTM -11.687733 S,- 77.8592549, W, durante los meses de marzo a julio del 2019.

### Fermentación del almidón

La producción de ácido láctico se efectuó mediante la fermentación ácida utilizando *Lactobacillus amylophylus*. Este proceso se realizó a un pH entre 5,5 a 6,5 y a una temperatura inferior a 45°C; a partir del ácido láctico obtenido se sintetizó láctida, que es un diéster cíclico del ácido láctico. La polimerización del ácido láctico da origen al ácido poliláctico (PLA), (Drosg et al., 2013; Campozano y Riera, 2022). Además se pueden producir otros biopolímeros como hidroxialcanoatos (PHA), almidón termoplástico (TPS) y policaprolactona (PCL) (Fernando de Fuentes, 2015; Narayan, 2001).

### Composición proximal del almidón

La composición del almidón de la papa, que se detalla en la Tabla 1.

**Tabla 1**

### Composición del almidón de la papa

Carbohidratos	87,79 %
Proteínas	1,18%
Lípidos	0,15%
Cenizas	0,26%
Amilosa	24,35%
Humedad	10,00 %

Fuente: Montoya-Anaya et al. (2023)

La composición comparada entre el almidón nativo y el almidón acetilado, se especifica en la Tabla 2.

**Tabla 2**

Composición química del almidón nativo vs almidón acetilado al 15%

Composición	Almidón Nativo	acetilado 15% (*)
Carbohidratos (%)	98,80±0,12	99,18±0,02
Proteína (%)	00,47±0,07	00,33±0,09
Ceniza (%)	00,43±0,03	00,32±0,02
Grasa (%)	00,30±0,08	00,17±0,02

Fuente: Vargas et al. (2016)

**Procedimiento**

Se llevó a cabo un análisis de la composición fisicoquímica de las muestras de almidón en el laboratorio de Bioplásticos UNJFSC, siguiendo el procedimiento detallado a continuación:

Obtención de las muestras de almidón: Se utilizaron papas de descarte o de tercera calidad de la variedad Yungay). Las papas se sometieron a un proceso de molienda y se aplicó hidrólisis directa para separar el almidón (Choque-Quispe

et al., 2020).

Deshidratación del almidón: las muestras obtenidas se deshidrataron en una estufa a 65°C durante 24 horas.

Análisis espectrofotométrico: antes del análisis, se prepararon las soluciones necesarias y se calibró el equipo de espectrofotometría del laboratorio. Los resultados del análisis mostraron que el almidón nativo tiene una mayor concentración de transmitancia (%) en comparación el almidón acetilado, a concentraciones variables.

Pruebas preliminares de elaboración de utensilios: Basándose en los resultados del análisis, se realizaron pruebas preliminares para la fabricación de utensilios, mediante laminación y moldeo mecánico (Steinbuechel, 2003).

**Resultados**

Después de completar las pruebas de caracterización del biopolímero obtenido de la papa en su composición básica, se desarrollaron varias formulaciones de biopolímeros, resultando en la obtención de PLA, PHA, TPS y PCL. Los análisis espectrofotométricos de transmitancia realizados para el almidón nativo y el almidón acetilado, a concentraciones del 5%, 10% y 15%, se presentan en la Tabla 3:

**Tabla 3**

% Transmitancia de los Almidones acetilados vs almidón nativo UNJFSC

Almidon	Claridad (% de transmitancia)			
	0 horas	24 horas	48 horas	72 horas
Almidón nativo	70,4±1,3	12,60±0,2	6,1±0,5	2,7±0,2
Almidón Acetilado 5%	Nr	Nr	Nr	Nr
Almidón Acetilado 10%	20,0±0,3	12,60±0,2	8,10±0,4	5,40±0,1
Almidón acetilado 15%	15,1±0,4	8,25±0,4	6,85±0,3	4,85±0,3

Una vez completadas las pruebas de caracterización del biopolímero extraído de la papa, en su composición básica, se formularon varias variantes de biopolímeros. Con un margen

de error aproximado del 5 al 10%, se obtuvieron las siguientes formulaciones que se especifican en la Tabla 4:

**Tabla 4**

Composición porcentual del biopolímero según tiempo de deshidratación

Biopolímero	Composición % en el tiempo de deshidratación			
	0 horas	24 horas	48 horas	72 horas
Ácido Poliláctico (PLA)	22,65%	31,25%	19,61%	58,82%
Polihidroxialcanoato (PHA)	25,93%	24,10%	10,99%	22,73%
Almidón termoplástico (TPS)	31,67%	40,82%	12,74%	25,97%
Policaprolactona (PCL)	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas

## Discusión

Los análisis realizados en las muestras de almidón mostraron valores de transmitancia ligeramente superiores a los obtenidos por otros investigadores, en distintos momentos de medición: 0 horas, 24 horas, 48 horas y 72 horas (Vargas et al., 2016). Específicamente, se observó una mayor claridad en el almidón nativo y valores de transmitancia ligeramente inferiores en el almidón acetilado al 10% y 15%. Estos resultados son aceptables y significativos en cuanto al grado de emulsificación y gelatinización del almidón, lo que influye en las propiedades reológicas del termoplástico, como su elasticidad para la formación de películas, un proceso que sigue a la etapa de extrusión (Temesgen et al., 2021).

La composición acuosa del biopolímero varía según el tiempo de deshidratación por secado. Para determinar el tiempo óptimo de deshidratación que permita la fabricación eficiente de artículos prácticos, se recomienda realizar más pruebas experimentales (Orbegoso y Quispe, 2021). Además, la composición físico química del sustrato así como la variedad y el grado de madurez de la papa pueden tener un impacto significativo en la calidad del biopolímero.

## Conclusiones

El almidón nativo exhibe una mayor claridad y valores de transmitancia ligeramente superiores en comparación con el almidón acetilado al 10% y al 15%. Estas diferencias influyen significativamente en las propiedades reológicas del termoplástico, especialmente en su elasticidad para la formación de películas

## Agradecimientos

A la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. A la Asesora Dra. Bárbara Fonseca, Universidad de Cienfuegos, Cuba. A los estudiantes y colaboradores del presente trabajo Ricardo Quispe Sáenz y Alen Lovaron Mendivil (Ingeniería Química), Miguela Angel Cauchi Jiménez (Ingeniería Civil) y Cinthya Pastor Huamán (Ingeniería Ambiental).

## Referencias

Amado Siles, A. (2014). Síntesis, propiedades y aplicación del ácido poliláctico a partir del almidón de la papa. Repositorio Universidad Nacional San Agustín, Arequipa.

<https://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2885>

- Bautista, A. (2010). Sistema Biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos (Estelí, Nicaragua). [Tesis de grado, Universidad Carlos III de Madrid] <https://e-archivo.uc3m.es/rest/api/core/bitstreams/dbcfdb03-a898-456b-b38f-f9b90ec0e5a9/content>
- Campozano M., I. R. & Riera, M. A. (2022). Ácido poliláctico: una revisión de los métodos de producción y sus aplicaciones. *Ciencias y Tecnología*, 16(1), 42-53. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6908007>
- Choque-Quispe, D., Ramos-Pacheco, B. S., Ligarda-Samanez, C. A., Barboza-Palomino, G. I., Kari-Ferro, A., Taipe-Pardo, F., & Choque-Quispe, Y. (2020). Remoción de metales pesados por biopolímeros formulados con almidón de papa nativa/mucílago de nopal. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 103, 44-50. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20201112>
- Drosg, B., Al seadi, T., Braun, R. & Bochmann, G. 2013. Analysis and characterisation of biogas feedstocks. *The Biogas Handbook. Science, Production and Applications. Woodhead Publishing Series in Energy # 52.*
- Fernando de Fuentes, A. (2015). Análisis de la degradación y biodegradabilidad de bolsas de poliéster y almidón en compostaje de residuos urbanos: escalas de laboratorio industrial. [Tesis de posgrado, Escuela superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural]. [https://oa.upm.es/39321/1/AIDA\\_FERNANDO\\_DE\\_FUENTES.pdf](https://oa.upm.es/39321/1/AIDA_FERNANDO_DE_FUENTES.pdf)
- Gowthaman, N., Lim, H., Sreeraj, T., Amalraj, A., & Gopi, S. (2021). Gowthaman, N. S. K., Lim, H. N., Sreeraj, T. R., Amalraj, A., & Gopi, S. (2021). Advantages of biopolymers over synthetic polymers: social, economic, and environmental aspects. In *Biopolymers and their industrial applications* (pp. 351-372). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819240-5.00015-8>
- Holguín, J. S. (2019). Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa. [Tesis de pregrado, fundación Universidad de

- A m é r i c a ] .  
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-IQ.pdf>
- Montoya-Anaya, D. G., Madera-Santana, T. J., Aguirre, C. L.; Grijalva, C., Gonzáles G. G., Núñez, C. A., Rodríguez, J. R. (2023), Caracterización fisicoquímica de almidón recuperado de papa (*Solanum tuberosum*) residual de la industria de papas fritas en México. *Biotecnia*, 25(2), 60-72. Epub 25 de agosto de 2023. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i2.1880>
- Narayan, R. (2001). Drivers for biodegradable/compostable plastics and role of composting in waste management and sustainable agriculture; report paper. *Orbit Journal* 1(1), 1-9.
- Official Methods of Analysis [AOAC] (2000). Association of Official Analytical Chemists. 17th edition Arlington, VA, USA.
- Official Methods of Analysis [AOAC] (2023), Association of official Analytical Chemists 22<sup>nd</sup> Edition , <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>
- Orbegoso, J. S. & Quispe, T. C. (2015). Modelamiento de un biorreactor para la obtención de bioplásticos en la UNJFSC, <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/1581/biorreactor%20-%20bioplasticos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Steinbuechel, A. (2003). *Biopolymers: general aspects and special applications*. Vol. 10. Wiley-VCH: Weinheim.
- Temesgen, S., Rennert, M., Tesfaye, T., & Nase, M. (2021). Review on Spinning of Biopolymer Fibers from Starch. *Polymers*, 13, 1121. <https://doi.org/10.3390/polym13071121>
- Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria* 7(3): 223- 230 (2016). <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>