



*Obtención de bioplástico a partir de la penca de pitahaya (*Selenicereus undatus*) con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y extracto de orégano (*Origanum vulgare*) para su posterior evaluación de propiedades físico-mecánicas y microbiológicas*

*Obtaining bioplastic from the pitahaya leaf (*Selenicereus undatus*) with potato starch (*Solanum tuberosum*) and oregano extract (*Origanum vulgare*) for subsequent evaluation of physical-mechanical and microbiological properties*

*Obtenção de bioplástico da folha de pitaiaiás (*Selenicereus undatus*) com amido de batata (*Solanum tuberosum*) e extrato de orégãos (*Origanum vulgare*) para posterior avaliação das propriedades físico-mecânicas e microbiológicas*

Jessica Paola Arcos Logroño ^I

paola.arcos@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9462-2219>

Andrea Carolina Cerda Morocho ^{II}

acerdam@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-8687-5601>

Correspondencia: paola.arcos@epoch.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 16 de enero de 2025 * **Aceptado:** 25 de febrero de 2025 * **Publicado:** 24 de marzo de 2025

I. Sede Morona Santiago, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Don Bosco y Juan Félix Pintado, Macas 140101, Universidad Estatal de Milagro (estudiante), Ecuador.

II. Universidad Estatal de Milagro, Ecuador.

Resumen

La intensificación en la producción y uso de plástico en las últimas décadas ha generado impactos ambientales producidos por una inadecuada gestión de los desechos de producción y uso de estos materiales, generando una amenaza tanto para los sistemas acuáticos y terrestres como a la salud humana. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación comprobar la factibilidad del uso del mucílago de penca de pitahaya *Selenicereus undatus* para la elaboración de bioplástico con almidón de papa *Solanum tuberosum* como aditivo. Se emplearon procesos ya establecidos para la producción de bioplásticos con mucílagos de especies similares de cactus (*Opuntia ficus-indica*) y nopal (*Opuntia tomentosa*), obteniendo un porcentaje de rendimiento del mucílago de 52,46%, posteriormente se realizó el bioplástico con un diseño experimental al azar con cuatro tratamientos de tres repeticiones cada uno, añadiendo aditivos a la formulación inicial para mejorar las propiedades de las películas como extracto de orégano y se procedió a caracterizar las propiedades físico-mecánicas de las películas de bioplástico, dando como resultado que el tratamiento T₂ (100% mucílago, 2,5% almidón, 1% extracto de orégano, 3% grenetina, 10% vinagre y 5% glicerina) brinda mejores características en cuanto a resistencia a la ruptura y elongación, espesor y humedad, además presentó inhibición a la bacteria *Escherichia coli*, produciendo un halo de inhibición de 1mm. Concluyendo que la formulación T₂ presenta características idóneas para la elaboración de bioplástico, alcanzando resultados dentro de los límites establecidos como óptimos.

Palabras clave: Bioplástico; almidón; pitahaya; orégano; bacterias; calidad.

Abstract

The intensification of plastic production and use in recent decades has generated environmental impacts caused by inadequate waste management resulting from the production and use of these materials, posing a threat to both aquatic and terrestrial systems, as well as human health. Therefore, the objective of this research is to test the feasibility of using mucilage from the pitahaya (*Selenicereus undatus*) leaf to produce bioplastics using *Solanum tuberosum* potato starch as an additive. Established processes were used for the production of bioplastics with mucilages from similar species of cactus (*Opuntia ficus-indica*) and nopal (*Opuntia tomentosa*), obtaining a mucilage yield percentage of 52.46%, subsequently the bioplastic was made with a random experimental design with four treatments of three repetitions each, adding additives to the initial formulation to improve the properties of the films such as oregano extract and proceeded to

characterize the physical-mechanical properties of the bioplastic films, resulting in treatment T2 (100% mucilage, 2.5% starch, 1% oregano extract, 3% gelatin, 10% vinegar and 5% glycerin) providing better characteristics in terms of resistance to rupture and elongation, thickness and humidity, in addition it presented inhibition to the bacteria *Escherichia coli*, producing an inhibition halo of 1mm. They concluded that formulation T2 presents ideal characteristics for bioplastic production, achieving results within the established optimal limits.

Keywords: Bioplastic; starch; pitahaya; oregano; bacteria; quality.

Resumo

A intensificação da produção e utilização do plástico nas últimas décadas tem gerado impactos ambientais causados pela gestão inadequada dos resíduos provenientes da produção e utilização destes materiais, representando uma ameaça tanto para os sistemas aquáticos e terrestres, como para a saúde humana. Assim sendo, o objetivo desta investigação é verificar a viabilidade da utilização da mucilagem da folha de pitaiaiás *Selenicereus undatus* para a produção de bioplástico com amido de batata *Solanum tuberosum* como aditivo. Foram utilizados processos consagrados para a produção de bioplásticos com mucilagens de espécies similares de cato (*Opuntia ficus-indica*) e nopal (*Opuntia tomentosa*), obtendo-se uma percentagem de rendimento de mucilagem de 52,46%, posteriormente o bioplástico foi confeccionado com um delineamento experimental casualizado com quatro tratamentos de três repetições cada, adicionando aditivos à formulação inicial para melhorar as propriedades dos filmes como extrato de orégãos e procedeu-se à caracterização das propriedades físico-mecânicas dos filmes s, resultando no tratamento T2 (100% mucilagem, 2,5% amido, 1% extrato de orégãos, 3% gelatina, 10% vinagre e 5% glicerina) proporcionando melhores características em termos de resistência à rutura e alongamento, espessura e humidade, além disso apresentou inibição à bactéria *Escherichia coli*, produzindo um halo de inibição de 1mm. Concluindo que a formulação T2 apresenta características ideais para a produção de bioplástico, alcançando resultados dentro dos limites estabelecidos como ótimos.

Palavras-chave: Bioplástico; amido; pitaiaiás; orégãos; bactérias; qualidade.

Introducción

El presente estudio tiene como objetivo principal abordar la “Obtención de bioplástico a partir de la penca de pitahaya (*Selenicereus undatus*) con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y extracto de orégano (*Origanum vulgare*) para su posterior evaluación de propiedades físico-mecánicas y microbiológicas”, un tema considerado de relevancia en el campo de la biotecnología y revalorización. La importancia de este estudio radica en la utilización de los residuos de pitahaya (penca) para la elaboración de un material biodegradable y de calidad para evitar el consumo de plástico, esto con el propósito de contribuir al conocimiento existente en el área y ofrecer ideas clave que puedan tener aplicaciones prácticas.

Actualmente en el campo la biotecnología y revalorización, se ha observado un creciente interés y la necesidad de profundizar en la utilización de residuos para la obtención de nuevos productos promoviendo la sostenibilidad y evitando el uso de plásticos convencionales; este contexto motivó la realización de esta investigación. La comprensión detallada de la obtención de bioplástico a partir de residuos se vuelve esencial para la caracterización las propiedades fisicoquímicas del mucílago de la penca de la pitahaya, así como también la evaluación de la metodología adecuada para la obtención de películas bioplásticas y la valoración de las características físico-mecánicas de las películas bioplásticas obtenidas.

Para alcanzar los objetivos propuestos, se llevará a cabo una metodología descrita por Tien (2023) y modificada hasta obtener los resultados deseados, mismos que serán evaluados según la normativa INEN. La elección de esta metodología se justifica debido a que la metodología esta estandarizada.

La presente investigación se organizó en cinco capítulos, mismos que abordan aspectos específicos de la investigación. A continuación, se presenta una breve descripción de la estructura:

En el desarrollo de la investigación se especifica el problema de la investigación apoyándose de datos bibliográficos, explora los objetivos, así como también el alcance de la investigación.; plantea la hipótesis, justificación y la importancia de la investigación actualmente, luego se presenta el marco teórico referencial, el cual proporciona las teorías fundamentales y conceptos relacionados con la “Obtención de bioplástico a partir de la penca de Pitahaya (*Selenicereus undatus*) con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) como aditivo”, proporcionando un marco conceptual para la investigación; se enfoca en las bases necesarias para la elaboración del bioplástico.

Se enfoca en la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación, presentando los métodos, materiales y diseño experimental, se presenta también las variables y su interacción entre sí. Además, detalla el procesamiento estadístico de los datos obtenidos.

Los resultados obtenidos a partir de la investigación en sus etapas con análisis detallado e interpretación de estos, se formulan discusiones con base en la bibliografía existente respecto a bioplásticos.

Se exponen los resultados de manera concisa, se sintetizan las conclusiones originadas de la investigación y se brindan recomendaciones para futuros estudios o aplicaciones prácticas a partir de los datos obtenidos.

Esta investigación busca generar impactos perceptibles en la biotecnología por medio de la elaboración del bioplástico a partir de residuos de penca de pitahaya con el uso de aditivos como el almidón de papa. El estudio en la problematización y el análisis detallado de los resultados se abordarán en capítulos posteriores.

Metodología

Tipo y diseño de investigación

La presente investigación se considera es de tipo cuantitativo debido a que se analiza y determina las proporciones de cada elemento y muestra rasgos de confiabilidad, validez y muestreo; en cuanto a la confiabilidad se permiten resultados seguros por los métodos utilizados para la medición de características físico-mecánicas de la película de bioplástico que están estandarizados, mismos que se validan mediante métodos estadísticos.

Esta investigación alcanza un nivel exploratorio, descriptivo y explicativo, esto ya que en principio se realizó una exploración para poder recopilar los datos suficientes que permiten relacionar las variables para luego poder describir y explicar los fenómenos sucedidos en la formación de la película de bioplástico.

El diseño de la investigación es experimental completamente al azar con 4 repeticiones, siendo en total cuatro tratamientos con cuatro repeticiones cada una con dos variables independientes que son el mucílago de la penca de la pitahaya y el almidón de papa.

La población y la muestra

Las muestras de penca de pitahaya fueron obtenidas del cantón Palora, Morona Santiago en época de fin de cosecha, los estudios fisicoquímicos del mucílago y la elaboración de bioplástico se realizaron en Macas, Morona Santiago.

Características de la población

Las muestras de penca de pitahaya seleccionadas fueron de cultivos mayores a 12 meses, estas fueron obtenidas después de la cosecha para conservar el mucílago fresco, logrando que la muestra mantenga una viscosidad alta, es importante verificar que las muestras obtenidas no contentan impurezas o plagas que puedan llegar a contaminar el mucílago al momento de la extracción, además que establecer una línea base con toda la información de la plantación de la pitahaya.

Delimitación de la población

La población de estudio correspondió a las pencas de pitahaya de un cultivo ubicado en el cantón Palora de la provincia de Morona Santiago, se consideró parámetros como edad de la planta, tiempo de cosecha y características visibles óptimas, en un terreno de 10 hectáreas aproximadamente, realizando un muestreo aleatorio simple para obtener muestras homogéneas.

Tipo de muestra

Las muestras son probabilísticas ya que cada elemento tiene la misma probabilidad de ser seleccionado, lo que reduce el riesgo de sesgos y garantiza que todos los subgrupos tengan una oportunidad equitativa de estar representados en la muestra.

Tamaño de la muestra

Se tomaron 20 muestras de pitahaya de un mismo cuadrante con características similares (tamaño, peso y forma) de las cuales 4 se utilizaron para la extracción de mucílago.

Proceso de selección de la muestra

Las muestras evaluadas en la presente investigación dependieron del número de pencas extraídas en la etapa de recolección, los tallos obtenidos miden 60 cm de largo, 4 cm de espesor y 5 cm de ancho, y pesan alrededor de 350 gramos cada uno.

Métodos y las técnicas

Extracción del mucílago de penca de pitahaya

Se seleccionaron pencas de pitahaya en condiciones apropiadas previamente mencionadas, se aplicaron procedimientos específicos para la extracción del mucílago de pitahaya como son la

desinfección, troceado, homogenizado, filtrado y centrifugado lo cual permitió obtener mejores resultados en cuanto a cantidad y calidad de mucílago.

Formulaciones para la elaboración de bioplástico

En la Tabla 9. se muestra la formulación utilizada para la presente investigación, en la que se observa las que los porcentajes de mucílago de penca de pitahaya, almidón de papa, extracto de orégano utilizadas variaron para los cuatro tratamientos mientras que permanecieron constantes los porcentajes de grenetina, vinagre y glicerina, el agua destilada solo fue utilizada en el tratamiento 4 (testigo).

Tabla 1: Formulaciones para la elaboración de bioplástico a partir de mucílago de penca de pitahaya

Ingredientes	T1	T2	T3	T4
Mucílago de la penca de la pitahaya	80%	100%	120%	-
Almidón de papa	-	2,5%	2,5%	2,5%
Extracto de orégano	1%	1%	1%	1%
Grenetina	3%	3%	3%	3%
Vinagre	10%	10%	10%	10%
Glicerina	5%	5%	5%	5%
Agua Destilada	-	-	-	80%

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

Procesamiento estadístico de la información

En esta investigación, al ser de enfoque experimental involucrando observaciones y medición de variables dependientes, permite la obtención de datos de interés para las distintas formulaciones aplicada; con el fin de validar los resultados se realizaron 4 repeticiones y controles continuos.

Se utilizaron métodos estadísticos para asegurar una buena interpretación de los datos obtenidos mediante el software IBM SPSS con un análisis de varianza ANOVA que permite determinar si al menos un grupo difiere significativamente de los demás en términos de sus medias en los tratamientos aplicados; y la prueba de Tukey se aplica para identificar y caracterizar las diferencias específicas entre pares de grupos.

Análisis y discusión de los resultados

Análisis de la caracterización fisicoquímica del mucílago de penca de pitahaya

pH

En la tabla 2 se puede observar que los valores de pH para el mucílago de la penca de la pitahaya en el valor promedio de 6.61 y, siendo rangos que se acercan a la neutralidad y que difieren en comparación con los datos obtenidos por García (2011) en los que indica que los valores de pH del mucílago de nopal se encuentran en el rango de 4.64 a 5.7 considerándose ácidos; pero Rodríguez-González et al. (2020) establece que el pH de la misma especie es de 4,45 en promedio, esto puede deberse a varios factores como la edad de la planta, la época de cosecha, etc.

Tabla 2: Determinación de pH

Repeticiones	pH	Temperatura (°C)
1	6.77	23.0
2	6.36	22.7
2	6.69	23.3
Promedio	6.61	23

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

Porcentaje de Humedad

En la tabla 12 se observa el porcentaje de humedad obtenido en el mucilago de la penca de la pitahaya de 92.71% considerándose valores altos, esto coincide con los datos obtenidos por García (2011) en su investigación del nopal, esto se debe principalmente porque pertenecen a la familia de las *Cactaceae* que tienen un reservorio de agua en su tallo o penca. Según datos recopilados por Sotomayor et al. (2019), indican que el valor de humedad se encuentra en un rango entre el 70 y 80%.

Tabla 3: Contenido de humedad

Repeticiones	Peso del crisol + muestra húmeda (g)	Peso del crisol + muestra seca (g)	Peso inicial de la muestra (g)	Promedio de porcentaje de humedad %	Promedio total %
--------------	--------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	-------------------------------------	------------------

1	69.56	64.693	5.077	93.00	92.71
2	63.305	58.403	5.113	92.26	
3	67.274	62.468	5.014	92.86	

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

Contenido de ceniza

En cuanto al contenido de ceniza en el mucílago de la penca de la pitahaya se puede apreciar en la tabla 4 con un promedio de 1.2% por lo que no posee gran cantidad de materia orgánica, acercándose al valor obtenido por Pazmiño (2021) con un valor de 1.56% para el mucílago de cactus (*Opuntia ficus-indica*). Se contrasta con un estudio realizado por Vargas Mamani et al, (2019) en cactus, en el que en su investigación obtuvo un porcentaje de ceniza de 10.55%

Tabla 4: Contenido de ceniza

Repeticiones	Peso de las cenizas (g)	Peso de la muestra (g)	Peso inicial de la muestra (g)	Porcentaje de ceniza (%)	Promedio (%)
1	0.061	4.982	1.22	1.2	
2	0.059	4.973	1.19		
3	0.059	4.923	1.20		

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

Determinación de grasa

En la tabla 5 se observa que el promedio para la determinación de la grasa en el mucílago de la penca de la pitahaya es de 0.72%, se obtiene valores similares en comparación a la investigación realizada por García (2011) que indica un promedio de 0,30% de contenido de grasa en tallos maduros de nopal. Por otro lado Pazmiño (2021) indica que en el mucílago de cactus existió un contenido de grasa de 0,023%.

Tabla 5: Determinación de grasa

Repeticiones	Masa en gramos del envase con grasa (g)	Masa en gramos del envase sin grasa (g)	Masa de la muestra (g)	Promedio de porcentaje de grasa %	Promedio %
1	86.055	86.089	1.967	1.72852059	0.72
2	82.737	82.743	1.842	0.3257329	
3	87.105	87.102	1.717	0.11648224	

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

Determinación del porcentaje de fibra

En cuanto a la fibra obtenida del mucílago de penca de pitahaya se puede observar en la tabla 6, que el promedio fue de 6.29%. En la investigación realizada por Rodríguez-González et al. (2020) indican que el nopal de cerro tiene un contenido de fibra de 5% y 4,7% para nopal de invernadero por lo que estos valores se asemejan a los obtenidos en esta investigación.

Tabla 6: Determinación de fibra

Número de repeticiones	Masa del residuo totalmente seco (g)	Masa del papel filtro utilizado (g)	Masa de las cenizas de papel (g)	Masa de las cenizas obtenidas (g)	Muestra masa inicial (g)	Promedio de porcentaje de fibra	Promedio total %
1	2.067	1.932	65.568	65.568	2.976	4.536	6.29
2	2.2195	2.029	62.252	62.252	3.022	6.302	
3	2.372	2.126	58.936	58.936	3.069	8.016	

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

Determinación sólidos totales

El porcentaje promedio de sólidos solubles del mucílago de penca de pitahaya obtenido es de 7.29% como se puede observar en la tabla 7, un valor menor al obtenido por Bosquez (2020), en el que indica que para la pitahaya el porcentaje de sólidos totales es de 16.5%, esto se debe a que las características del tallo y de la fruta son diferentes; otro estudio realizado por García (2011) para la especie de nopal muestra valores similares a los obtenidos con un promedio de 6.48%.

Tabla 7: Determinación de sólidos solubles

Número de repeticiones	Masa inicial (g)	Crisol+peso húmedo	Crisol+peso seco	Promedio de sólidos totales%	Promedio total %
1	5.077	69.56	64.693	7.00	7.29
2	5.113	63.305	58.403	7.74	
3	5.014	67.274	62.468	7.14	

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

Rendimiento

El rendimiento en la extracción de mucílago de 4 pencas de pitahaya fue de 52,46% como se puede observar en la tabla 8, este valor es mayor al obtenido por Pazmiño (2021) que en su investigación se establece que llegó a un porcentaje de 38.40, mostrando que la penca de pitahaya posee mayor cantidad de mucílago que en el nopal; En otras investigaciones se reporta un rendimiento del 17% para sábila, pero menciona que el factor limitante fue la edad de la hoja de dicha planta por lo que el rendimiento pudo ser mayor según Moreno Bustillos et al. (2017).

Tabla 8: Rendimiento

Pesos de las 4 pencas de pitahaya utilizadas (g)	Peso de las pencas de la pitahaya (g)	Peso del mucílago (g)	Promedio de porcentaje %
684.085	2239.829	1174.947	52.46
703.519			
852.225			

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

Determinación de proteínas

En la tabla 9 se puede observar que el promedio de las proteínas del mucílago de penca de pitahaya es de 11.84% considerándose 10 veces mayor al resultado obtenido por Vargas Mamani et al. (2019), en su investigación con un valor de 1.8% para nopal, esto se puede deber a la edad de la penca y además se especifica en la investigación que el valor obtenido fue bajo. Para Rodríguez-González et al. (2020) estableció el contenido de proteínas en su investigación de 12.59% para nopal de cerro y 9.90% para nopal de invernadero, por lo que estos valores se asemejan a los obtenidos en la presente investigación.

Tabla 9: Determinación de proteínas

Número de repeticiones	Cantidad de mucílago (g)	Proteína %	Promedio de proteínas %
1	100.760	11.840	
2	100.560	11.720	11.84
3	100.810	11.950	

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

Conclusiones

Se logró obtener películas de bioplástico utilizando formulaciones con el mucílago de la penca de pitahaya (*Selenicereus undatus*) con un rendimiento de extracción de 52,46% y almidón de papa (*Solanum tuberosum*) como aditivo, en diferentes formulaciones con extracto de orégano (1%), glicerina (5%), vinagre (10%) y grenetina (3%) con valores fijos para lograr una estabilidad de la estructura.

Se caracterizó las propiedades fisicoquímicas del mucílago de penca de pitahaya (*Selenicereus undatus*), con valores de pH (6.61), humedad (92,71%), contenido de ceniza (1,20%), determinación de grasa (0,72%), sólidos solubles (7,29%) y determinación de fibra (6,29%), proteína (11.4%), y determinación de azúcares (0%) estableciendo valores óptimos para el desarrollo de biopelículas.

Según el análisis estadístico de los datos obtenidos del análisis físicos-mecánicos de las biopelículas formadas, se puede establecer que los tratamientos (T₁) y (T₂) dieron mejores resultados comparados con los tratamientos (T₃) y (T₄), sin embargo, el (T₂) presento mejores características de color, sensibilidad al tacto, mayor resistencia a la ruptura (3,17 Pa), elongación (7,57 mm) y fuerza (2,08 N).

Se analizó la actividad antimicrobiana de los cuatro tratamientos aplicado después de la siembra de la bacteria y colocadas en la incubadora a 35°C por 24 horas estableciendo que el (T₁) presentó inhibición al crecimiento de la *E. coli* en comparación a los tratamientos (T₂), (T₃) y (T₄) que existió proliferación de la bacteria descartando la viabilidad de utilizar las formulaciones de los tratamientos para el uso en la industria del empaquetado ya que no existiría una garantía en la seguridad alimentaria.

Referencias

1. Abang, S., Wong, F., Sarbatly, R., Sariau, J., Bains, R., & Besar, N. A. (2023). Bioplastic classifications and innovations in antibacterial, antifungal, and antioxidant applications. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 8(4), 361-387. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2023.06.005>
2. Adeyemi, S. B., Akere, A. M., Orege, J. I., Ejeromeghene, O., Orege, O. B., & Akolade, J. O. (2023). Polymeric nanoparticles for enhanced delivery and improved bioactivity of essential oils. *Heliyon*, 9(6), e16543. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16543>
3. Ali, S. S., Abdelkarim, E. A., Elsamahy, T., Al-Tohamy, R., Li, F., Kornaros, M., Zuorro, A., Zhu, D., & Sun, J. (2023). Bioplastic production in terms of life cycle assessment: A state-of-the-art review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 15, 100254. <https://doi.org/10.1016/j.es.2023.100254>
4. Al-Qthanin, R., Salih, A. M. M. E., Mohammed A Alhafidh, F., Almoghran, S. A. M., Alshehri, G. A., & Alahmari, N. H. (2024). Assessing the suitability of pitaya plant varieties for cultivation in the arid climate of Saudi Arabia. *Heliyon*, 10(1), e21651. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21651>
5. AOAC 920.39. (1920). Fat (Crude) or Ether Extract in Animal Feed. En N. J. Wendt Thiex & G. W. Latimer Jr. (Eds.), *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.041>
6. AOAC 962.09. (1982). Fiber (Crude) in Animal Feed and Pet Food: Ceramic Fiber Filter Method. En N. J. Wendt Thiex & G. W. Latimer Jr. (Eds.), *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL* (p. 0). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.042>
7. Araya Navarro, J. L. (2021). Producción de un biocompuesto a base de almidón termoplástico de yuca amarga (*Manihot Esculenta Crantz*) y nanocelulosa obtenida de rastrojo de piña (*Ananas Comosus*). <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/20527>
8. ASTM D482. (2013). Standard Test Method for Ash from Petroleum Products. <https://www.astm.org/d0482-13.html>
9. ASTM D638. (2003). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. <https://www.astm.org/d0638-14.html>

10. ASTM E96. (2022). Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. <https://www.astm.org/e0096-00e01.html>
11. Barbosa, L. N., Alves, F. C. B., Andrade, B. F. M. T., Albano, M., Rall, V. L. M., Fernandes, A. A. H., Buzalaf, M. A. R., Leite, A. de L., de Pontes, L. G., dos Santos, L. D., & Fernandes Junior, A. (2020). Proteomic analysis and antibacterial resistance mechanisms of *Salmonella Enteritidis* submitted to the inhibitory effect of *Origanum vulgare* essential oil, thymol and carvacrol. *Journal of Proteomics*, 214, 103625. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2019.103625>
12. Barlaam, A., Parisi, A., Spinelli, E., Caruso, M., Taranto, P. D., & Normanno, G. (2019). Global Emergence of Colistin-Resistant *Escherichia coli* in Food Chains and Associated Food Safety Implications: A Review. *Journal of Food Protection*, 82(8), 1440-1448. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-116>
13. Bosquez, J. (2020). Evaluación físico-química de pitahaya (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.R Hunt.) para su aprovechamiento agroindustrial en las provincias de Pastaza y Morona Santiago [Universidad Estatal Amazónica]. <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/871/1/T.AGROIN.B.UEA.2109.pdf>
14. Brianese, A. (2021, julio 1). El impacto ambiental del plástico en la naturaleza. *ambientevitrubio*. <https://www.ambientevitrubio.com/post/el-impacto-ambiental-del-plastico-en-la-naturaleza>
15. Contreras-Omaña, R., Escorcia-Saucedo, A. E., & Velarde-Ruiz Velasco, J. A. (2021). Prevalencia e impacto de resistencias a antimicrobianos en infecciones gastrointestinales: Una revisión. *Revista de Gastroenterología de México*, 86(3), 265-275. <https://doi.org/10.1016/j.rgmx.2021.02.003>
16. Dávila, Y. (2022). Estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del mucílago de la cáscara de pitahaya [Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/136915/Tesis.pdf?sequence=1>
17. Diéguez Santana, K., Zabala Velin, A. A., Villarroel Quijano, K. L., & Sarduy Pereira, L. B. (2020). Evaluación del impacto ambiental del cultivo de la pitahaya, Cantón Palora, Ecuador. *TecnoLógicas*, 23(49), 113-128.
18. Difilo, A. I. (2017). Fortalecimiento asociativo de los actores de la economía popular y solidaria para el aprovechamiento de oportunidades de negocios en mercados

internacionales. Caso: Asociación de productores y comercializadores de pitahaya y otros productos Palora, Provincia de Morona Santiago [Pontificia Universidad Católica del Ecuador].

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14200/FORTALECIMIENTO%20ASOCIATIVO%20DE%20LOS%20ACTORES%20DE%20LA%20ECONOM%c3%8dA%20POPULAR%20Y%20SOLIDARIA%20PARA%20EL%20APROVECHAMIE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

19. Dorigato, A., & Fredi, G. (2023). Effect of nanofillers addition on the compatibilization of polymer blends. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.09.004>
20. Dubreuil, J. D. (2020). Fruit extracts to control pathogenic *Escherichia coli*: A sweet solution. *Heliyon*, 6(2), e03410. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03410>
21. FDA. (2023). *Escherichia coli (E. coli)*. Center for Food Safety and Applied Nutrition. <https://www.fda.gov/food/foodborne-pathogens/escherichia-coli-e-coli>
22. Fredi, G., & Dorigato, A. (2021). Recycling of bioplastic waste: A review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4(3), 159-177. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.06.006>
23. Fuentes, A., García, E., & Fernández, I. (2013). Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA). Método de prensado. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29835/Determinaci%c3%b3n%20CRA_m%c3%a9todo%20prensado.pdf?sequence=3&isAllowed=y
24. García, E. (2011). Optimización del secado por aspersion de mucílago de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en función de sus propiedades reológicas [Instituto Politécnico Nacional]. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER_CIIDIROAX/160/Garc%c3%ada%20Cruz%2c%20E.%20E..pdf?sequence=1&isAllowed=y
25. Gilani, I. E., Sayadi, S., Zouari, N., & Al-Ghouti, M. A. (2023). Plastic waste impact and biotechnology: Exploring polymer degradation, microbial role, and sustainable development implications. *Bioresource Technology Reports*, 24, 101606. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101606>

26. Gujral, H., Sinhmar, A., Nehra, M., Nain, V., Thory, R., Pathera, A. K., & Chavan, P. (2021). Synthesis, characterization, and utilization of potato starch nanoparticles as a filler in nanocomposite films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 186, 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.005>
27. Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718-726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
28. Hosseini, S. N., Pirsá, S., & Farzi, J. (2021). Biodegradable nano composite film based on modified starch-albumin/MgO; antibacterial, antioxidant and structural properties. *Polymer Testing*, 97, 107182. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107182>
29. Imoisili, P. E., & Jen, T.-C. (2023). Synthesis and characterization of bioplastic films from potato peel starch; effect of glycerol as plasticizer. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.565>
30. INCyTU. (2019). Plásticos en los océanos. *NOTA-INCyTU*, 034, 6.
31. ISO 10504. (2013). Starch derivatives. Determination of the composition of glucose syrups, fructose syrups and hydrogenated glucose syrups. Method using high-performance liquid chromatography. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/50792/6aca1053f16945ab93147a538dc54377/ISO-10504-2013.pdf>
32. ISO 10523. (2008). Water quality—Determination of pH. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:10523:ed-2:v1:en>
33. ISO 15512. (2019). Plastics-Determination of water content. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/73834/799f830abad2475186f42edfbc8b46a9/ISO-15512-2019.pdf>
34. Lavagnolo, M. C., Poli, V., Zampini, A. M., & Grossule, V. (2023). Biodegradability of bioplastics in different aquatic environments: A systematic review. *Journal of Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.06.013>
35. Leal Maske, B., Murawski de Mello, A. F., da Silva Vale, A., Prado Martin, J. G., de Oliveira Soares, D. L., De Dea Lindner, J., Soccol, C. R., & de Melo Pereira, G. V. (2024). Exploring diversity and functional traits of lactic acid bacteria in traditional vinegar

- fermentation: A review. *International Journal of Food Microbiology*, 412, 110550. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110550>
36. Ledesma Ugsiña, A. A., Dalgo Flores, V. M., Flores Fiallos, L. M., & Chango Lescano, G. (2021). Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables. *Dominio de las Ciencias*, 7(Extra 4), 39-56.
 37. Leon Moncada, A. J. (2021). Elaboración y caracterización de biopelículas a base de una mezcla de almidón de maíz—Papa, sorbitol y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/17451>
 38. León-Martínez, F. M., Rodríguez-Ramírez, J., Medina-Torres, L. L., Méndez Lagunas, L. L., & Bernad-Bernad, M. J. (2011). Effects of drying conditions on the rheological properties of reconstituted mucilage solutions (*Opuntia ficus-indica*). *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 439-445. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.12.004>
 39. León-Méndez, G., León-Méndez, D., Monroy-Arellano, M. R., Espriella-Angarita, S. D. L., & Barros, A. H.-. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4263410>
 40. Lopes, J., Pettersen, M. K., Grøvlén, M. S., Sharmin, N., Li, K. D., Wetterhus, E., Ferreira, P., Coimbra, M. A., & Gonçalves, I. (2024). Heat-sealable bioplastic films of blended locust bean and potato byproducts for active packaging of fatty foods: Cheese and oat cookies as case studies. *Food Hydrocolloids*, 147, 109322. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109322>
 41. López, A., Lopretti, M., Tomasso, M., & Duarte, G. (2009). Evaluación de residuos de la industria forestal por un sistema de FSS de presacarificación con fines a la producción de alcohol. 4, 9-10.
 42. López-Fernández, M. del M., González García, F., & Franco-Mariscal, A. J. (2022). Plásticos: Revisión bibliográfica en Didáctica de las Ciencias Experimentales (2010-2019). *Revista de Educación*, 397, 1-32. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2022-397-547>
 43. Lozada, L. F., Aguilar, C. N., Vargas, C. L., Bedoya, C. M., & Serna-Cock, L. (2022). Biological control for basal rot in yellow pitahaya fruits (*Selenicereus megalanthus*): Ex

- vivo trials. *Journal of King Saud University - Science*, 34(5), 102042.
<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102042>
44. Madrigal, P. R., Ibarra, A. M., & Robles, I. G. C. (2020). TECNOLOGÍA DE ELABORACIÓN DE GOMITAS DE GRENETINA ADICIONADAS CON VITAMINA C.
45. Martel, G. (2023). OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE CÁSCARA DE PAPA (*Solanum tuberosum*) Y PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) DE RESIDUOS DE POLLERÍAS Y TACACHERÍAS DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO [Universidad Nacional Hermilio Valdizán].
<https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/8955/TAI00220M26.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
46. Merchan, Á., Fischöder, T., Hee, J., Lehnertz, M., Osterthun, O., Pielsticker, S., Schleier, J., Tiso, T., Blank, L. M., Klankermayer, J., Kneer, R., Quicker, P., Walther, G., & Palkovits, R. (2022). Chemical recycling of bioplastics: Technical opportunities to preserve chemical functionality as path towards a circular economy. *Green Chemistry*, 24(24), 9428-9449. <https://doi.org/10.1039/d2gc02244c>
47. Montañez, M. (2022). Producción de bioplástico a partir de almidón de semilla de aguacate (*Persea spp.*) reforzado con material lignocelulósico [Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo].
http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/6684/FIQ-M-2022-0226.pdf?sequence=1
48. Moreno Bustillos, A. I., Humarán Sarmiento, V., Báez Valdez, E. P., Báez Hernández, G. E., & León Villanueva, A. (2017). Transformación del almidón de papa, mucílago de nopal y sábila en bioplásticos como productos de valor agregado amigables con el ambiente. *Ra Ximhai*, 365-382. <https://doi.org/10.35197/rx.13.03.2017.21.am>
49. Morillo-Coronado, A. C., Manjarres-Hernández, E. H., Saenz-Quintero, Ó. J., & Morillo-Coronado, Y. (2022). Morphoagronomic Evaluation of Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) in Miraflores, Colombia. *Agronomy*, 12(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071582>
50. NMX-F-083. (1986). Alimentos. Determinación de humedad en productos alimenticios. <https://vdocuments.mx/nmx-f-083-1986.html>

51. NTE INEN 380. (1985). Conservas Vegetales. Determinación de Sólidos Solubles. Método Refractométrico. <https://studylib.es/doc/4840171/norma-técnica-ecuatoriana-conservass-vegetales>
52. NTE INEN 1670. (1991). Quinua. Determinación de la proteína total. (Proteína cruda). <http://archive.org/details/ec.nte.1670.1991>
53. NTE INEN-ISO 4593. (2014). Plásticos. Películas y hojas de plástico. Determinación del espesor por medición directa con micrómetro (ISO 4593:1993, IDT). <https://docplayer.es/62020855-Quito-ecuador-extracto-plasticos-peliculas-y-hojas-de-plastico-determinacion-del-espesor-por-medicion-directa-con-micrometro-iso-4593-1993-idt.html>
54. OECD. (2022, enero 22). La contaminación por plástico crece sin cesar, en tanto que la gestión de residuos y el reciclaje se quedan cortos, dice la OCDE. OECD. <https://www.oecd.org/espanol/noticias/perspectivas-globales-del-plastico.htm>
55. Oliveria Andrade, R. (2019, noviembre 13). Fabrican plástico biodegradable con almidón de yuca. América Latina y El Caribe. <https://www.scidev.net/america-latina/news/fabrican-plastico-biodegradable-con-almidon-de-yuca/>
56. Palma, M. (2017). Determinación de la Densidad. <https://manuelgpblog.files.wordpress.com/2017/04/manuelgptic3a9rrez-efq-prc3a1ctica8.pdf>
57. Pazmiño Abad, K. G. P. (2021). OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL MUCÍLAGO DE CACTUS (*Opuntia ficus-indica*) PARA USO COMO ENVOLTURAS ALIMENTICIAS [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16780/1/96T00694.pdf>
58. Pazmiño, K. (2021). Obtención de Bioplástico a partir del mucílago de Cactus (*Opuntia ficus-indica*) para el uso como envolturas alimenticias [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16780/1/96T00694.pdf>
59. Quispe, A. S. Q. (2022). Obtención de Plástico Biodegradable a partir de Cladodios de Nopal (*Opuntia tometosa*) como alternativa al uso de bolsas plásticas convencionales [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16919/1/96T00750.pdf>

60. Revista Industria Alimentaria. (2020). Pitahaya: ¿cuáles son sus principales beneficios y propiedades? <https://www.industriaalimentaria.org/blog/contenido/pitahaya-cuales-son-sus-principales-beneficios-y-propiedades>
61. Riera, M. A., & Palma, R. R. (2018). Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador. *Avances en Química*, 13(3), 69-78.
62. Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H. E., Órnelas-Nuñez, J. L., & Garnica-Romo, M. G. (2020). OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*).
63. Salinas-Salazar, V. M., Trejo-Márquez, M. A., & Vargas, A. A. L. (2022). Aplicación de recubrimientos comestibles a base de mucílago de nopal, grenetina y cera de abeja en ciruela almacenada en refrigeración. 23.
64. Sandid, A., Spallina, V., & Esteban, J. (2024). Glycerol to value-added chemicals: State of the art and advances in reaction engineering and kinetic modelling. *Fuel Processing Technology*, 253, 108008. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2023.108008>
65. Sayavedra, J., & Rodríguez, R. (2018). Desarrollo de bioplásticos a partir de tortas residuales y gomas naturales. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.24133/cctespe.v13i1.783>
66. Sotomayor, A., Pitizaca, S., Sánchez, M., Burbano, A., Díaz, A., Nicolalde, J., Viera, W., Caicedo, C., & Vargas, Y. (2019). Evaluación físico química de fruta de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) en diferentes estados de desarrollo. *Enfoque UTE*, 10(1), 89-96.
67. Swain, S. S., Paidasetty, S. K., Padhy, R. N., & Hussain, T. (2023). Nano-technology platforms to increase the antibacterial drug suitability of essential oils: A drug prospective assessment. *OpenNano*, 9, 100115. <https://doi.org/10.1016/j.onano.2022.100115>
68. Tien, N. N. T., Nguyen, H. T., Le, N. L., Khoi, T. T., & Richel, A. (2023). Biodegradable films from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel pectin and potato starches crosslinked with glutaraldehyde. *Food Packaging and Shelf Life*, 37, 101084. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101084>
69. Tomas, M. da G., Rodrigues, L. J., Almeida Lobo, F. de, Takeuchi, K. P., de Paula, N. R. F., Pinto, D. M., Nhantumbo, N., Pizzatto, M., Oualmakran, Y., Machado, G. G. L., & Boas,

- E. V. de B. V. (2023). Physicochemical characteristics and volatile profile of pitaya (*Selenicereus setaceus*). *South African Journal of Botany*, 154, 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.020>
70. Vargas Mamani, J. J., Vera Vargas, G. V., & Suppé Tejada, N. A. (2019). Caracterización físico-química, microscópica de barrido y dispersión de rayos X del mucílago de cladodios de *Opuntia ficus* en la región alta de Tacna. *Rev Soc Quím Perú*. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n3/a03v85n3.pdf>
71. Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., Paucar-Menacho, L. M., Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439-453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>
72. Waller, S. B., Ripoll, M. K., de Melo, L. P., Lindemann, P., Gomes, A. dos R., Martins, O. de A., Cleff, M. B., de Mello, J. R. B., de Faria, R. O., & Meireles, M. C. A. (2023). Are polar extracts and essential oil from *Origanum vulgare* Linn. (Oregano) an alternative against itraconazole-resistant dermatophytes from veterinary cases? *Journal of Medical Mycology*, 33(3), 101391. <https://doi.org/10.1016/j.mycmed.2023.101391>
73. Yang, S.-S., Wu, W.-M., Pang, J.-W., He, L., Ding, M.-Q., Li, M.-X., Zhao, Y.-L., Sun, H.-J., Xing, D.-F., Ren, N.-Q., Yang, J., Criddle, C. S., & Ding, J. (2023). Bibliometric analysis of publications on biodegradation of plastics: Explosively emerging research over 70 years. *Journal of Cleaner Production*, 428, 139423. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139423>
74. Zambrano Sánchez, C. C., Latorre Castro, G. B., & Carrillo Anchundia, B. J. (2022). Materiales Poliméricos y el impacto ambiental: Una revisión. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 7(6 (JUNIO 2022)), 596-614.
75. Zhuang, Y., Wang, Y., & Yang, H. (2024). Effects of cation valence on swelling power, solubility, pasting, gel strength characteristics of potato starch. *Food Chemistry*, 434, 137510. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137510>
76. Zúñiga Rizo, C. A. (2016). *Biología Floral y Estructura Vegetativa de la Pitahaya (Hylocereus undatus Haqoeth) [Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas]*. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3467/Zuniga_Rizo_CA

_MC_Fructicultura_2016.pdf;jsessionid=4B392535AC0AF084B30A6A72668B9C70?sequence=1

77. CLSI, W. L. (2015). M02-A11: Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests; Approved Standard. CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute), 32(1).

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).