

Residuos de la cáscara de yuca y cera de abejas como potenciales materiales de partida para la producción de bioplásticos

Sofía Briones Muñoz^{1*}, María Antonieta Riera²

¹) Maestría de Investigación en Ingeniería Química, Instituto de Posgrado.
Universidad Técnica de Manabí. Ecuador

²) Departamento de Procesos Químicos. Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas.
Universidad Técnica de Manabí. Ecuador

(* jbriones2116@utm.edu.ec)

Recibido: 25/02/2020

Revisado: 25/04/2020

Aceptado: 30/04/2020

<https://doi.org/10.53766/AVANQUIM/2020.15.01.01>

Resumen

Se caracterizaron los residuos de la cáscara de yuca y de la cera de abeja como potenciales materiales de partida en la elaboración de bioplásticos. Se estudió el efecto de la hidrólisis ácida y alcalina sobre la formación de azúcares reductores totales (ART) en el almidón de cáscara de yuca, cera de abeja y su residuo. Las características del almidón indican que puede emplearse como almidón termoplástico. Los mejores resultados de los ART se tuvieron para la hidrólisis alcalina, siendo el residuo de la cera de abeja seguido del almidón de la cáscara de yuca, los mejores sustratos para procesos fermentativos precursores de los biopolímeros.

Palabras claves: residuos de yuca; cera de abeja; azúcares reductores; plástico biodegradable.

Abstract

Shell cassava and beeswax residues were characterized as potential starting materials in the production of bioplastics. The effect of acid and alkaline hydrolysis on the formation of total reducing sugars (ART) in cassava starch, beeswax and its residue was studied. The characteristics of starch indicate that it can be used as thermo-plastic starch. The best results of the ART were obtained for alkaline hydrolysis, being the beeswax residue followed by cassava starch, the best substrates for precursor fermentation processes of biopolymers.

Keywords: Cassava waste; Bee wax; Total reducing sugars; Biodegradable plastic

Introducción

La producción de plástico desde sus inicios se ha caracterizado por contar con un mercado consumista, donde el bajo precio de los materiales producidos ha favorecido la demanda¹. Se estima que al año se generan unas 275 millones de toneladas métricas (MMt) en desechos plásticos, de los cuales entre 4,8 y 12,7 MMt van directamente al océano². Los desechos plásticos ponen en peligro la supervivencia de las especies marinas, al ser susceptibles de enredarse en la basura plástica y sufrir mutilaciones o consecuencias fatales por su ingestión³. Otra problemática es la bioacumulación de microplásticos a lo largo de las costas y en los giros oceánicos, los cuales inhiben el normal funcionamiento de los ecosistemas al incorporar aditivos químicos o contaminantes hidrofóbicos en la cadena trófica⁴.

Como sustitutos a los plásticos convencionales han surgido los llamados biodegradables, con propiedades similares a estos, útiles como material de envase y embalaje⁵. En la actualidad existe una gran variedad de subproductos provenientes

de residuos agrícolas, entre los que se encuentran el maíz, trigo, soya, papa, yuca, entre otros⁶. Estos residuos tienden a ser una materia prima interesante en los procesos de extracción de biopolímeros, por ayudar a reducir el costo de fabricación y al mismo tiempo reducir la carga de contaminación del medio ambiente⁷.

El cultivo de yuca, originario de Suramérica y presente en las regiones tropicales, es considerado como segundo en importancia para la industria de almidón⁸. Las raíces de la planta constituyen el tubérculo, compuesto por un centro carnoso o pulpa que representa un 85% de su peso total y el resto conformado por una cáscara más fibrosa y dura⁹. Los residuos de la planta de yuca tienen potencial para ser usado como combustible¹⁰ y el procesamiento de este rubro agrícola genera desechos sólidos con alto nivel de almidón y materiales lignocelulósicos, con potencial para ser usado como sustrato para la producción de biocombustibles¹¹, biogás, biosurfactantes, ácidos orgánicos y otros químicos valiosos¹², como el ácido láctico¹³.

La cáscara de yuca es considerada como materia prima potencial en la obtención de bioplásticos. El almidón allí presente se empleó para elaborar plásticos biodegradables, al combinarlos con quitosano y sorbitol como plastificante, notando variaciones en las propiedades mecánicas, en dependencia de las formulaciones¹⁴. En otras experiencias se han mejorado las propiedades mecánicas del material al reforzarlo con celulosa microcristalina¹⁵. El residuo fibroso de la yuca e hidrolizados de las cáscaras, también se han utilizado en fermentación en estado semisólido con cultivos de *Lactobacillus* y MRS como medio, para la producción de ácido L-láctico^{16,17}, precursor del ácido poliláctico (PLA) un biopolímero de uso muy actual.

Por otra parte, la apicultura produce, además de la miel de abeja, residuos orgánicos entre los cuales se encuentran los panales que contienen cera, miel, polen y restos de cría¹⁸. La principal materia prima para la generación de cera de abeja son los carbohidratos, es decir los azúcares de la miel, de los cuales se necesitan 8 kg para producir 1 kg de cera¹⁹. Un subproducto de la extracción de la cera es el carozo, un desecho de color oscuro compuesto por capullos de cría, polillas y larvas, abejas muertas, excrementos, polen, propóleos y pequeñas proporciones de cera no extraíble²⁰.

El polen apícola se ha utilizado como sustrato en fermentación láctica²¹, mientras que la cera de abeja se ha empleado como aditivo natural para mejorar la resistencia a la tracción en polímeros de policaprolactona²², en películas basadas en celulosa y carboximetilcelulosa²³, en combinación con anhídrido maleico para impartir hidrofobicidad en mezclas de almidón termoplástico²⁴, e incluso como revestimiento de bandejas biodegradables elaboradas con mezclas de almidón termoplástico y PLA, para mejorar sus propiedades al reducir la permeabilidad al vapor de agua²⁵. El carozo es considerado un residuo con alto contenido de materia orgánica con potencial agrícola²⁶ que se ha empleado hasta ahora como fuente de nutriente en cultivos²⁰.

La composición y propiedades de los residuos agrícolas o agroindustriales permite orientar una aplicación más favorable, así como el desarrollo de la tecnología apropiada para un aprovechamiento máximo²⁷. Por ejemplo el contenido de amilosa/amilopectina en el almidón afecta las propiedades mecánicas de los bioplásticos elaborados así como la adherencia en la mezcla termoplástica²⁸ y, en una fermentación, la actividad metabólica depende del contenido de azúcar presente²⁹.

Con base en lo señalado y partiendo de la necesidad existente de introducir nuevos materiales que no sólo satisfagan las necesidades del mercado, sino que además cumplan con las exigencias ambientales actuales, se hizo esta investigación con el objetivo de caracterizar los residuos de la cáscara de yuca y de la cera de abeja, para evaluar su potencialidad de uso como materia prima en la elaboración de bioplásticos.

Materiales y métodos

Materiales utilizados

Se emplearon residuos de cáscara de yuca, los cuales fue

ron suministrados por un expendio de comida ubicado en la provincia de Manabí, Ecuador. La cera de abeja y residuos de carozo fueron suministrados de la Finca Ecológica Agroindustrial El Junco, localizada en la provincia de Manabí, Ecuador.

Extracción de almidón de la cáscara de yuca

El almidón se extrajo de las cáscaras de yuca tanto por vía seca como por vía húmeda. Por vía seca se empleó la metodología descrita por Román *et al.*³⁰, para lo cual las cáscaras de yuca se lavaron con agua limpia, se retiró la peridermis, se sumergieron en agua destilada y secaron al aire libre durante dos días. Una vez seco el residuo, se cortó y luego se molió en un molino manual. La harina obtenida se tamizó en un tamiz Mesh N° 30.

Para la extracción por vía húmeda se siguió lo descrito por Siagian y Tarigan³¹, que consistió en lavar las cáscaras y retirar la peridermis. Se lavó nuevamente y se secó en una estufa a 70°C durante 24 horas. La cáscara se cortó en pequeñas secciones y se sumergió en 100 mL de agua destilada durante 30 minutos. El residuo con el agua se molió en una licuadora casera, para luego filtrar la suspensión obtenida y lavar el residuo nuevamente con agua destilada. Después de una segunda sedimentación, se obtuvo el almidón el cual se secó en una estufa a 75 °C durante 5 horas. El almidón seco se trituroó en un mortero para finalmente tamizarlo en un tamiz Mesh N° 30.

Extracción de la cera de abeja y su residuo

La extracción de la cera de abeja se hizo siguiendo el método de Yépez³², que consiste en colocar trozos de panal dentro de un recipiente con 500 mL de agua y calentarlo lentamente hasta la fusión de la cera. El material fundido se pasó por un cedazo con paso de 3 mm de diámetro, para eliminar la impureza denominada carozo. La cera fundida se enfrió hasta su endurecimiento y el carozo se trató de acuerdo a lo realizado por Gómez²⁶. Para ello el residuo se secó mediante la exposición directa al sol durante dos semanas e inmediatamente después, se molió con ayuda de un molino manual.

Caracterización química y funcional del almidón

La composición proximal del almidón extraído, tanto por vía seca como por vía húmeda, se determinó de acuerdo a los métodos oficiales descritos por la AOAC³³: humedad (925.09), proteína cruda (954.01), grasa cruda (920.39) y cenizas (923.03). El contenido de amilosa se encontró con el método colorimétrico de Galicia *et al.*³⁴, con modificaciones en el tiempo de desengrasado y solvente utilizado. El contenido de amilopectina se calculó por diferencia del contenido de amilosa. El análisis funcional del almidón se realizó siguiendo lo establecido por Aristizábal *et al.*³⁵, para determinar la temperatura de gelatinización, poder de hinchamiento e índice de absorción. El rendimiento porcentual para la obtención de almidón o harina de cáscara de yuca, se determinó usando la ecuación siguiente:

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{masa de producto obtenido (g)}}{\text{masa cáscara de yuca seca (g)}} * 100\%$$

Caracterización fisicoquímica de la cera de abeja

Se determinó densidad, índice de saponificación, índice de acidez, ceniza y pH de la cera de abeja, usando para ello los métodos descritos por Bernal *et al.*³⁶

Determinación de azúcares reductores totales

Se estudió el efecto que causa el tipo de tratamiento (hidrólisis ácida y alcalina) sobre la formación de azúcares reductores en el almidón extraído por vía húmeda (MH), almidón extraído por vía seca (MS), carozo y cera de abeja. Para la hidrólisis ácida y alcalina se utilizó H₂SO₄ y NaOH, respectivamente, con concentraciones de 3%, 4% y 5% (m/v) y tiempo de reacción de 60 minutos. La determinación de azúcares reductores, se hizo con el método de ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS) en caliente señalado por Bello *et al.*³⁷.

Análisis estadístico

Cada uno de los análisis experimentales se realizó por triplicado y para cada variable se reportó el valor promedio con su respectiva desviación estándar. El procesamiento estadístico de los datos se realizó con la ayuda del software RStudio versión 3.5.1.

Resultados y discusión

Caracterización química y funcional del almidón

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para la caracterización química del almidón extraído de la cáscara de yuca.

Los resultados reportados para las variables analizadas resultaron mayores para la harina obtenida por el método de seco, excepto la humedad y el pH. El porcentaje de humedad para el método húmedo fue similar al valor 9,48% obtenido por Hernández-Medina *et al.*³⁸, estuvo por debajo de 10,63% y por encima de 7,80 y 8,67%, los cuales fueron valores reportados para diferentes variedades de yuca^{39,40}. El contenido de humedad para el método seco

Tabla 1. Caracterización química del almidón de la cáscara de yuca.

Variable	Método húmedo	Método seco
Humedad, %	9,7 ± 1,3	2,80 ± 0,61
Proteína, %	4,37 ± 0,01	4,82 ± 0,01
Grasa, %	0,87 ± 0,01	0,86 ± 0,02
Ceniza, %	2,3 ± 0,5	3,16 ± 0,01
pH	7,16 ± 0,07	6,49 ± 0,03
Amilosa, %	17,10 ± 0,10	20,2 ± 0,4
Amilopectina, %	82 ± 2	79,9 ± 0,5

fue muy inferior a lo reportado para el método húmedo. Esta diferencia pudo deberse a la metodología empleada, puesto que se ha logrado reducir la humedad del 30 al 10% al usar un secador de aire caliente a una temperatura entre 30°C y 35°C durante aproximadamente 60 minutos⁴¹. La hidrofiliidad del almidón afecta la resistencia a la humedad de los productos que se obtengan a partir de este, limitando sus posibles aplicaciones⁴². A mayor contenido de humedad, más rápido es el de deterioro del producto⁴³, por lo que un almidón con menor contenido de humedad favorecería su almacenamiento como materia prima.

La proteína y la grasa tuvieron valores similares para ambos métodos de extracción. La proteína para ambos métodos tuvo valores cercanos a 3,97%; 4,04% y 5,62%, correspondiente a lo registrado en investigaciones similares donde se trabajó con harina de cáscara de yuca^{30,44,45}. La grasa fue de 0,87% y 0,86% para la extracción en método húmedo y seco, respectivamente, siendo superior a lo señalado en trabajos similares, cuyos valores fueron 0,48%³⁰ y 0,54%⁴⁵.

La ceniza fue de 2,3% para el almidón extraído por vía húmeda 3,16% para el obtenido por vía seca. Vilhalba *et al.*⁴⁵ reportó contenido de cenizas de 3,48%; mientras que Román *et al.*³⁰ registró 5,55% para harina de cáscara de yuca. Estas diferencias, puede deberse a las distintas variedades estudiadas, así como al proceso de fabricación empleado⁴⁶, el cual afecta las características químicas de la harina obtenida.

El pH se ubicó dentro del rango de 6,41 a 9,33 reportado al caracterizar almidón de tres variedades de yuca⁴⁷. En algunas especies el pH varía de alcalino a ácido a medida que cambia el grado maduración⁴⁸. El pH es un factor que influye en la formación de la película de bioplástico, razón por la cual en ocasiones es necesario ajustarlo⁴⁹.

Para la mayoría de los almidones, la amilosa representa cerca del 20% y la amilopectina un 80%⁵⁰, coincidiendo con lo obtenido en esta investigación. Valores similares encontró Román *et al.*³⁰ para la amilosa y la amilopectina, al determinar las características químicas de harina, extraída de la cáscara de yuca. Anggraini *et al.*⁵¹ estudió veinte genotipos de yuca y determinó que la amilosa se encontraba entre 16,90% y 29,50%. El contenido de amilosa afecta la gelatinización y retrogradación del almidón, tica⁵², influyendo así en el proceso de formación de la película así como su durabilidad.

En el análisis funcional del almidón de la cáscara de yuca, los resultados presentaron semejanza entre los resultados obtenidos para los dos métodos de extracción (tabla 2).

La temperatura de gelatinización es aquella en la cual los gránulos del almidón se comienzan a hinchar y su valor para almidones de yuca varía entre 57,50 y 70 °C^{35,39}, teniendo en este caso valores cercanos al límite inferior señalado. Dada su baja temperatura de gelatinización, el al-

Tabla 2: Evaluación de las propiedades funcionales del almidón de la cáscara de yuca

Variable	Método húmedo	Método seco
Temperatura de gelatinización, °C	57,0±0,9	57,2±0,2
Poder de hinchamiento (PH), g gel/g muestra	4,82±0,01	5,07±0,01
Índice de absorción de agua (IAA), g/g	2,24±0,01	3,26±0,01

midón de yuca debería emplearse para productos que no requieran temperaturas elevadas³⁸, siendo el caso de bioplásticos cuyo fin no requiera que sean sometidos a tratamientos térmicos posteriores.

El poder de hinchamiento está relacionado con la capacidad que tiene cada almidón de absorber agua⁵³. La gelatinización causa un aumento en el poder de hinchamiento y la absorción de agua es una magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de las secciones amorfas y cristalinas⁵⁴.

En el almidón de yuca, el índice de absorción de agua varía entre 0,82 y 15,52 g gel/g muestra y el poder de hinchamiento se ubica entre 0,79 y 15,45 g/g³⁵. Tanto para el almidón obtenido por vía seca como por vía húmeda se tuvieron valores dentro de los rangos señalados para poder de hinchamiento e índice de absorción. Salcedo-Mendoza *et al.*⁵⁵ reportaron valores de 3,54 y 5,22 g gel/g muestra de IAA y 3,39 y 5,38 para PH en almidones nativos y acetilados de yuca. Estos dos parámetros están relacionados e indican que el almidón de yuca tiene capacidad de absorción de agua, ya que al calentar la suspensión acuosa de esta, los gránulos aumentan su tamaño por hinchamiento⁵⁶.

El rendimiento porcentual en la extracción de harina de la cáscara de yuca producida por método seco, resultó mayor en relación al almidón obtenido por el método húmedo (tabla 3). García *et al.*⁵⁶ alcanzaron un rendimiento del 57% para la extracción artesanal de almidón de raíces de yuca. Silva *et al.*⁵⁷ señalaron que fue posible la recuperación de almidón de yuca por vía seca en un 27% y por vía húmeda de un 60%. El porcentaje de extracción de almidón con el método seco de 68,00%, se considera satisfactorio, si se compara con los rendimientos máximos logrados en la extracción de almidón por vía seca presenta ventajas con respecto al método por vía húmeda, puesto que este último requiere grandes cantidades de agua que luego se convierte en un residual contaminante dada su elevada extracción de almidón de plátano 23,54%⁵⁸, quinua 30,62%⁵⁹, papa 16,50%⁶⁰, camote 22,10 a 35,79%⁶¹.

Tabla 3: Rendimiento en la extracción del almidón de la cáscara de yuca.

Rendimiento	% ± σ
Método seco	54 ± 14
Método húmedo	10 ± 3

carga orgánica y presencia de compuestos cianurados de alta toxicidad⁶². Los resultados obtenidos permiten inferir que el método seco podría ser el más adecuado para obtener los mayores porcentajes de aprovechamiento del residuo, pese a que toda su composición no sería almidón. En cambio, por el método húmedo por el proceso de lavado y tamizado permite que se pierda gran cantidad de residuo sin ser utilizado, con la consiguiente producción de residuos líquidos de elevada carga orgánica.

Caracterización fisicoquímica de la cera de abeja

Para la extracción de la cera se emplearon panales viejos, con gran cantidad de carozo presente. En la tabla 4 se exponen las propiedades físicas y químicas de la cera de abeja, siendo superiores a lo reportado por Bernal *et al.*³⁶ y Velickova *et al.*⁶³ para cera de abeja pura, con excepción del índice de acidez el cual estuvo entre 16,12 y 21,90 mg KOH/g.

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de la cera de abeja.

Variable	Valor reportado ± σ
Densidad, g/mL	1,80 ± 0,04
Índice de saponificación, mg KOH/g	179,63±0,01
Índice de acidez, mg KOH/g	7,03±0,04
Ceniza, %	1,02±0,12
pH	5,32±0,41

Para la cera de abeja la Pharmacopeia establece propiedades y criterios de calidad, para que esta pueda ser usada en la industria cosmética, farmacéutica o de alimentos. De modo que la densidad debe estar entre 0,95 y 0,965 g/mL y el índice de acidez entre 18 y 23 mg KOH/g⁶⁴.

La cera de abeja es un portador de lípidos⁶⁵, que aporta características de plasticidad y lubricación en los bioplásticos, importantes para facilitar su procesamiento y desmoldado⁶⁶. Puede usarse sola como recubrimiento en películas o en combinación con antimicrobianos naturales⁶⁷, sin interferir en su estructura ni en las propiedades mecánicas⁶³. Su incorporación en la mezcla polimérica, introduce discontinuidades en la estructura del polímero, mejora la propiedad de barrera de vapor, aumenta la permeabilidad al oxígeno y afecta las propiedades mecánicas de las películas, haciéndolas menos rígidas^{63,68,69}.

Cuantificación de azúcares reductores

Las figuras 1 y 2 muestran los resultados obtenidos para la

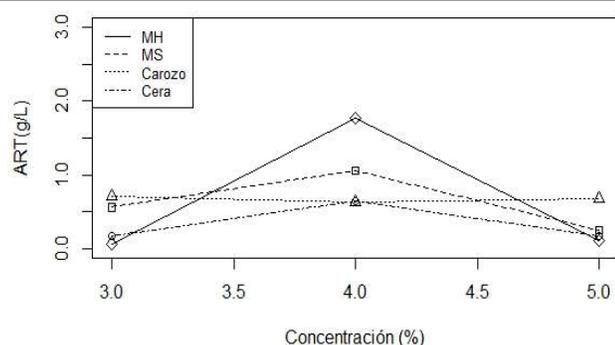


Fig. 1: Concentración de ART vs. Concentración de H₂SO₄ para la hidrólisis ácida.

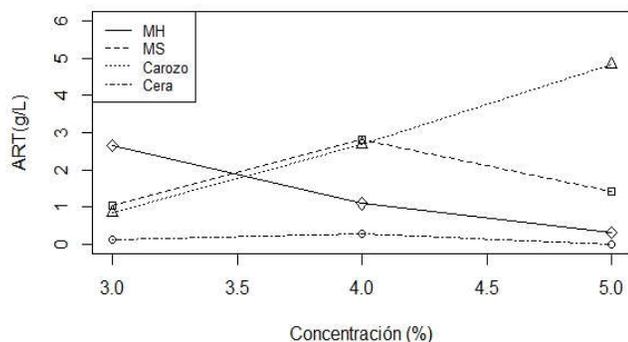


Fig. 2: Concentración de ART vs. Concentración de NaOH para la hidrólisis alcalina.

concentración de los azúcares reductores (ART) en dependencia de la concentración de H₂SO₄ y NaOH para la hidrólisis ácida y alcalina, respectivamente.

La mayor concentración de ART para el almidón extraído por los métodos húmedo y seco fue de 2,63 g/L y 3,09 g/L, respectivamente, obtenidos con hidrólisis alcalina en concentraciones de 3% y 4% respectivamente. Para la cera de abeja y su residuo, las concentraciones más altas fueron 0,62 g/L en hidrólisis ácida al 4% y 4,60 g/L en hidrólisis alcalina al 5%, respectivamente.

En la tabla 5 se muestra el análisis de varianza para cada material hidrolizado. Para todos los materiales con un valor $p < 0,05$ se tiene que el tratamiento, la concentración y la interacción entre ellos, ejercen influencia significativa en la producción de azúcares fermentables.

En la figura 3 se muestra la interacción que tiene el tratamiento (1: alcalino, 2: ácido) y la concentración, en la producción media de ART. Se evidencia una mayor producción media de ART con tratamiento alcalino para el carozo y el almidón, independientemente de su método de extracción. La cera de abeja no resultó ser una buena fuente para producir ART sin importar el tipo de pre-tratamiento al cual esté sometido.

La hidrólisis facilita la conversión del sustrato en azúcares fermentables, al solubilizar la hemicelulosa y la lignina de la biomasa. El comportamiento variable en la obtención de ART puede deberse a la temperatura del proceso, donde suelen generarse algunos compuestos de degradación de los azúcares, así como también a la complejidad estructural y composición del tipo de residuo utilizado⁷⁰.

Para los sustratos analizados, la mejor fuente de azúcares reductores se obtiene del carozo con hidrólisis alcalina al 5%, seguido del almidón MH con hidrólisis alcalina al 4%. Rodríguez *et al.*⁷¹, obtuvieron azúcares reductores a partir de aserrín de pino y lograron una mayor deslignificación al trabajar con concentraciones de H₂SO₄ y NaOH al 3%. Michelena *et al.*⁷² señalaron que era factible la hidrólisis alcalina del bagazo de caña de azúcar, a partir de NaOH al 3%, con remoción del 80% de la celulosa, siendo ventajosa frente a la hidrólisis ácida que ha reportado rendimientos cercanos al 55% y generar gran cantidad de productos de degradación. A mayor porcentaje de azúcares reductores, mejor es el rendimiento en el proceso fermentativo, porque el sustrato es utilizado por los microorganismos como fuente de carbono y energía para su crecimiento y lograr la transformación de azúcares durante la fermentación^{73,74}.

Tabla 5. Análisis de varianza para los factores tratamiento (Trat), concentración (Conc) y su interacción (Trat:Conc)

Material	Factor	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados promedio	F valor	p valor
Almidón MH	Trat	1	2,201	2,201	200,3	7,55x10 ⁻⁰⁹
	Conc	2	5,580	2,790	253,8	1,52 x10 ⁻¹⁰
	Trat:Conc	2	8,452	4,226	384,5	1,32 x10 ⁻¹¹
Almidón MS	Trat	1	5,800	5,800	314,65	5,63 x10 ⁻¹⁰
	Conc	2	4,968	2,484	134,78	5,99 x10 ⁻⁰⁹
	Trat:Conc	2	1,198	0,599	32,51	1,43 x10 ⁻⁰⁵
Cerozo	Trat	1	20,096	20,096	12416	<2 x10 ⁻¹⁶
	Conc	2	11,700	5,850	3614	<2 x10 ⁻¹⁶
	Trat:Conc	2	12,003	6,001	3708	<2 x10 ⁻¹⁶
Cera de abeja	Trat	1	0,1685	0,16852	62,26	4,33 x10 ⁻⁰⁶
	Conc	2	0,4915	0,24575	90,79	5,67 x10 ⁻⁰⁸
	Trat:Conc	2	0,0722	0,03610	13,34	0,000892

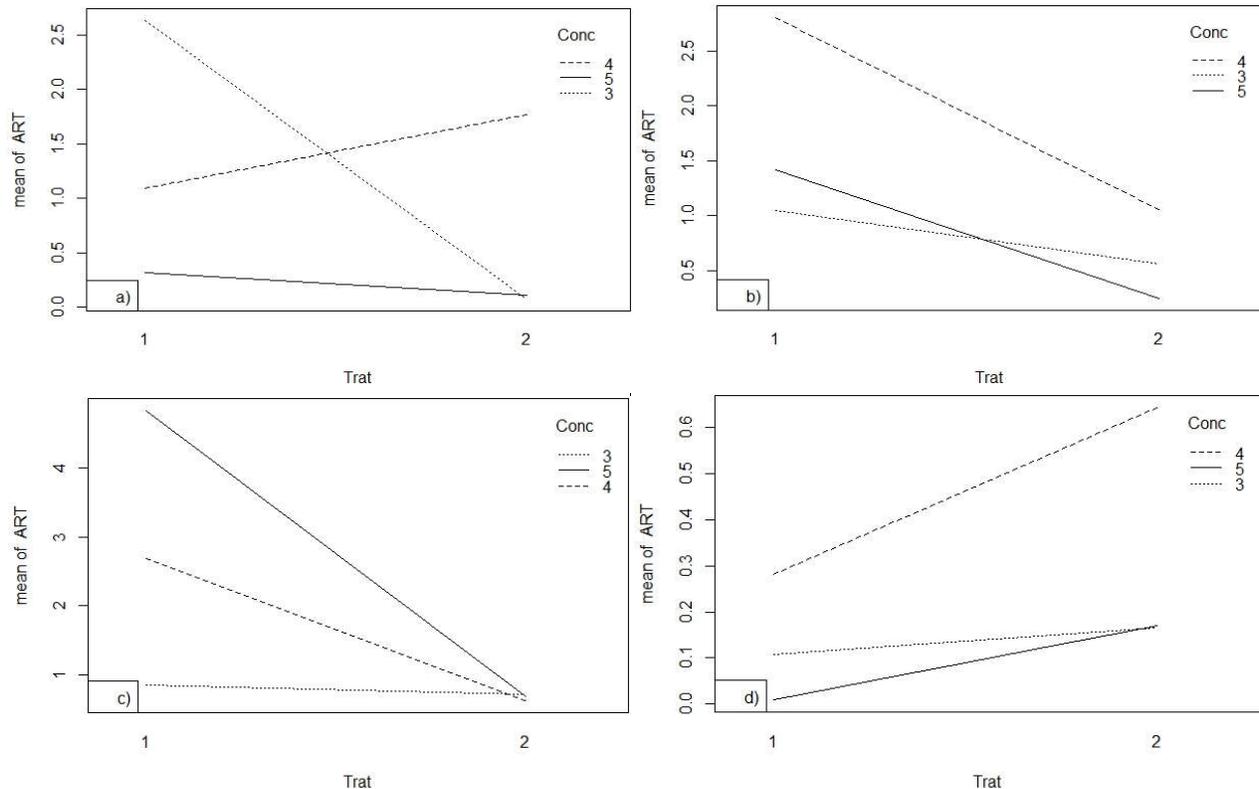


Fig. 3: Interacción entre los factores tratamiento y concentración (Trat:Conc). a) Almidón MH, b) Almidón MS, c) Carozo, d) Cera de abeja.

Conclusiones

La extracción del almidón de la cáscara de yuca por el método seco, con un rendimiento del 68%, resultó ser más eficiente en relación al método húmedo, presentando como ventaja adicional un menor consumo de agua y por ende menor impacto ambiental durante su procesamiento. Los resultados obtenidos en el análisis químico y funcional del almidón, lo describen como un material adecuado para funcionar como matriz en la preparación de soluciones formadoras de películas bioplásticas recubiertas con cera de abeja. En la determinación de azúcares reductores totales, se obtuvieron mejores resultados con el tratamiento alcalino respecto al ácido, siendo el mejor sustrato el carozo, seguido del almidón extraído por el método seco. Se sugiere el uso de residuos de la yuca y cera de abeja, como materia prima en la elaboración de almidones termoplásticos o bien como sustratos para la fermentación láctica, precursor de los biopolímeros.

Referencias

1. G Gourmelon. Global Plastic Production Rises, Recycling Lags. En: *WorldWatch Institute*. Vol 22. Island Press, 91-98 (2015). Disponible en: <http://www.plastic-resource-center.com/wp-content/uploads/2018/11/Global-Plastic-ProductionRisesRecycling-Lags.pdf>. Consultado: 07/02/2020
2. R Elías. Mar del plástico. Una revisión del plástico en el mar. *Rev. Invest. Desarr. Pesq.* **27**, 83-105 (2015).
3. JGB Derraik. The pollution of the marine environment by plastic debris: A review. *Mar. Pollut. Bull.*, **44(2)**, 842-852 (2002).
4. M Cole, P Lindeque, C Halsband, TS Galloway. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Pollut. Bull.*, **62(12)**, 2588-2597 (2011).
5. A Cirujeda, C Zaragoza, J Aibar, S Fernández-Cavada. Desarrollo de bioplásticos y otros materiales biodegradables para uso agrícola. En: *IV Foro INIA "Adaptación al cambio climático en la producción hortícola"*. INIA (2013). Disponible en: <http://wwwsp.inia.es/Investigacion/OtrasUni/TransferenciaTecnologia/ForosINIA/CamCliHor/Lists/Ponencias/Attachments/32/Carlos%20Zaragoza.pdf>. Consultado: 12/02/2020
6. D Navia, A Ayala, H Villada. Isotermas adsorción de bioplásticos de harina yuca moldeados por compresión. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, **9(1)**, 77-87 (2011).
7. PK Sadh, S Duhan, JS Duhan. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresour. Bioprocess.* **5(1)**, 1-15 (2018).
8. H Ceballos. Presentación del cultivo de la yuca. En: *International Center for Tropical Agriculture*. CIAT (2019). Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/105745>. Consultado: 07/02/2020
9. J Cock. Cassava: New potential for a neglected crop. CRC Press. London-UK (2019).
10. JP Soto-Veiga, T Losada-Valle, JC Feltran, WA Bizzo. Characterization and productivity of cassava waste and its use as an energy source. *Renew. Energy* **93**, 691-699 (2016).

11. D Johnravindar, N Elangovan, NO Gopal, A Muthaiyan, Q Fei. Biobutanol production from cassava waste residue using *Clostridium* sp. AS3 in batch culture fermentation. **Biofuels**, **38(13-14)**, (2019).
12. M Zhang, L Xie, Z Yin, SK Khanal, Q Zhou. Biorefinery approach for cassava-based industrial wastes: Current status and opportunities. **Bioresour. Technol.**, **215**, 50–62 (2016).
13. H Chen, B Chen, Z Su, K Wang, B Wang, Y Wang, Z Si, Y Wu, D Cai, P Qin. Efficient lactic acid production from cassava bagasse by mixed culture of *Bacillus coagulans* and *Lactobacillus rhamnosus* using stepwise pH controlled simultaneous saccharification and co-fermentation. **Ind. Crops Prod.**, **146**, 112175 (2020).
14. U Fathanah, MR Lubis, CM Rosnelly, R Moulana, R. Making and Characterizing Bioplastic from Cassava (*Manihot utilissima*) Peel Starch with Sorbitol As Plasticizer. En: The 7th International Conference of Chemical Engineering on Science and Applications. 2013: 148-154.
Disponible en: <https://rp2u.unsyiah.ac.id/index.php/welcome/prosesDownload/1128/5>. Consultado: 12/02/2020
15. M Maulida, M Siagian, P Tarigan. Production of Starch Based Bioplastic from Cassava Peel Reinforced with Microcrystalline Cellulose Avicel PH101 Using Sorbitol as Plasticizer. **J. Phys. Conf. Ser.**, **710**, 30-31 (2016).
16. RC Ray, P Sharma, SH Panda, Lactic acid production from cassava fibrous residue using *Lactobacillus plantarum* MTCC 1407. **J. Environ. Biol.**, **30**, 847–852 (2009).
17. O Nwokoro. Production of L-lactic acid from Cassava peel wastes using single and mixed cultures of *Rhizopus oligo-sporus* and *Lactobacillus plantarum*. **Chem. Ind. Chem. Eng. Q.**, **20(4)**, 457–461 (2014).
18. ME Jiménez. Manejo y mantenimiento de colmenas. Mundi-Prensa. Madrid (2017).
19. P Vit. Productos de la colmena secretados por las abejas: Cera de abejas, jalea real y veneno de abejas. **Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel**, **36(1)**, 35-42 (2005).
20. R Morales-Corts, MA Gómez-Sánchez, R Pérez-Sánchez, C Prieto-Calvo. Characterization of beekeeping wastes for using in seedling production. **Spanish J. Agric. Res.**, **8(2)**, 493–500 (2010).
21. CA del Risco-Ríos, Y Puig-Peña, G Rodríguez-Castro, CV Leiva-Castillo, R García-Neninger, ZM Artilles-Cervera. Optimización de la fermentación ácido láctica del polen apícola a escala de laboratorio. **APICIENCIA**, **16(2)**, 1-14 (2014).
22. C Pavon, M Aldas, J López-Martínez, S Ferrandiz. New Materials for 3D-Printing Based on Polycaprolactone with Gum Rosin and Beeswax as Additives. **Polymers**, **12(2)**, 334 (2020).
23. Indriyati, L Indrarti. Preparation and characterization of bacterial cellulose-beeswax films. En: *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, Vol 160. 2nd International Symposium on Green Technology for Value Chains, 23-24 (2017).
Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/160/1/012010>. Consultado: 15/02/2020
24. M Pervaiz, P Oakley, M Sain. Development of Novel Wax-enabled Thermoplastic Starch Blends and Their Morphological, Thermal and Environmental Properties. **Int. J. Compos. Mater.**, **4(5)**, 204–212 (2014).
25. MO Reis, JB Olivato, AP Bilck, J Zanela, MV Eiras-Grossmann, F Yamashita. Biodegradable trays of thermoplastic starch/poly (lactic acid) coated with beeswax. **Ind. Crops Prod.**, **112**, 481–487 (2018).
26. M Gómez. Caracterización de residuos apícolas y análisis de estrategias para su utilización en producción vegetal. Trabajo especial de grado de Doctorado en Química Aplicada. Universidad de Salamanca, Salamanca, España (2011).
27. E Cabrera-Rodríguez, V León-Fernández, AC Montano-Pérez, D Dopico-Ramírez. Caracterización de residuos agroindustriales con vistas a su aprovechamiento. **Cent. Azúcar**, **43(4)**, 27–35 (2016).
28. RC Nissa, AK Fikriyyah, AHD Abdullah, S Pudjiraharti. Preliminary study of biodegradability of starch-based bioplastics using ASTM G21-70, dip-hanging, and Soil Burial Test methods. En: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 277, 3rd International Symposium on Green Technology for Value Chains, 1–2 (2018).
Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/277/1/012007>. Consultado: 15/02/2020
29. KL Pettersson, S. The influence of the carbohydrate fraction and additives on silage quality. **Grass Forage Sci.**, **45(2)**, 223–233 (1990).
30. Y Román, N Techeira, J Yamarte, Y Ibarra, M Fasendo. Caracterización físico-química y funcional de los subproductos obtenidos durante la extracción del almidón de musáceas, raíces y tubérculos. **Interciencia**, **40(5)**, 350–356 (2015).
31. Maulida, M Siagian, P Tarigan. Production of Starch Based Bioplastic from Cassava Peel Reinforced with Microcrystalline Cellulose Avicel PH101 Using Sorbitol as Plasticizer. **J. Phys. Conf. Ser.**, **710**, 012012 (2016).
32. AJ Nathan, A Scobell. How China sees America. The sum of Beijing's fears. En: *Foreign Affairs*. Vol 91. N 5. RAND.org., 32-47 (2012).
Disponible en: https://www.rand.org/pubs/external_publications/EP66518.html. Consultado: 12/02/2020
33. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Methods of analysis of association of official analytical chemists. AOAC International, United States (2019).
34. L Galicia, A Miranda, MG Gutierrez, O Custodio, A Rosales, N Ruiz, R Surles, N Palacios Rojas. Laboratorio de calidad nutricional de maíz y análisis de tejido vegetal: Protocolos de laboratorio. CIMMYT. México (2012).
35. J Aristizábal, T Sánchez. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. FAO. Roma (2007).
36. JL Bernal, JJ Jiménez, MJ Del Nozal, L Toribio, MT Martín. Physico-chemical parameters for the characterization of pure beeswax and detection of adulterations. **Eur. J. Lipid Sci. Technol.**, **107(3)**, 158–166 (2005).
37. D Bello-Gil, E Carrera-B., Y Díaz-M. Determinación de azúca-

- res reductores totales en jugos mezclados de caña de azúcar utilizando el método de ácido 3,5 dinitrosalicílico. **ICIDCA Sobre los Deriv. la Caña Azúcar**, **40(2)**, 45–50 (2006).
38. M Hernández-Medina, JG Torruco-Uco, L Chel-Guerrero, D Betancur-Ancona. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. **Cienc. Tecnol. Aliment.**, **28(3)**, 718–726 (2008).
 39. A Alvis, CA Vélez, HS Villada, M Rada-Mendoza. Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. **Inf. Tecnol.**, **19(1)**, 19–28 (2008).
 40. G Luna, H Villada, R Velasco. Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique: Preliminares. **DYNA**, **76(159)**, 145–151 (2009).
 41. PS Pandian, T Meenambal. Studies on performance of recent techniques adopted in various starch and sago industries. **Int. J. Eng. Technol.**, **7(7)**, 122–129 (2017).
 42. DP Navia, AA Ayala, HS Villada. Isotermas de adsorción de bioplásticos de harina de yuca moldeados por compresión. **Biotecnol. en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial**, **9(1)**, 77–87 (2011).
 43. GR Castillejos, CL Ortega, AG Pérez, NM García, RR Salazar. Effects of transglutaminase on the proximal and textural properties of gluten-free bread of sorghum and quinoa. **Rev. la Fac. Agron.**, **35(2)**, 188–201 (2018).
 44. LRF Souto, M Caliari, MS Soares-Júnior, FA Fiorda, MC Garcia. Utilization of residue from cassava starch processing for production of fermentable sugar by enzymatic hydrolysis. **Food Sci. Technol.**, **37(1)**, 19–24 (2017).
 45. DAA Vilhalva, MSS Júnior, CMA Moura, M Caliari, TAC Souza. Aproveitamento da farinha de casca de mandioca na elaboração de pão de forma. **Rev. Inst. Adolfo Lutz.**, **70(4)**, 514–521 (2011).
 46. N Techeira, L Sívoli, B Perdomo, A Ramírez, F Sosa. Caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta crantz*), batata (*Ipomoea batatas lam*) y ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela. **Interciencia**, **39(3)**, 191–197 (2014).
 47. KP Contreras-Lozano, JG Salcedo-Mendoza, F Estrada-Garrido. Caracterización funcional de almidón catiónico de yuca (*Manihot esculenta*). **Rev. Ion**, **26(2)**, 31–38 (2013).
 48. J López, J Cuarán, L Arenas, L Flórez. Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico. **Rev. Colomb. Investig. Agroindustriales**, **1(1)**, 7–21 (2014).
 49. M Camacho-Elizondo, J Vega-Baudrit, A Campos-Gallo. Uso de nanomateriales en polímeros para la obtención de bioempaques en aplicaciones alimentarias. **Rev. Soc. Química del Perú**, **77(4)**, 292–306 (2011).
 50. GR Avilés. Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. **Ingeniería y Cienc.**, **2(4)**, 5–28 (2006).
 51. V Anggraini, E Sudarmonowati, NS Hartati, L Suurs, RGF Visser. Characterization of cassava starch attributes of different genotypes. **Starch/Staerke**, **61(8)**, 472–481 (2009).
 52. N Correa-Meaño, AT Ciarfella-Pérez, AM Dorta-Villegas. Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. **Saber**, **26(2)**, 182–187 (2014).
 53. C Granados, L Guzman, DC Acevedo, MM Díaz, AA Herrera. Propiedades funcionales del almidón de Sagu (*Maranta arundinacea*). **Biotecnol. en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial**, **12(2)**, 90–96 (2014).
 54. ER Sandoval, A Lascano, G Sandoval, G. Influencia de la sustitución parcial de la harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. **Rev. UDCA Actual. Divulg. Científica**, **15(1)**, 199–207 (2012).
 55. JC Salcedo-Mendoza, MC Rodríguez-Lora, JA Figueroa-Flórez. Efecto de la acetilación en las propiedades estructurales y funcionales de almidones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y ñame (*Dioscorea alata* cv. Diamante 22). **Rev. Mex. Ing. Quim.**, **15(3)**, 787–796 (2016).
 56. ORG Acosta, MIF Pinzón, ALT Sánchez. Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot Esculenta*, variedad ica, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. **@LIMENTECH**, **11(1)**, 13–21 (2013).
 57. E Silva, B Ospina, L Alonso. Obtención industrial de harina de yuca en el tercer milenio. En: *La yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. CIAT, 456–468 (2003).
 58. FV Dávila. Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco (*Musa paradisiaca*). **Rev. Investig. Univ.**, **30(2)**, 23–28 (2014).
 59. D Arzapalo-Quinto, K Huamán-Cóndor, M Quispe-Solano, C Espinoza-Silva. Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) negra collana, pasankalla roja y blanca junín. **Rev. Soc. Química del Perú**, **81(1)**, 44–54 (2015).
 60. G Vargas, P Martínez, C Velezmoro. Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. **Sci. Agropecu.**, **7**, 223–230 (2016).
 61. AG Miranda, JL Montañez, RI García. Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos del tubérculo de camote del cerro (*Dioscorea* spp). **Rev. Iberoam. Tecnol. Postcosecha**, **9(1)**, 81–88 (2008).
 62. M Cobana. Evaluación de extracción de almidón (*Manihot Esculenta*) por vía seca: Alternativa de procesamiento a la extracción de yuca por vía húmeda. Editorial Academia Española. Madrid (2012).
 63. E Velickova, E Winkelhausen, S Kuzmanova, M Moldão-Martins, VD Alves. Characterization of multilayered and composite edible films from chitosan and beeswax. **Food Sci. Technol. Int.**, **21(2)**, 83–93 (2015).
 64. S Bogdanov. Beeswax: Quality issues today. **Bee World** **85(3)**, 46–50 (2004).
 65. AAA Attama, BC Schicke, CC Müller-Goymann. Novel physically structured lipid matrices of beeswax and a homolipid from *Capra hircus* (goat fat): A physicochemical characterization for

- application in drug delivery. **J. Drug Deliv. Sci. Technol.**, **17(2)**, 103–112 (2007).
66. JC Blanco, MC Caicedo, MP Caro, JM Centeno, MH Rodríguez. Elaboración de una película plástica biodegradable a partir del almidón de yuca y pectina. **Rev. CLIC**, **1(1)**, 1–6 (2017).
67. TA Ochoa, BE García-Almendárez, A Amaro-Reyes, DM Rivera-Pastrana, GF Gutiérrez-López, O Martín-Belloso, C Regalado-González. Design and Characterization of Corn Starch Edible Films Including Beeswax and Natural Antimicrobials. **Food Bioprocess Technol.**, **10**, 103–114 (2017).
68. MA Haq, A Hasnain, FA Jafri, MF Akbar, A Khan. Characterization of edible gum cordia film: Effects of beeswax. **LWT - Food Sci. Technol.**, **68**, 674–680 (2016).
69. JH Lim, JA Kim, JA Ko, HJ Park. Preparation and Characterization of Composites Based on Polylactic Acid and Beeswax with Improved Water Vapor Barrier Properties. **J. Food Sci.**, **80(11)**, E2471–E2477 (2015).
70. C Chandler, N Villalobos, E González, E Arenas, Z Mármol, J Ríos, C Aiello-Mazzarri. Hidrólisis ácida diluida en dos etapas de bagazo de caña de azúcar para la producción de azúcares fermentables. **Multiciencias**, **12(3)**, 245–253 (2012).
71. MD Rodríguez, ML Castrillo, JE Velázquez, GR Kramer, C Sedler, PD Zapata, L Villalba. Obtención de azúcares fermentables a partir de aserrín de pino pretratado secuencialmente con ácido-base. **Rev. Int. Contam. Ambient.**, **33(2)**, 317–324 (2017).
72. G Michelena, G Bueno, F Eng, M Viñals, A Álvarez, A Bell, E Carrera, E Manganelly. Etanol celulósico: una alternativa energética sustentable sin competencia con los alimentos. **ICIDCA Sobre los Deriv. la Caña Azúcar** **43(1)**, 10–16 (2009).
73. RR Calderón, FO Muñoz, JH Chirre-Flores. Estudio del consumo de azúcares reductores durante la fermentación alcohólica del mosto de uva Italia para la obtención de vino blanco. **Ind. Data**, **19(2)**, 104–110 (2016).
74. LP Tejada, C Tejada, A Villabona, MR. Alvear, CR Castillo, DL Henao, W Marimón, N Madariaga, A Tarón. Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. **Revista educación en ingeniería**, **10**, 120–125 (2010).