

Elaboración de bioplásticos y determinación de su biodegradabilidad - Proyecto de laboratorio

Elaboration of bioplastics and determination of their biodegradability - Laboratory project

Paola Meza R. ¹, Lawrence Quipuzco U. ², Victor Meza C. ³

Recibido: Enero 2019 - Aprobado: Junio 2019

RESUMEN

El proyecto de investigación tuvo como finalidad la elaboración de bioplástico a partir de almidón de papa, éste fue extraído de los residuos del proceso de pelado mediante el uso de una peladora industrial de baja capacidad. Asimismo, buscó también determinar y evaluar la biodegradabilidad del bioplástico elaborado, para lo cual se tomó la Norma ISO 17556:2012 como referencia. La investigación tuvo tres etapas, la primera fue la extracción del almidón, en ésta etapa se evaluó la variación de la temperatura y del aditivo antioxidante metabisulfito de sodio en el proceso. El ensayo realizado a temperatura ambiente y con 3% de metabisulfito de sodio resultó obtener una mayor cantidad de almidón, por lo que se utilizaron dichas cantidades en la elaboración del bioplástico. El almidón presentó una relación de 26.21/73.79 de amilosa/amilopectina y una similitud de espectro con el espectro soluble starch de 89.8%. La segunda etapa, fue la elaboración del bioplástico mediante la hidrólisis química del almidón y la adición de agua y glicerol como plastificantes. La elaboración del bioplástico tomó como variables las cantidades de plastificantes, siendo el más resistente el bioplástico elaborado con 5 ml de glicerina y 3 ml de ácido acético, éste alcanzó un 1.47 MPa de esfuerzo máximo y 19.99% de elongación máxima. Asimismo, se realizó un análisis de infrarrojo (FTIR) el cual mostró la formación de enlaces que caracterizan un biopolímero. Finalmente, la tercera etapa fue el ensayo de biodegradabilidad del bioplástico utilizando compost como medio de degradación, un control negativo de polietileno de baja densidad, un control positivo de celulosa y la muestra de bioplástico a ensayar. Los resultados indicaron un 64.21% de biodegradación para el bioplástico, un 63.21% para la celulosa, un 6.95% para el polietileno de baja densidad (PEBD) y un 0.83% para el blanco.

Palabras clave: Bioplástico; residuos; papa; ISO 17556; biodegradación.

ABSTRACT

The purpose of the research project was to make bioplastic from potato starch, which was extracted from the waste of the peeling process by using an industrial peeler of low capacity. Likewise, it also sought to determine and evaluate the biodegradability of the elaborated bioplastic, for which the ISO 17556: 2012 Standard was taking as reference. The investigation had three stages, the first one was the extraction of the starch. In this stage, the variation of the temperature and the antioxidant additive sodium metabisulfite in the process was evaluated. The test carried out at room temperature and with 3% sodium metabisulfite resulted in obtaining a greater quantity of starch, so those quantities were used in the elaboration of the bioplastic. The starch presented a ratio of 26.21 / 73.79 amylose/amylopectin and a spectrum similarity of 89.8% with respect to the soluble starch spectrum. The second stage was the elaboration of the bioplastic by the chemical hydrolysis of the starch and the addition of water and glycerol as plasticizers. The elaboration of the bioplastic took as variables the amounts of plasticizers, being the most resistant the bioplastic made with 5 ml of glycerin and 3 ml of acetic acid, this reached a maximum effort of 1.47 MPa and a maximum elongation of 19.99%. Likewise, an infrared analysis (FTIR) was carried out, which showed the formation of characteristic bonds of the biopolymer. Finally, the third stage was the biodegradability test of the bioplastic using compost as a degradation medium, negative control of low-density polyethylene, positive control of cellulose and the bioplastic sample to be tested. The results indicated 64.21% biodegradation for bioplastic, 63.21% for cellulose, 6.95% for low-density polyethylene (LDPE) and 0.83% for white.

Keywords: Bioplastic; waste; potato; ISO 17556; biodegradation.

1 Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias. Departamento Académico de Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología.

E-mail: 20090122@lamolina.edu.pe

2 Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias. Departamento Académico de Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología.

E-mail: lquipuzco@lamolina.edu.pe

3 Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias. Departamento Académico de Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología.

E-mail: vmeza@lamolina.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

Un estudio estimó que en 2010 se generaron 275 millones de toneladas de residuos plásticos, de los cuales entre 4.8 a 12.7 millones de toneladas ingresaron al océano (Jambeck et. al., 2015). La problemática ambiental generada por éstos residuos requiere el trabajo conjunto desde distintas áreas de investigación, una de ellas es la elaboración de bioplásticos que aseguren una rápida biodegradación del material después de su uso.

El presente proyecto de investigación busca elaborar bioplásticos, a nivel de laboratorio, a partir de almidón obtenido de los residuos de papa (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum* var. 'Yungay') generados por las peladoras industriales de baja capacidad, y determinar su biodegradabilidad utilizando como referencia el ensayo descrito en la Norma ISO 17556:2012.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó por un período aproximado de 15 meses, entre septiembre de 2014 y diciembre de 2015, en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM).

La investigación se desarrolló en tres etapas: la extracción del almidón, la elaboración del bioplástico y el ensayo de biodegradabilidad.

2.1. Extracción del almidón

Se consideró la temperatura y el porcentaje de Metabisulfito de Sodio (MB) como variantes para la evaluación de la eficiencia del procedimiento con respecto a la cantidad de almidón obtenida; esto debido a que ambas variables son utilizadas en el procesamiento de papas por las microempresas de interés de la presente investigación. Los porcentajes recomendados de MB para el procesamiento de papas para freír se encuentran entre de 0.01 a 0.05% p/v de acuerdo a Pazmiño (2010); Fernández (1995) recomiendan un 0.12% de antioxidante; por lo que se consideraron porcentajes mayores y menores de MB a fin de evaluar su significancia en los resultados obtenidos.

Para el procedimiento de extracción del almidón se tomó como referencia el método de decantación realizado por Melian (2010) y se adecuó el mismo para trabajar con los residuos generados por la peladora industrial de baja capacidad. El proceso se inicia con el lavado de las papas y su posterior pesado. Luego, las papas son ingresadas a la peladora; se retienen los residuos sólidos y líquidos con la ayuda de un balde a la salida de los residuos de la peladora y una canastilla con una malla encima del balde, en éste punto se añade el MB de acuerdo a los valores presentados en la Tabla N° 01. Una vez terminado el proceso de pelado, se enjuaga la salida de la peladora con 250 ml de agua y se realizan tres enjuagues con el mismo volumen de agua a la malla que ha retenido los residuos sólidos y se procede a pesar la malla con los residuos sólidos. El proceso considera dos decantaciones, la primera en el balde que contiene los residuos líquidos del proceso de pelado, éste se homogeniza para disolver todo el MB y se deja

decantar por 60 minutos, se descarta el sobrenadante por sifoneo y el volumen es reducido a un litro. La segunda decantación considera tres filtraciones del residuo líquido y su posterior decantación durante 24 horas. Finalmente se extrae el sobrenadante y se deja secar en una estufa a 40°C durante 24 horas; transcurrido dicho tiempo se homogeniza el almidón y se almacena en frascos de vidrio.

Tabla N° 01. Parámetros evaluados en la extracción de almidón

MB \ T°	Al tiempo	Helada
0%	m1.1	m1.2
0.1%	m2.1	m2.2
0.3%	m3.1	m3.2
0.5%	m4.1	m4.2
1%	m5.1	m5.2
3%	m6.1	m6.2
5%	m7.1	m7.2
7%	m8.1	m8.2

El proceso de extracción de almidón elegido consideró el aspecto físico y la cantidad obtenida de almidón. Al referido almidón se le realizó una prueba de espectrofotometría infrarroja (FT-IR) en el Laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). También se realizó el ensayo de amilosa/amilopectina, en el Laboratorio de Química de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), para lo cual se utilizó el método descrito por McGrance et al. (1998). Se midió la absorbancia a 600 nm y se determinó el porcentaje de amilosa, con la ayuda de una recta patrón previamente elaborada a partir de mezclas de amilopectina y amilosa pura con 0, 10, 20, 40, 50, 60, 80, 90 y 100 % de contenido en amilosa como se observa en la Figura N° 01.

2.2. Elaboración del bioplástico

La elaboración de bioplástico evaluó los parámetros de glicerol y ácido acético, dos plastificantes que otorgan elasticidad y resistencia al bioplástico. Luego de determinar las cantidades óptimas de dichos plastificantes se caracterizó el bioplástico elaborado.

Para la primera fase se utilizó almidón de papa (conocido localmente como chuño), ácido acético y glicerina en distintas cantidades (Tabla N°02). Las cantidades de ácido acético y glicerina consideraron las referencias de MIT (2012) y Sweeney (2008). Tomando como referencia la metodología del japonés Genichi Taguchi (Kavanaugh, 2002) se formuló un modelo de diseño ortogonal de experimentos (Tabla N°03).

Se ha considerado tres repeticiones por cada polímero. El procedimiento se inicia con la medida de las cantidades de glicerina, ácido acético, almidón y agua indicadas en la Tabla N° 03, de acuerdo al polímero a elaborar; asimismo, se engrasan placas de vidrio de 15x20 mm con aceite vegetal, dichas placas serán utilizadas como moldes de los bioplásticos a elaborar. En un vaso Becker se mezcla el almidón y el agua destilada, luego se agrega la glicerina y se continúa mezclando, finalmente se agrega el ácido acético, y se continúa mezclando hasta obtener una solución homogénea. Se coloca el vaso Becker a



Figura N° 01. Soluciones para curva estándar

Tabla N° 02. Factores y niveles - diseño de experimentos

Descripción	Factor	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Parámetros fijos	Ác. Acético (ml)	3	5	10
	Glicerina (ml)	5	10	-
Parámetros constantes	Almidón (g)	10	10	10
	Agua (ml)	60	60	60
	Temperatura (°C)	150	150	150

Tabla N° 03. Matriz de diseño de experimentos L_6 ($2^1 \times 3^1$)

Biolplástico	Variables			Constantes	
	Glicerina (ml)	Ác. Acético (ml)	Almidón (g)	Agua (ml)	Temperatura (°C)
Polímero 1		3			
Polímero 2	5	5			
Polímero 3		10			
Polímero 4		3	10	60	150
Polímero 5	10	5			
Polímero 6		10			

150°C en el agitador térmico y se inicia la agitación con 500 RPM por seis minutos, luego subir a 800 RPM durante 2 minutos, finalmente aumentar a 1400 RPM hasta que la mezcla presente una consistencia gomosa (un aproximado de 5 minutos, el tiempo varía dependiendo del polímero) y retirar el vaso Becker del agitador térmico. Untar la mezcla preparada anteriormente y esparcir la misma en las placas de vidrio hasta dejar una capa uniforme de la mezcla y colocar las placas en la estufa durante 24 horas a 40°C.

Una vez que se obtuvieron todas las muestras con sus respectivas repeticiones, se realizaron los primeros ensayos de tracción y elongación en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Agrícola de la UNALM, a fin de determinar la composición del bioplástico más resistente. Se cortaron tiras de 5 mm de ancho y se marcó 50 mm de longitud por cada polímero de acuerdo a la Tabla N° 03 y por cada repetición; las mediciones del grosor de las tiras se realizaron con un equipo de consolidación (Figura N° 02, a). El equipo utilizado para el ensayo fue acondicionado con un dial (Figura N° 03, a) que ofrecía cierta resistencia en el equipo, por ello se realizaron pruebas de peso con arena (Figura N° 02, b) para tarar el equipo y se determinó

que la tara fue de 40g, peso con el que se iniciaron todos los ensayos realizadas.

La longitud de abertura del equipo se ajustó a 50 mm (Figura N° 03, b) y se fijaron las tiras de polímeros con las placas de aluminio. Se registró el estiramiento de las tiras ante las distintas cargas de peso hasta su punto de ruptura y se identificó el polímero más resistente.

Para el segundo ensayo de tracción y elongación, se elaboró el bioplástico con las concentraciones de ácido acético y glicerol de la muestra que ofreció mayor resistencia en el primer ensayo de tracción y elongación, y se utilizó el almidón extraído previamente. Los segundos ensayos de tracción y elongación fueron realizados en el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP); además se realizaron ensayos de espectrometría infrarrojo realizada por la Unidad de Servicios de Análisis Químicos (USAQ) de la UNMSM.

2.3. Ensayo de biodegradabilidad

El ensayo buscó determinar el porcentaje de biodegradación del bioplástico elaborado en la etapa



Figura N° 02. Equipos para el primer ensayo de tracción y elongación: a. Equipo de consolidación, b. Balanza pequeña



Figura N° 03. Equipo acondicionado para el primer ensayo de tracción y elongación: a. Vista general, b. Acercamiento

anterior, y se desarrolló tomando como referencia la norma ISO 17556 (AENOR, 2013). El ensayo tuvo una duración de 90 días, utilizó compost como medio de degradación, un control negativo de polietileno de baja densidad, un control positivo de celulosa (filtros de celulosa sin ceniza), la muestra de bioplástico a ensayar y un blanco; se realizó una repetición para cada muestra.

El compost utilizado presentaba entre cinco y seis meses de madurez, se tamizó a un diámetro de 2mm y se caracterizó en el Laboratorio de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes del Departamento de Suelos UNALM, los resultados indicaron valores de 7,02 de pH, 3,49 dS/m de conductividad eléctrica, 29,06% de materia orgánica, 1,28% de nitrógeno, 2,21% de pentaóxido de difósforo, 0,29% de óxido de potasio, 4,79% de óxido de calcio, 1,09% de óxido de magnesio, 40,77% de humedad y 0,16% de sodio.

En frascos de vidrio ((biorreactor) se introdujo 200 g de compost y 2500 mg de material a ensayar (bioplástico, polietileno de baja densidad y filtros de celulosa sin ceniza) los cuales fueron cortados en piezas de 5mm x 5mm. Incluyendo el blanco y la repetición de las muestras se tuvo un total de 8 biorreactores, los cuales se encontraron dentro del equipo de baño maría a 25° C durante todo el período de ensayo.

En la Figura N° 04 se observa el sistema respirométrico, el cual consistió en una pequeña bomba de aire, cuyo flujo de aire fue medido antes del inicio del ensayo (en promedio 0.708 L/min), dicha bomba de aire fue conectada a dos juegos de llaves con cuatro salidas cada una, cada salida se conectó a un frasco con soda cáustica en escamas para capturar el CO₂ del aire, el aire libre de CO₂ pasó a los biorreactores inmersos en el equipo de baño María; finalmente cada biorreactor se conectó a dos frascos con hidróxido de bario 0.0125 mol/L para capturar el CO₂ generado en el biorreactor, éste fue cuantificado por titulación con una solución de HCl 0.05 mol/L.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Extracción de almidón

Se desarrolló un primer ensayo siguiendo el procedimiento de extracción de almidón hasta la segunda decantación, y se cuantificó la cantidad de almidón obtenida. Cada ensayo inicia con el pelado de 2 kg de papa utilizando 10 litros de agua.

En la Figura N° 05 se observa que la muestra con mayor cantidad de almidón extraído es la muestra con 3% MB y temperatura ambiente (m6.1). Los resultados mostraron que la temperatura no fue un factor diferencial en la cantidad de almidón obtenido a porcentajes de 0%,



Figura N° 04. Sistema respirométrico

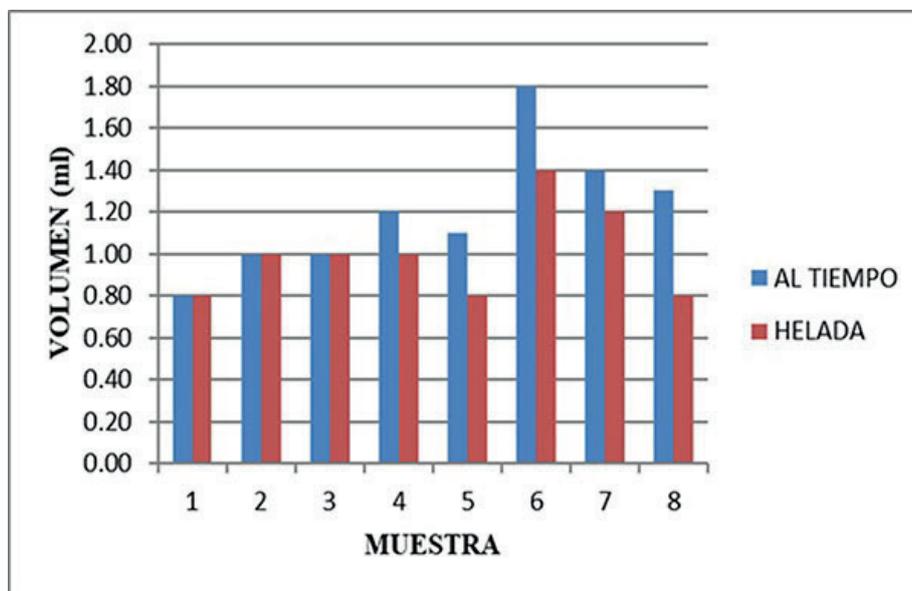


Figura N° 05. Cantidad de almidón obtenido

0.1% y 0.3% de MB, sin embargo, a medida que aumenta la cantidad de MB (0.5%, 1%, 3%, 5% y 7%) aumenta también la diferencia entre el almidón obtenido con la papa refrigerada (helada) y el almidón obtenido con la papa a temperatura ambiente. De acuerdo a Pazmiño (2010) el proceso de formación de azúcares reductores a partir de almidón implica la acción de la enzima invertasa la cual se incrementa a temperaturas bajas, el MB bloquea los grupos carbonilo libres de los azúcares reductores y evita que estos interaccionen con otros aminoácidos.

En base a los resultados anteriores se realizó un segundo ensayo con dos repeticiones cada una para los ensayos 6 y 7 (3% y 5% de MB respectivamente) a temperatura ambiente y helada, las cuales obtuvieron una mayor cantidad de almidón en el ensayo anterior; en este caso se desarrolló el procedimiento completo hasta la obtención del almidón

en polvo. En la Figura N° 06 se muestran los resultados, los cuales muestran un comportamiento de eficiencia decreciente respecto a cada ensayo (muestra, repetición 1 y repetición 2) siendo en todos los casos la muestra 6.1 la que mayor eficiencia presenta. Por lo tanto, el proceso con el que se obtiene una mayor cantidad de almidón se da con papa a temperatura ambiente y con 3% de MB; obteniendo una eficiencia promedio de 35.06%.

Finalmente se procesó 20 Kg de papa con 3% de MB y a temperatura ambiente y se extrajo el almidón de los residuos generados en el proceso de pelado. Se observó en el microscopio los gránulos de almidón (Figura N° 07); se realizó un análisis de amilosa/amilopectina en el laboratorio de Química de la UNALM; y un ensayo de infrarrojo realizado por la Unidad de servicios y análisis químicos (USAQ) de la UNMSM.

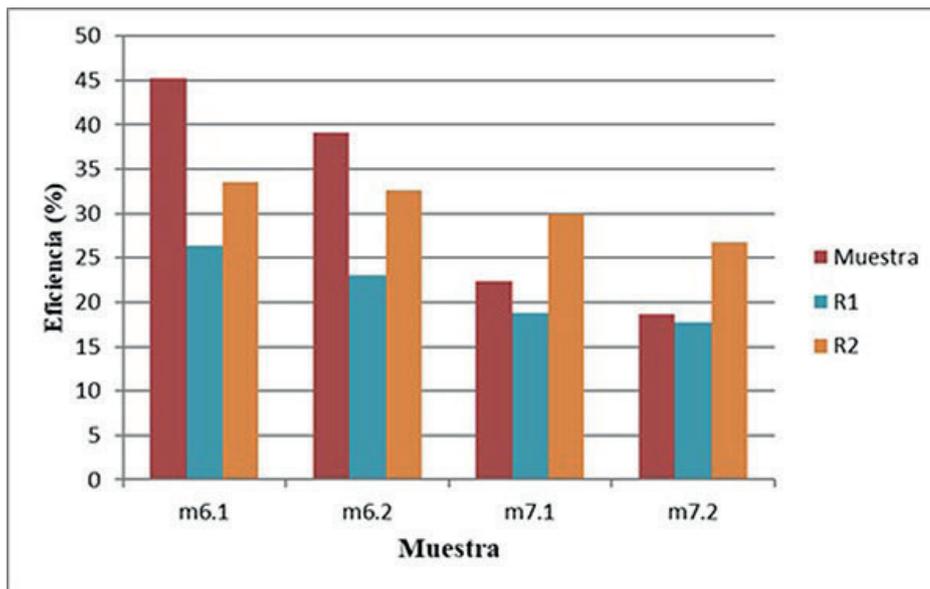


Figura N° 06. Eficiencia por tipo de muestra

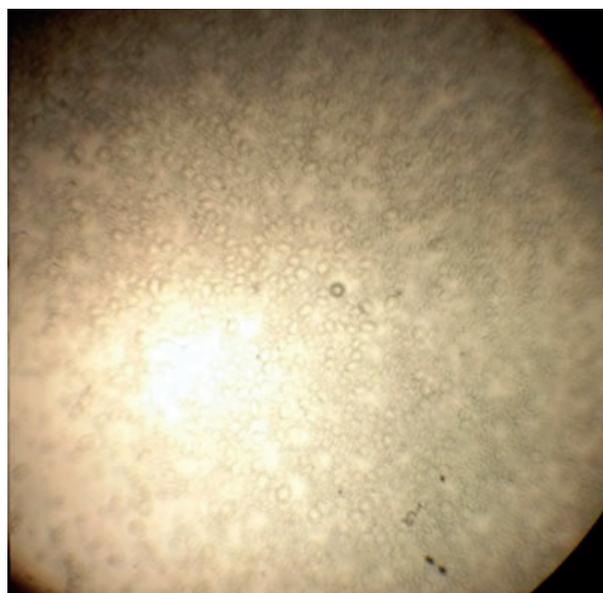


Figura N° 07. Gránulos del almidón extraído

3.1.1. Análisis de amilosa/amilopectina

El análisis de amilosa/amilopectina tomó como referencia el método descrito por McGrance et al. (1998) y se obtuvo la ecuación que define su comportamiento (Figura N° 08).

Finalmente se realizó tres medidas de absorbancia en la muestra de almidón y se calculó el porcentaje de amilosa con ayuda de la ecuación de la recta patrón, se obtuvo un valor promedio de 26.21% de amilosa y por diferencia se calculó el porcentaje de amilopectina el cual sería de 73.79%.

3.1.2. Ensayo de espectrofotometría infrarroja

En la Figura N° 09 se observa la comparación entre el espectro de la muestra (gráfica superior) y el almidón patrón (gráfica inferior). Los resultados indican un 89.8%

de probabilidad de similitud entre el espectro de la muestra y espectro de SOLUBLE STARCH (almidón patrón), de acuerdo a la biblioteca espectral.

3.2. Elaboración del bioplástico

Se elaboró el bioplástico en base al proceso descrito en el ítem 2.2. En la Figura N° 10 se observa el bioplástico elaborado y la flexibilidad del mismo.

En general los bioplásticos elaborados con las distintas cantidades de plastificantes resultaron ser de fácil flexibilidad. Se pudo apreciar una relación directa entre la flexibilidad y fragilidad del bioplástico y la dosis de ácido acético, siendo los bioplásticos aparentemente más flexibles y frágiles los que mayor dosis de ácido acético contenían. Las distintas dosis de glicerina parecieron no afectar de forma notable los bioplásticos.

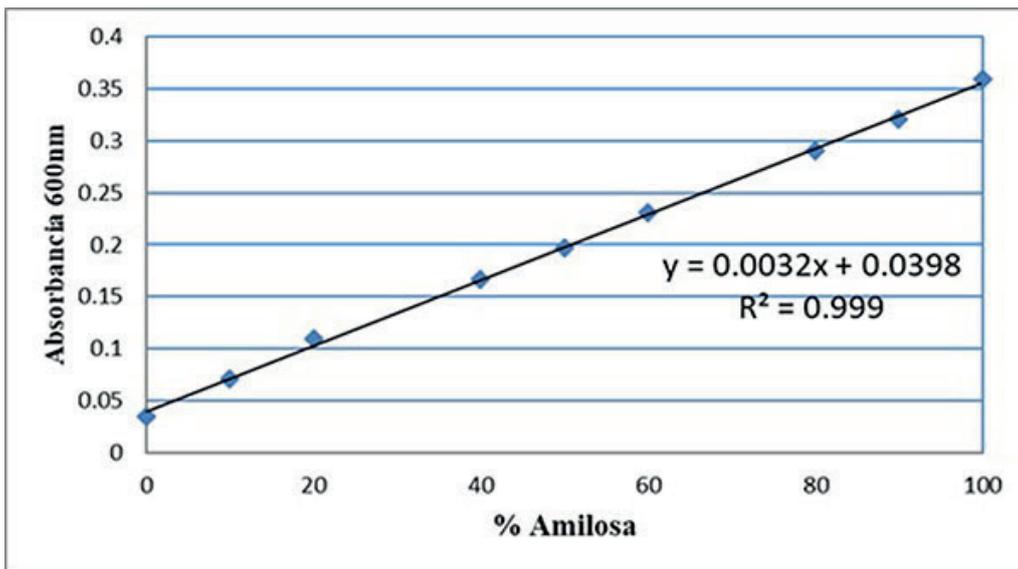


Figura N° 08. Recta patrón amilosa/amilopectina

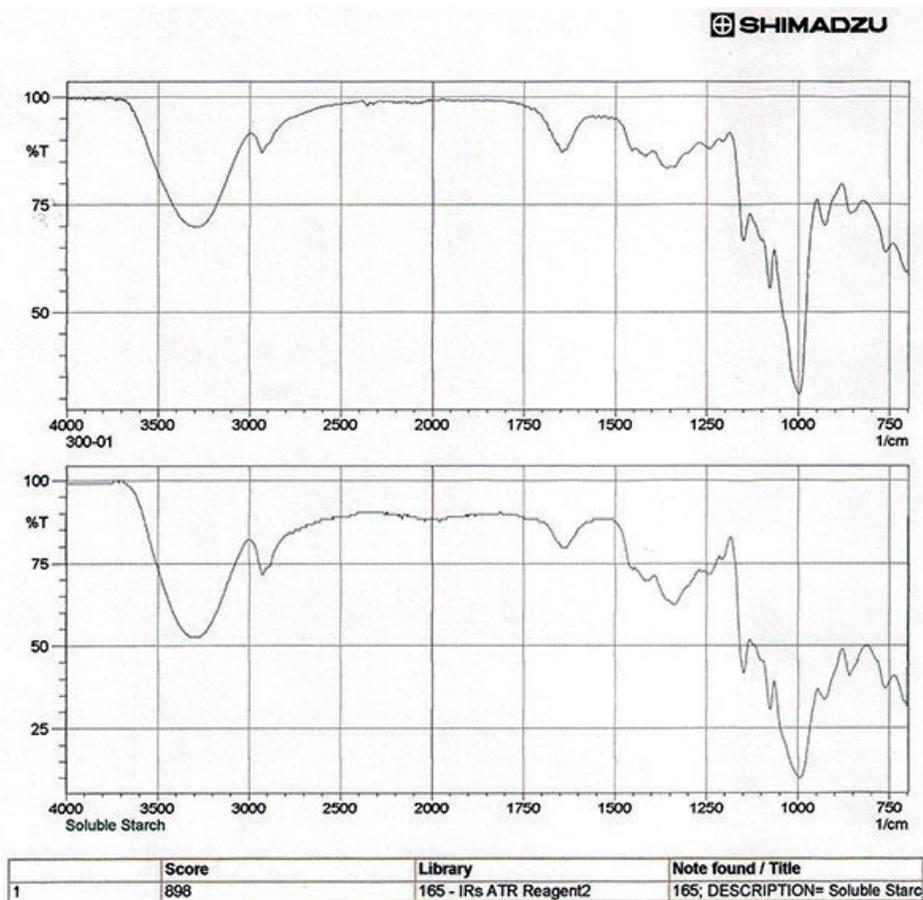


Figura N° 09. Espectros infrarrojos de la muestra de almidón y Soluble Starch

3.2.1. Primer ensayo de tracción y elongación

Para este primer ensayo, los bioplásticos elaborados utilizaron almidón comercial, a fin de facilitar la evaluación de los plastificantes como únicas variables. Luego de elaborar los distintos bioplásticos de acuerdo a la matriz de diseño de la Tabla N° 03, se cortaron en tiras de 5 mm de ancho y se marcó una longitud de 5 cm para facilitar el ajuste de las tiras en el equipo acondicionado para el ensayo.

Se realizó un total de 96 ensayos (16 por cada tipo de polímero) y se registraron los esfuerzos y estiramientos alcanzados antes del punto de ruptura. Con la ayuda del software estadístico Minitab 17 se elaboró una regresión no lineal potencia-cóncavo (Figura N° 12). Los resultados mostraron que los polímeros 1 y 4 los cuales fueron elaborados con una menor dosis de ácido acético resultaron ser los más resistentes. A mayor dosis de ácido acético, disminuye el esfuerzo y aumenta la deformación

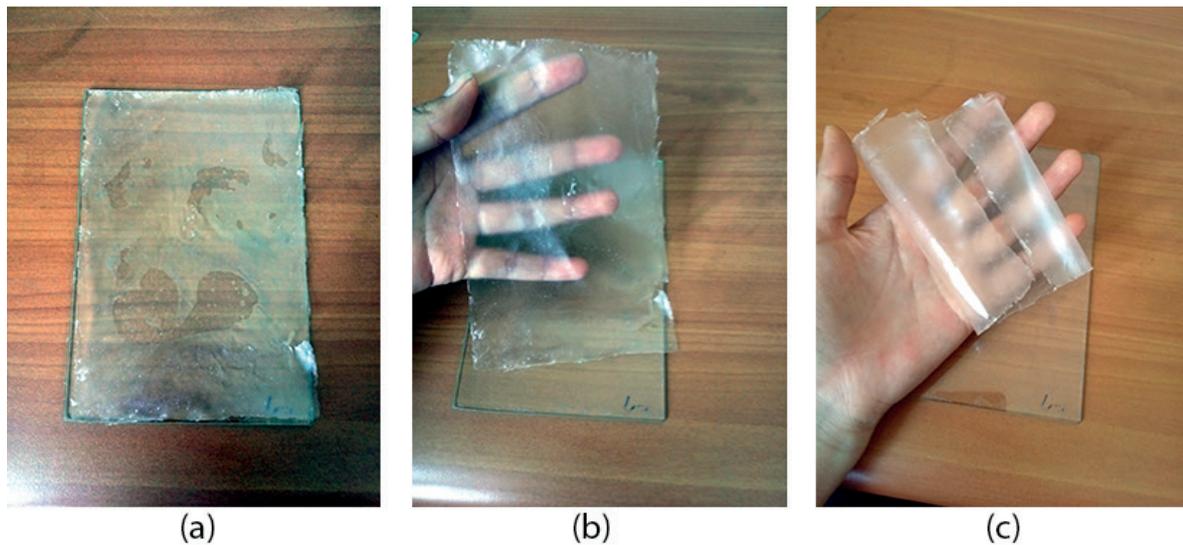


Figura N° 10. a. bioplástico retirado de la estufa; b. bioplástico retirado de la placa; c. flexibilidad del bioplástico

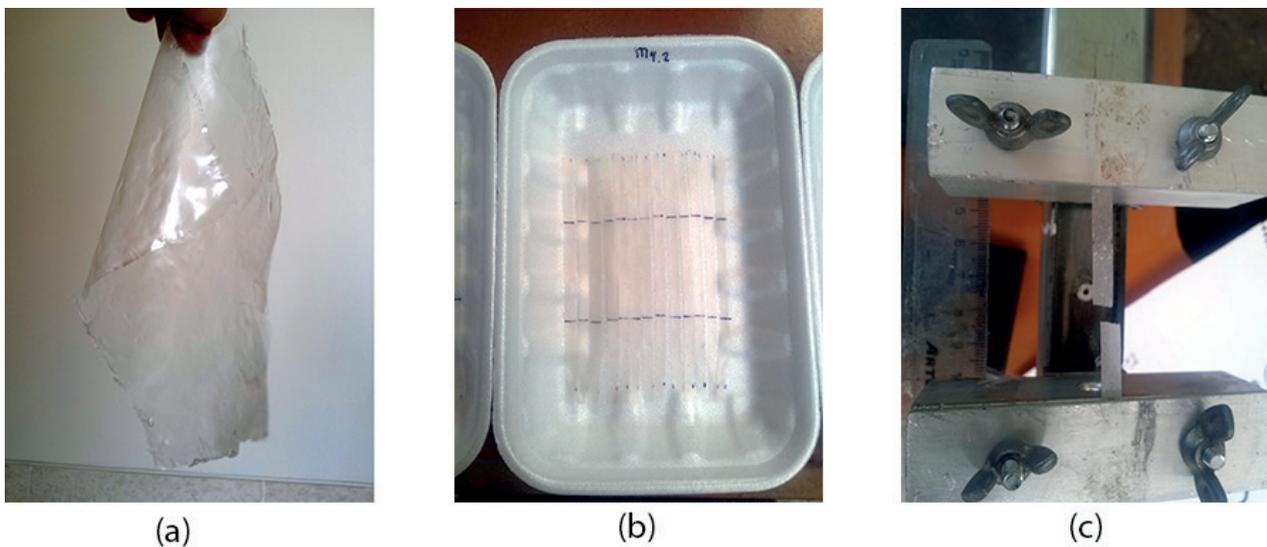


Figura N° 11. a. bioplástico; b. tiras de bioplástico; c. primer ensayo de tensión

unitaria. Respecto a la glicerina se observó que, a mayor dosis de glicerina, mayor deformación unitaria alcanza el bioplástico. Los resultados obtenidos concuerdan con los resultados de Corrales et al. (2007) quien señala que el aumento en la dosis de glicerina reduce las fuerzas intermoleculares, como los puentes de hidrógeno ocasionando que el bioplástico sea flexible y menos resistente. Finalmente, señalar que la hidrólisis del almidón ocasionada por el ácido acético podría ser la causante de la reducción de esfuerzo máximo para polímeros con una misma dosis de glicerina (MIT, 2012). Los resultados de los ensayos indican que el polímero 1 resulta obtener el mayor esfuerzo máximo con un valor de 2.71 Mpa y una elongación máxima de 14.173%.

3.2.2 Segundo ensayo de tracción y elongación

El segundo ensayo de tracción y elongación se realizó con el polímero que presentó un mayor esfuerzo en el primer ensayo, éste es el polímero 1. Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la PUCP y se tomó como referencia norma ASTM D882. El bioplástico

elaborado para éste ensayo, utilizó el almidón extraído en la segunda etapa de la investigación. El ensayo inició con el corte de 5 probetas del polímero a ensayar (Figura N°13, a), a continuación, se midió el grosor de las probetas con un plano de compresión y un reloj comparador Minutoyo (Figura N°13, b). En la Figura N° 14 se observa el equipo de tracción universal Zwick Roell Z050 donde se realizó el ensayo de tracción y elongación.

Los ensayos dieron como resultado una elongación máxima de 19.99% y un esfuerzo máximo de 1.47 MPa (Figura N° 15). La diferencia de resultados respecto al primer ensayo de tracción y elongación podría deberse principalmente al equipo utilizado, ya que en el primer caso se utilizó un equipo acondicionado para tal función, mientras que en el segundo ensayo se utilizó un equipo de tracción universal. El otro factor variante entre el primer y segundo ensayo fue el almidón, en el primer ensayo se utilizaron bioplásticos elaborados con almidón comercial, mientras que en el segundo ensayo se utilizó el almidón extraído previamente de los residuos del pelado de la papa.

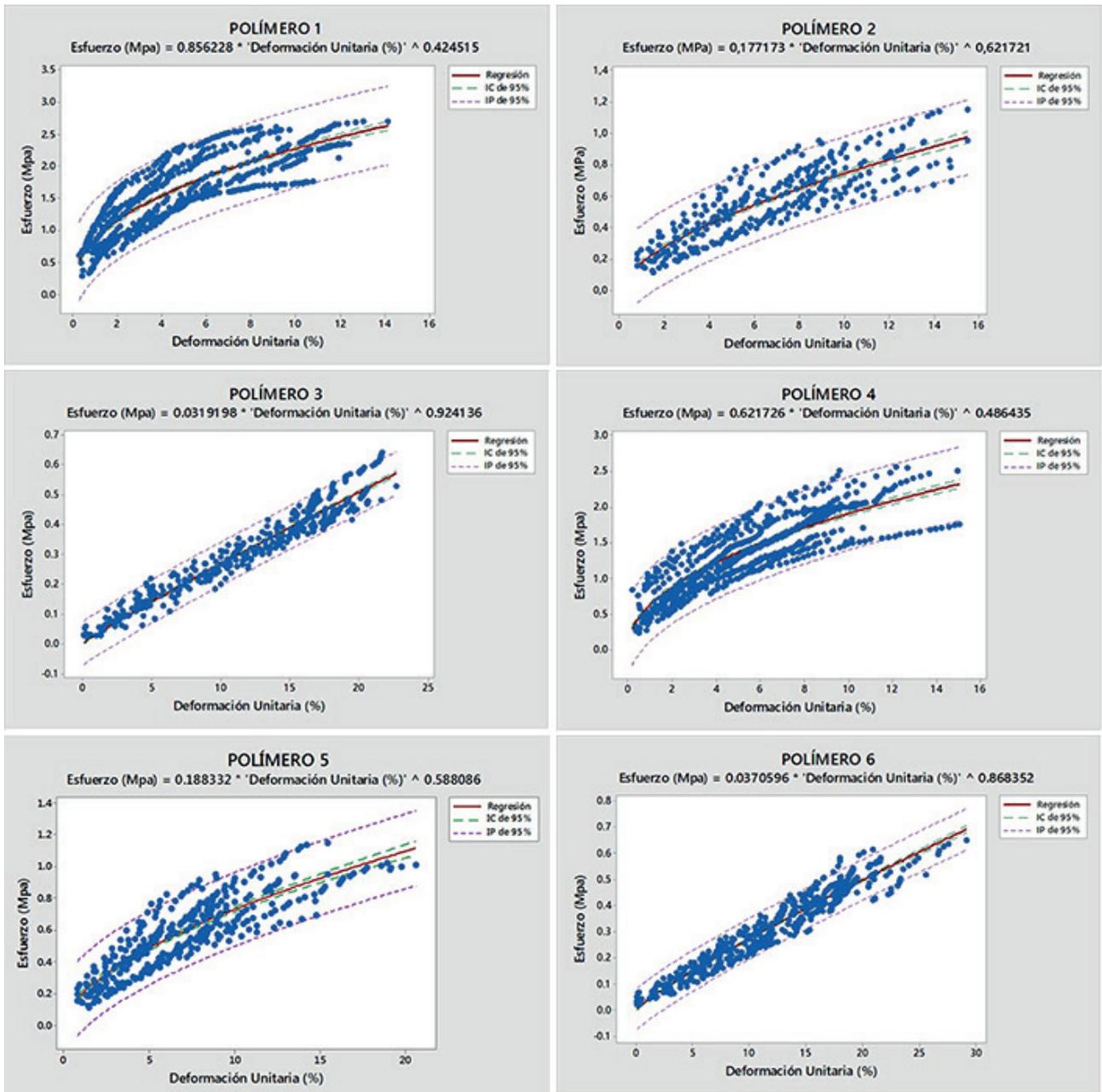
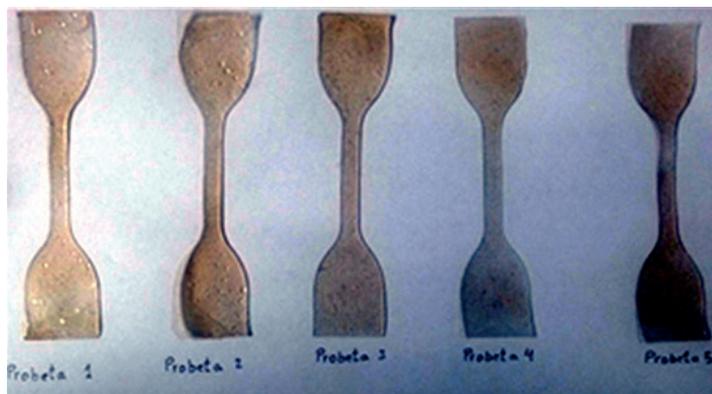
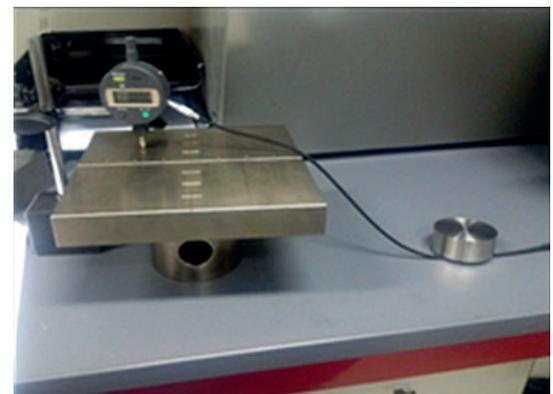


Figura N° 12. Regresiones lineales de los distintos polímeros



(a)



(b)

Figura N° 13. a. Probetas de bioplástico; b. Reloj comparador marca Minutoyo

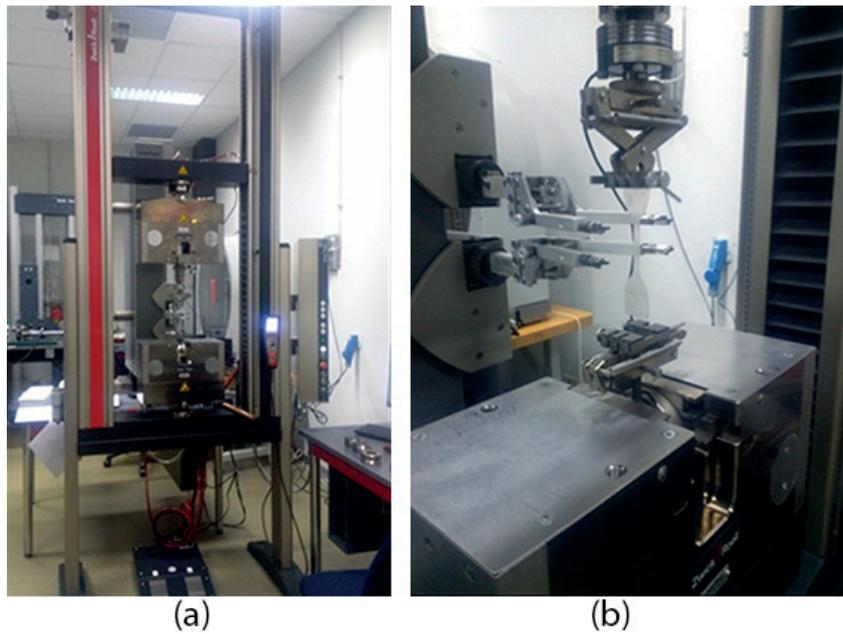


Figura N° 14. a. Equipo de tracción universal Zwick Roell Z050; b. Ensayo con la probeta

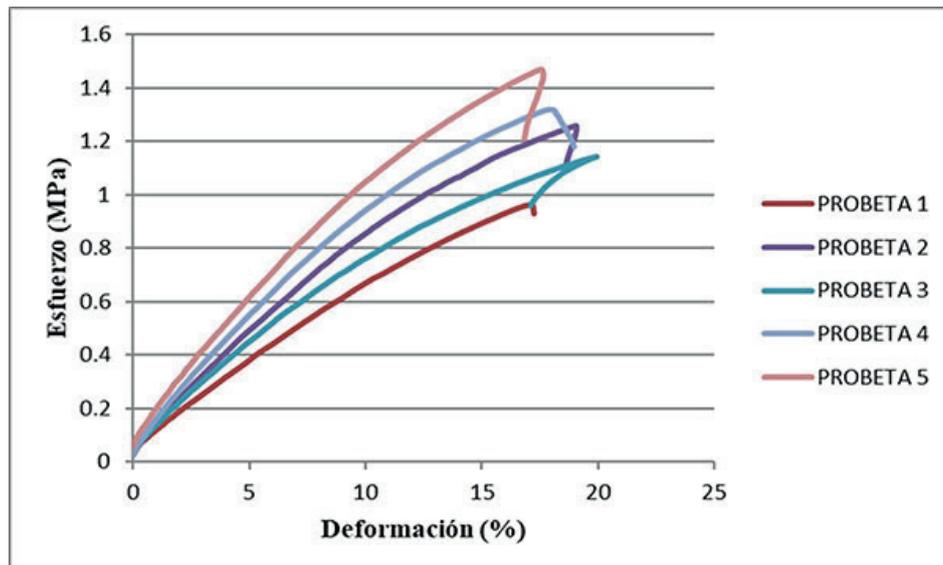


Figura N° 15. Gráfico Deformación Vs. Esfuerzo

De acuerdo a la revisión bibliográfica tenemos lo siguiente:

Tabla N° 04. Experiencias de elaboración de bioplásticos

Autor	Variedad de papa	Experiencia	Esfuerzo máximo	Elongación máxima
Torres et. al. (2011)	Yungay	Única	3.22 MPa	24.18%
Arroyo y Alarcón (2013)	Amarilla	M1	4.25 MPa	42.494%
		M2	3.29 MPa	42.486%
		M3	3.13 MPa	65.645%

Si bien, la tabla N° 04 nos ofrece un resumen de resultados de experiencias similares, éstas no tuvieron las mismas condiciones. La primera diferencia es que la presente investigación trabajó con residuos de peladoras de

papa, no con el recurso en sí; además ninguno de los autores señalados anteriormente realizó un ensayo de amilosa/ amilopectina y tampoco comparó del espectro infrarrojo del almidón con un almidón estándar de la biblioteca de espectroscopía, por lo que no se pueden comparar las calidades de almidón extraído. Asimismo, los insumos utilizados para la elaboración del bioplástico fueron diferentes en todos los casos, Torres et.al. (2011) utilizó ácido clorhídrico para lograr un mayor grado de hidrólisis en el almidón y con ello buscar una mejor polimerización; mientras que Arroyo y Alarcón (2013) utilizaron ácido polivinílico (polímero sintético), hidroxietilcelulosa como aditivo extensor, cloruro de sodio y ácido bórico como mejoradores de la resistencia al esfuerzo cortante, glicerina y agua destilada como plastificantes, y etanol para facilitar la dilución de la mezcla.

3.2.3. Ensayo de espectrofotometría infrarroja

La Figura N° 16 muestra el espectro del bioplástico elaborado con el almidón extraído (ítem 3.1).

En la Tabla N° 05 se observa el resumen de resultados observados en el espectro de la muestra del bioplástico.

3.3. Ensayo de biodegradabilidad

La Figura N° 17 muestra los resultados del ensayo estandarizado de biodegradabilidad realizado por un período de 3 meses. Se puede observar que el bioplástico ensayado y el control positivo de celulosa presentan un porcentaje de biodegradación similar (64,21% y 63.51% respectivamente), mientras que el polietileno de baja densidad (PEBD) alcanza sólo el 6.95% y el blanco un 0.83%.

Los resultados de biodegradación no alcanzan una meseta de degradación por lo que se espera que el material se siga degradando rápidamente. Los resultados obtenidos por Barragán (2013) en un ensayo de biodegradación de 12 meses, muestra un comportamiento similar de la celulosa y uno de los bioplásticos ensayados hasta el tercer mes aproximadamente, luego del cual la celulosa presenta un

mayor porcentaje de biodegradación.

Uno de los factores por las que el porcentaje de biodegradación del bioplástico elaborado es alto podría ser la cantidad de materia orgánica presente en el medio de degradación. De acuerdo a la caracterización del compost utilizado en el ensayo de biodegradación, éste contenía un 29.06% de materia orgánica, a diferencia de Barragán (2013) y Saraiva (2012) quienes utilizaron suelo con 3.88% y 1% de materia orgánica respectivamente, y alcanzaron un 16% de biodegradación en 100 días y 0,7% de biodegradación en 74 días respectivamente. Asimismo, las características del bioplástico ensayado juegan un rol importante, si bien los casos citados anteriormente se realizaron tomando como referencia la norma ISO 17556, los bioplásticos ensayados no tienen las mismas características.

En la Figura N° 18 se muestra los biorreactores con el material a ensayar antes de ingresar al sistema respirométrico y la Figura N° 19 muestra el material ensayado al cabo de los tres meses de ensayo. No se observa cambios físicos en el PEBD, mientras que el bioplástico y la celulosa dejan de ser apreciados en el primer mes de ensayo.

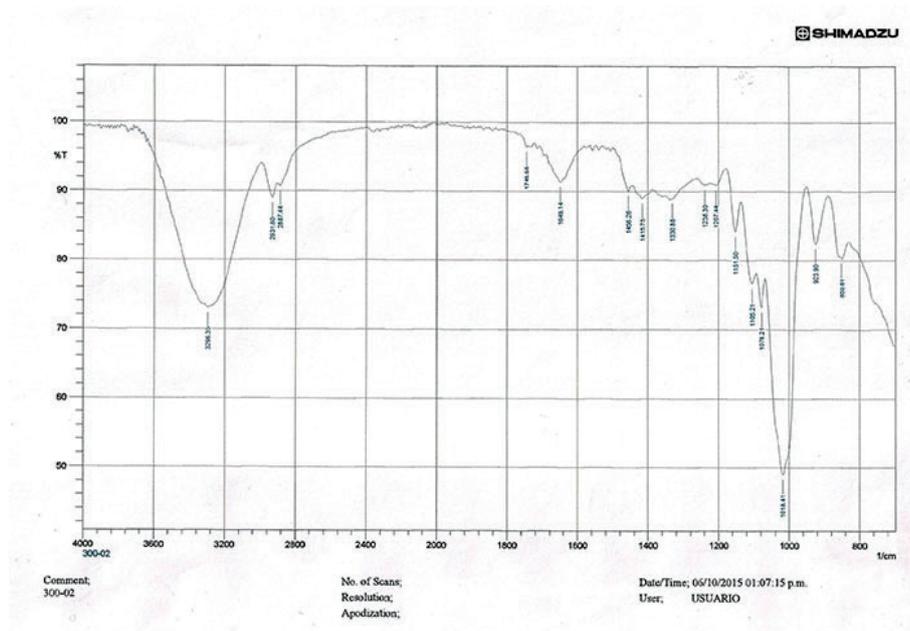


Figura N° 16. Espectro en muestra del bioplástico

Tabla N° 05. Análisis de espectro en muestra de bioplástico elaborado

Banda	Observación	Referencia
3296,35 cm^{-1}	Vibración de tensión de los enlaces oxígeno-hidrógeno relacionada con el enlace libre inter e intramolecular del grupo hidroxilo. Característico de la estructura de almidón.	Meré, 2009
2931,80 cm^{-1}	Vibración de tensión de los enlaces $-\text{CH}_2$ presentes también en el espectro del almidón.	
2887,44 cm^{-1}	Aparición de pico que explicaría el enlace carbono-hidrógeno formado al reaccionar el glicerol y la glucosa.	
1359.82 cm^{-1}	Desaparece éste pico respecto al espectro del almidón, el cual correspondería a los enlaces hidroxilo de los alcoholes primarios presentes en los anillos de glucosa.	Conley, 1972
1105.21 cm^{-1}	Aparición de pico que explicaría los enlaces éter formados por la reacción de la glucosa y el glicerol.	
1250 cm^{-1} - 1150 cm^{-1}	Originadas por la respiración del anillo de pirrol.	

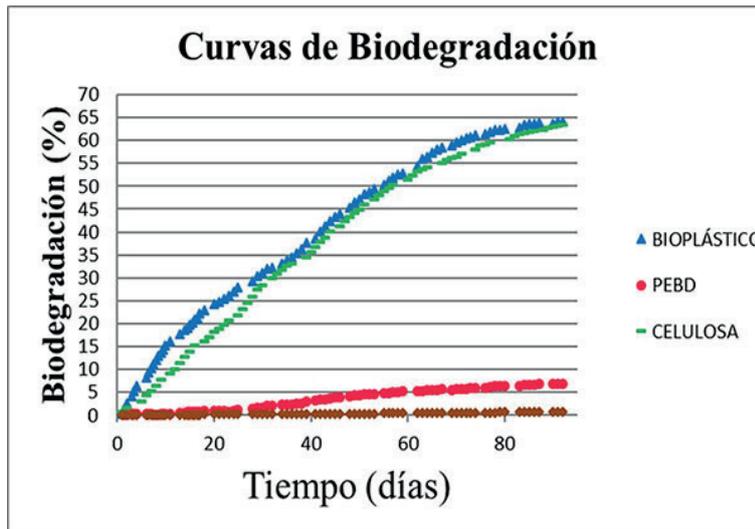


Figura N° 17. Biodegradación porcentual Vs. Tiempo en días



Figura N° 18. Biorreactores a ensayar: a. Blanco, b. Celulosa, c. Bioplástico, d. PEBD

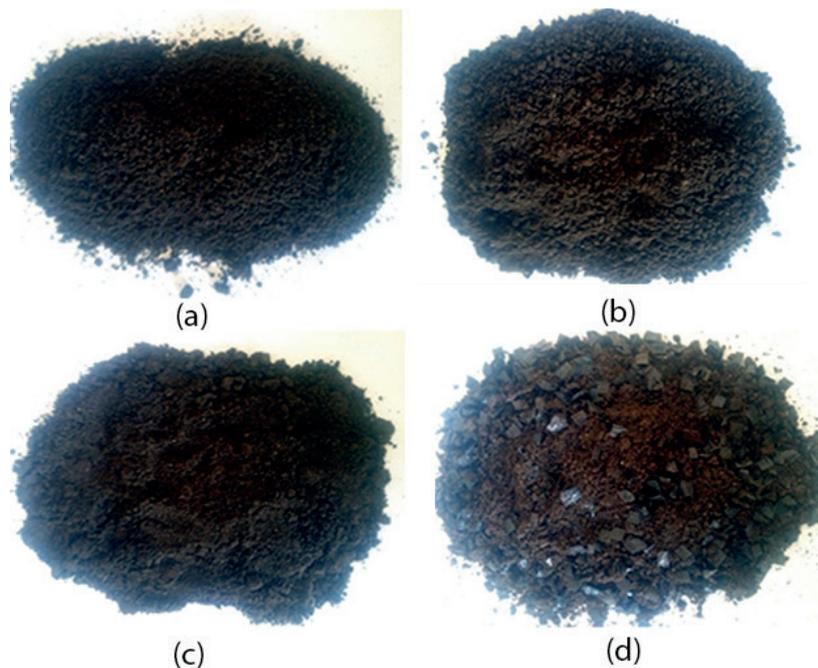


Figura N° 19. Material de los biorreactores al final del ensayo: a. Blanco, b. Celulosa, c. Bioplástico, d. PEBD.

IV. CONCLUSIONES

Se estableció una metodología de extracción de almidón de papa variedad Yungay a partir de residuos del proceso de pelado utilizando una peladora industrial de baja capacidad, el cual logró una eficiencia de extracción de almidón de 35,06% con respecto al residuo sólido obtenido en el proceso de pelado.

El almidón extraído presenta un 26,21% de amilosa y 73,79% de amilopectina. Asimismo, el ensayo de infrarrojo obtiene un 89.8% de similitud del espectro del almidón extraído respecto al almidón soluble, de acuerdo a la biblioteca espectral.

Se evaluó la metodología para la elaboración del bioplástico tomando como variantes la cantidad de ácido acético y glicerol en la composición del mismo. La variación de ácido acético en las características mecánicas del bioplástico mostró un mayor impacto que la variación de glicerol. El bioplástico que ofrece mayor esfuerzo, está compuesto por 5 ml de glicerina, 3 ml de ácido acético, 10 g de almidón y 60 ml de agua destilada, éste logra un esfuerzo máximo de 1.47 MPa y una elongación máxima de 19.99% en el ensayo de tracción y elongación. El ensayo de infrarrojo mostró la formación de enlaces característicos de polímeros.

El bioplástico elaborado alcanza un 64.21% de biodegradabilidad en 92 días de ensayo, de acuerdo a la Norma ISO 17556:2012.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). (2013). *Plásticos*. Determinación de la biodegradabilidad aeróbica última en el suelo mediante la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro o bien mediante la cantidad de dióxido de carbono generada (ISO 17556:2012). <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/UNE?c=N0051786> ISO 17556:2012 (Idéntico)
- Arroyo Benites, E. y Alarcón Cavero, H. (2013). *Obtención y caracterización de polímeros biodegradables a partir del almidón de papa, yuca y maíz*. Universidad de Lima. Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.ulima.edu.pe/handle/ulima/3566>
- Barragán, DJ. (2013). Biodegradability in soil determination and fate of some emerging biodegradable materials for agricultural mulching. (PhD. Thesis). Lleida, ES, University of Lleida. Recuperado de <https://repositori.udl.cat/handle/10459.1/64025>
- Bastos Vega, JA. (2009). Diseño y construcción de un prototipo de una máquina peladora de papas. (Tesis Ing. Mec.) Bucaramanga, CO. Universidad Industrial de Santander.
- Conley, R.T. (1972). *Infrared spectroscopy*. Trad. J. Calderón y R. Avendaño. (2 ed.). (pp. 346). Boston, Massachusetts, US. Allyn and Bacon. ISBN-10: 0205031781
- Meneses, J. Corrales, C.M. y Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de Yuca. *Revista EIA*, núm. 8, diciembre, 2007, pp. 57-67. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Envigado, Colombia Recuperado en https://www.researchgate.net/publication/237024766_SINTESIS_Y_CARACTERIZACION_DE_UN_POLIMERO_BIODEGRADABLE_A_PARTIR_DEL_ALMIDON_DE_YUCA/citation/download
- Fernández Orantes, J. (1995). *Proceso de tratamiento de un producto alimenticio pelado para su conservación envasado*. (pp. 5). Granada, España.
- Jambeck, J. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347 (6223): 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352> PMid:25678662
- Kavanaugh, C. (2002). *Los diseños de Taguchi contra los diseños clásicos de experimentos*. Conciencia Tecnológica no.19:0. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/944/94401906.pdf>
- McGrance, S.J.; Cornell, H.J. y Rix, C.J. (1998). *A simple and rapid colorimetric method for the determination of amylose in starch products*. *Starch/Staerke* 50(4):158-163. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-379X\(199804\)50:4<158::AID-STAR158>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-379X(199804)50:4<158::AID-STAR158>3.0.CO;2-7)
- Melian Subiabre, D.E. (2010). Ensayo Comparativo de Dos Metodologías de Extracción de Almidón de Papa usando Muestras de Diez Variedades Nativas de Chiloé y dos Variedades Comerciales. (Tesis Licenciado en Ciencia de los alimentos). Valdivia, CL. Universidad Austral de Chile. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/fam522e/doc/fam522e.pdf>
- Meré Marcos, J. (2009). *Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente*. (pp. 176). Madrid, ES. Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/10823>
- MIT (Massachusetts Institute of Technology). (2012). Bioplastics. Massachusetts, US. Consultado 14 abr. 2014. (Video). Recuperado de <http://video.mit.edu/watch/bioplastics-10937>
- Pazmiño Garcés, L.T. (2010). Aplicación de una tecnología de acondicionamiento para la elaboración de papa prefrita congelada tipo bastón. (Tesis Ing. en alimentos). Ambato, EC. Universidad Técnica de Ambato. Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/831>
- Saraiva, A.F. (2012). *Estudo da biodegradabilidade de bioplástico numa cultura de ciclo curto – Melão (Cucumis melo L. var. inodorus N.)*. (Tesis Mag. Ing. Amb.). Lisboa, PT. Universidad Técnica de Lisboa. Recuperado de <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/5304/1/Estudo%20da%20biodegradabilidade%20de%20biopl%C3%A1sticos%20numa%20cultura%20de%20ciclo%20curto%20-%20Mel%C3%A3o.pdf>
- Sweeney, B. (2008). *Make Your Own Bioplastic*. Revisado 1 abr 2014. [en línea]. Recuperado de <http://green-plastics.net/posts/10/video-brandon121233/>
- Torres, F.G; Amaya, E.; Díaz, D.A.; Torres, C.; Troncoso, O.P. (2011). Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. *International Journal of Biological Macromolecules* 48: 603–606 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026> PMid:21300087

