



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i1.1701>

Ciencias Naturales
Artículo de revisión

Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (Manihot Esculenta Crantz)

Synthesis of a biodegradable polymer based on cassava (Manihot Esculenta Crantz)

Síntese de um polímero biodegradável à base de mandioca (Manihot Esculenta Crantz)

Iván Fernando Huacho-Chávez ^I
ivan.huacho@esepoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3144-3379>

Adriana Isabel Rodríguez-Basantes ^{II}
adriana.rodriguez@esepoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2532-6504>

Hanníbal Lorenzo Brito-Moína ^{III}
hbrito@esepoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7536-857X>

Correspondencia: ivan.huacho@esepoch.edu.ec

***Recibido:** 20 de diciembre de 2020 ***Aceptado:** 12 de enero de 2021 * **Publicado:** 08 de febrero del 2021

- I. Ingeniero Químico, Facultad de Informática y Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (GIADE), Riobamba, Ecuador.
- II. Bioquímico Farmacéutico, Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (GIADE), Riobamba, Ecuador.
- III. Ingeniero Químico, Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (GIADE), Riobamba, Ecuador.

Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

Resumen

El sector agropecuario en el Ecuador juega un papel muy importante en la producción de productos agrícolas, principalmente de tubérculos y en especial la yuca, dinamizando la economía del sector, motivo por el cual, se realiza esta investigación para determinar la composición más adecuada en la síntesis de un material biodegradable de fácil acceso y uso, para lo cual, se recurrió al análisis factorial 2k, para la obtención del almidón, considerando 2 variables el tiempo y la velocidad con dos componentes cada uno, obteniendo 4 tratamientos, a continuación se realizó el muestreo en varios mercados de la ciudad, determinando que la mejor materia prima se ubica en el de productores de la ciudad de Riobamba, misma que fue analizada organoléptica, física, química y microbiológica, posteriormente se lavó, peló, troceó, pesó y ubicó en el equipo de mezclado con un volumen de agua determinado, se filtró y el líquido se dejó en reposo para la sedimentación de los gránulos de almidón, el sobrenadante fue separado y los sólidos se secaron al aire libre obteniendo un rendimiento del 22,28 %; luego se realizó el análisis físico, químico y microbiológico. A continuación, se procedió con la identificación de las variables de proceso para determinar la formulación óptima del biopolímero y se procedió con la caracterización física y mecánica del mismo, determinando que el producto cumple con los estándares de calidad para su uso, además de ser amigable con el ambiente por su fácil degradación en el ecosistema.

Palabras clave: Biopolímero; almidón; plastificante; disolvente; aditivos; yuca; tubérculo.

Abstract

The agricultural sector in Ecuador plays a very important role in the production of agricultural products, especially tubers and especially cassava, dynamizing the economy of the sector, which is why this research is carried out to determine the most suitable composition in the synthesis of a biodegradable material that is easy to access and use, for which, 2k factor analysis was used, to obtain starch, considering 2 variables time and speed with two components each, obtaining 4 treatments, then the sampling was carried out in various markets of the city, determining that the best raw material is located in the producers of the city of Riobamba, same that was analyzed organoleptic, physical, chemical and microbiological, subsequently it was washed, peeled, chopped, weighed and placed in the mixing equipment with a determined volume of water, it was filtered and the liquid was allowed to settle for the sedimentation of the starch granules, the

Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

supernatant was separated and the solids were dried in the open air obtaining a yield of 22,28 %; then the physical, chemical and microbiological analysis was carried out. Then, we proceeded with the identification of the process variables to determine the optimal formulation of the biopolymer and proceeded with the physical and mechanical characterization of the same, determining that the product meets the quality standards for its use, besides being friendly with the environment due to its easy degradation in the ecosystem.

Keywords: Biopolymer; Starch; Plasticizer; Solvent; Additives; Yucca; Tuber

Resumo

O sector agrícola no Equador desempenha um papel muito importante na produção de produtos agrícolas, principalmente tubérculos e especialmente mandioca, impulsionando a economia do sector, razão pela qual esta investigação é realizada para determinar a composição mais adequada na síntese de um material biodegradável de fácil acesso e utilização, para o qual, recorreremos à análise do factor 2k, para obter o amido, considerando 2 variáveis tempo e velocidade com dois componentes cada, obtendo 4 tratamentos, depois foi feita uma amostragem em vários mercados da cidade, determinando que a melhor matéria-prima se encontra nos produtores da cidade de Riobamba, que foi analisada organoléptica, física, química e microbiológica, depois foi lavada, descascada, cortada, pesada e colocada no equipamento dos produtores da cidade de Riobamba, Foi então lavado, descascado, picado, pesado e colocado no equipamento de mistura com um certo volume de água, filtrado e o líquido foi deixado em repouso para a sedimentação dos grânulos de amido, o sobrenadante foi separado e os sólidos foram secos ao ar livre obtendo-se um rendimento de 22,28%; em seguida, foram efectuadas as análises físicas, químicas e microbiológicas. Depois, foram identificadas as variáveis do processo para determinar a formulação óptima do biopolímero e foi efectuada a caracterização física e mecânica do produto, determinando que o produto cumpre os padrões de qualidade para a sua utilização, além de ser amigo do ambiente devido à sua fácil degradação no ecossistema.

Palavras-chave: Biopolímero; Amido; Plastificante; Solvente; Aditivos; Mandioca; Tubérculo.

Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

Introducción

Según el (INEN, 2018) a nivel nacional existen 12237831 ha cultivables, de las cuales 1385805 son para cultivos permanentes, 799494 transitorios y barbecho, 168446 de descanso, 2379042 para pastos cultivados, 715273 de pastos naturales, 252612 de páramos, 5740641 de montes y bosques y 796518 para otros usos. De los 799494 productos transitorios y barbecho, es un producto agrícola que tiene plantado 13351 ha y Cosechado 11948 ha en el año 2018, por este motivo al ser un producto con un alto porcentaje de producción, además es un importante arbusto perenne que pertenece a la familia *Euphorbiaceae*, está conformada por 7200 especies que son caracterizadas por el desarrollo de vasos lactíferos, mismos que están compuestos por galactocitos, que producen una sustancia lechosa. Según (Ceballos & de la Cruz, 2004) se han descrito cerca de 98 especies de Manihot, de los cuales, en Ecuador la yuca es la que tiene mayor relevancia por la facilidad de su cultivo en pisos altitudinales que van desde el nivel del mar hasta los 1620 metros de altitud, con una precipitación de 750 a 3000 mm, comprendida entre 25 y 27°C, con exposición de luz de 10 a 12 horas, su mayor producción se encuentra en suelos franco – ligeros con valores de pH de 5,5 a 7,5 (Hinostroza, Cárdenas, Álvarez, & Cobeña, 1995), con una producción de 9 – 10 Tn/ha, es por este motivo y por sus características nutricionales que el sector industrial destina esta materia prima a la elaboración de almidón (Brito & et al, 2019), y otros productos, de esta manera dinamiza el sector agroindustrial del país. Al ser la yuca un producto fundamental en la alimentación diaria en la población del Ecuador por su facilidad de digestión y por la riqueza en hidratos de carbono, es consumida especialmente en las regiones costa y oriente, además es muy utilizada en algunas industria como materia prima (textiles, balanceados, cartoneras), (Hinostroza, Cárdenas, Álvarez, & Cobeña, 1995).

Del análisis efectuado a la yuca se determina que tiene un 65,2 % de humedad; 0,6 % de ceniza; 1 % de proteína y el 32,6 % de carbohidratos totales. Luego se procede con la extracción del almidón (Cobana & Antezana, 2007), iniciando con la homogeneización (Brito H. , 2000) de pulpa de la materia prima con agua, posteriormente se separa las impurezas en el filtro (Brito Moína, 2001a) y el líquido se deja en reposo para sedimentar los gránulos de almidón (Pérez, Lares, Gonzáles, & Tovar, 2007), a continuación se separan los sólidos y se procede a secar (Brito, Borja, & Chango, Obtaining yacon Flour (*Smallanthus sonchifolius*), 2019), para eliminar la humedad contenida (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias III, 2001), con estos parámetros de diseño el

Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

tiempo de residencia y la velocidad de mezclado (Brito Moína, 2001b), se determina entre los tratamientos el que tiene el mejor rendimiento, también se determinó que estas variables afectan las propiedades del producto (Surco, 2004). Al analizar las características fisicoquímicas (Eggleston, Omoaka, & Arowshegbe, 1993) y microbiológicas en el almidón determinan el tamaño del gránulo de almidón (Brito H. , 2000) de yuca, puede variar de 5 μ m a 35 μ m y tiene el 17 % de amilosa, color blanco, olor característico, con un contenido de humedad del 10,96 %; ceniza de 0,112 %; su temperatura de gelatinización de 66,20 °C; Levaduras y Mohos de 3000 UFC/g y ausencia de coliformes cumpliendo de esta manera con los estándares de calidad.

El desarrollo del nuevo material biodegradable (Angeles, 2015) a base de la yuca se enfoca en la determinación de las cantidades de mezcla óptimas de almidón (Polisacáridos con estructuras lineales como la amilosa (Montoya, 2007), generando flexibilidad, transparencia y películas duras resistentes a grasas y aceites), plastificante, solvente y aditivo, para la síntesis del polímero (Fritz, 1994) con macromoléculas de gran estabilidad estructural y un ciclo de vida muy corto por su alta biodegradabilidad del 27 % al décimo día, así como también presenta propiedades similares a la de los plásticos sintéticos como flexibilidad, tracción y transparencia.

Metodología

Se procedió con la selección de la materia prima, para lo cual, se analizó su aspecto físico, sin que tenga deterioro fisiológico y/o microbiano (Brito & Chuiza, 2020), luego se lavó para eliminar la tierra y las impurezas adheridas, a continuación se procedió con la caracterización del tubérculo determinando las características físicas de longitud, diámetro y peso, luego se peló y se retiró la cáscara, en esta etapa se pierde del 2 al 3 % en peso de la materia inicial, posteriormente se tomó 100 g de material y se realizó el análisis proximal y microbiológico, a continuación se procedió a la extracción del almidón (Jiménez & Martínez de la Cruz, 2016), para lo cual, se utilizó el diseño factorial 2^k utilizando las variables de velocidad (6800 y 20000 RPM) y tiempo (1 y 2 minutos) con 4 tratamientos y 4 repeticiones cada uno, en esta etapa se alimenta al reactor 100 g de yuca troceada con 1000 mL de agua, luego se enciende el equipo y se regula a la RPM1 con un tiempo de 1 minuto (t_1), aquí se homogeneiza la mezcla (Brito Moína, 2001a) para aumentar la superficie de contacto del tubérculo pelado, donde se liberan los gránulos de almidón, se filtra para separar las impurezas de la celulosa evitando que pequeñas partículas de fibra pasen a la lechada, a

Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

continuación se deja sedimentar por un lapso de 7 horas y se separa los gránulos de almidón de la suspensión en agua, los sólidos son llevados a un equipo de secado (Brito Moína, 2001b) a una temperatura de 45 °C, para deshidratar el almidón hasta llegar a una humedad del 13 %, a continuación se pesa y calcula el rendimiento obtenido, posteriormente se reduce el tamaño en un molino de bolas y se separa los gránulos en un tamiz con una luz de malla de 38 micrones, cumpliendo de esta manera con las características granulométricas de la norma, este procedimiento se lo efectúa por cuadruplicado para cada uno de los tratamientos, a continuación se procedió con la comprobación la hipótesis, en la cual, se determina que no existe diferencia significativa entre los tratamientos para la obtención del almidón de Yuca mediante la utilización del análisis estadístico ANOVA. A continuación, se realiza la caracterización física, química y microbiológica de la fécula a nivel de laboratorio, parámetros que se encuentran dentro de lo establecido en la norma.

En la segunda fase se procede con la elaboración del biopolímero (Trujillo, 2014), para lo cual, se utilizó el diseño factorial 2^k , con 4 tratamientos variando la concentración del almidón (yuca) y del plastificante (glicerina), con 4 repeticiones cada una (láminas de plástico biodegradable), también se determinó que no existe diferencias significativas entre los tratamientos aceptando la hipótesis nula, posteriormente se realizó las pruebas mecánicas de tracción en base a la norma ASTM D882 (Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de láminas de plástico fino) y la Norma ASTM D1653-93 (Método de prueba estándar para la transmisión de vapor de agua de películas de revestimiento orgánicas) y posteriormente se realizaran pruebas de solubilidad y biodegradabilidad.

Resultados y discusión

Tabla 1: Taxonomía y morfología de la yuca

No.	NOMBRE CIENTÍFICO	YUCA (<i>Manihot esculenta crantz</i>)
1	Reino	Plantae
2	División	Magnoliophyta

Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

3	Clase	Magnoliopsida
4	Orden	Euphorbiales
5	Familia	Euphorbiaceae
6	Subfamilia	Crotonoideae
7	Tribu	Manihoteae
8	Género	Manihot
9	Especie	Manihot esculenta

Fuente: Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Tabla 2: Composición de la yuca

No.	COMPOSICIÓN NUTRITIVA (por 100 g de base seca)	UNIDAD	CANTIDAD
1	Valor energético	Kcal	132
2	Humedad	%	65,2
3	Proteína	%	1
4	Grasa	%	0,5
5	Carbohidratos totales	%	32,6
6	Fibra	%	1
7	Cenizas	%	0,6
8	Calcio	mg	40
9	Fósforo	mg	34
10	Hierro	mg	1,4

Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

11	Ácido ascórbico	mg	19
12	Porción no comestible	%	32
13	Hongos y levaduras	UFC/g	922,66
14	Coliformes	UFC/g	169,33

Fuente: Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

La humedad promedio obtenida de la yuca es de 65,2 %; con un 0,6 % de ceniza En lo relacionado a la caracterización microbiológica de la yuca se determinó el crecimiento de coliformes con un conteo de 169,33 unidades formadoras de colonias por cada gramo (UFC/g), también se realiza el conteo de hongos y levaduras obteniendo conteos de 922,66 UFC/g respectivamente valores que están dentro del rango que establece la norma técnica del Centro Internacional de la Agricultura Tropical (CIAT) (Sánchez & Lisímaco, 2002)

Tabla 3: Características de la yuca, Manihot esculenta

No.	PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA
1	Olor	Característico
2	Sabor	Dulce
3	Color	Blanco
4	Textura interna	Dura
5	Textura externa	Dura

Fuente: Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Se determinó las características sensoriales de la yuca presentando su olor característico, sabor dulce, color blanco, con una textura interna y externa dura propia del producto agrícola analizado.

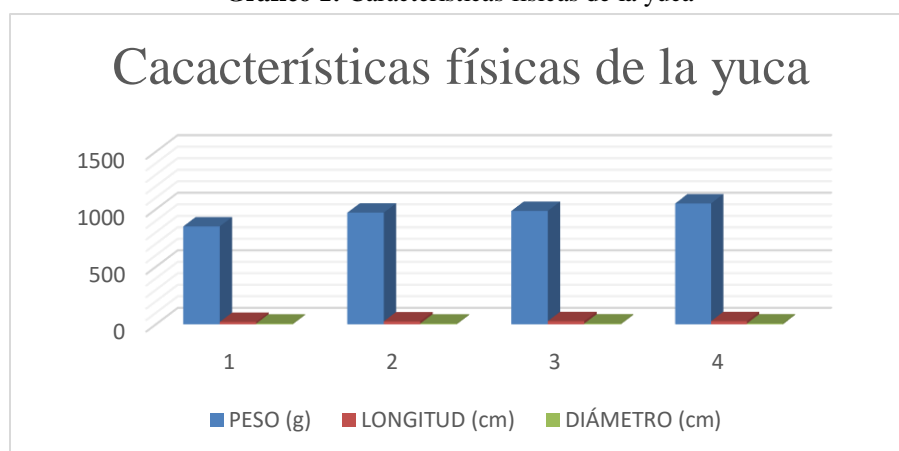
Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

Tabla 4: Dimensiones del tubérculo

No.	PESO (g)	LONGITUD (cm)	DIÁMETRO (cm)
1	850	20,8	6,4
2	970	25,5	6,6
3	985	27,4	6,8
4	1050	27,5	7,2
PROMEDIO	963,75	25,3	6,75

Fuente: Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Gráfico 1: Características físicas de la yuca



Fuente: Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Con la caracterización física se determinó que la materia prima tiene en promedio un peso de 963,75 g; una longitud de 25,3 cm y un diámetro de 6,75 cm; valores correspondientes al producto agrícola cultivado en las regiones del Ecuador.

El análisis realizado al almidón de yuca obtenido mediante 4 tratamientos en los que se varia la velocidad del equipo de trituración (velocidad baja, velocidad alta) y el tiempo de homogeneizado (1 y 2 minutos) realizando 4 repeticiones de cada tratamiento para que los datos obtenidos tengan mayor precisión, esto con la finalidad de realizar análisis físico, químicos y microbiológicos, los cuales se muestran en las siguientes tablas:

Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

Tabla 5: Caracterización del almidón

No.	PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA	MÉTODO
1	Olor	Rancio	Sensorial
2	Color	Blanco	Sensorial
3	Sabor	Insípido	Sensorial
4	Textura	Blando	Sensorial
5	Forma	Esférica truncada	Mac Masters (1964)

Fuente: Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

La determinación de la forma y tamaño de los gránulos del almidón de yuca se realizó en base a la separación con la ayuda de una serie de tamices obteniendo como resultado una granulometría que va de 5 a 35 μ m, en cuanto a la forma se lo realizó su observación al microscopio siendo estas esféricas truncadas, además mediante análisis sensorial se identificó que presenta un olor rancio, su color blanco, sabor insípido y su textura blanda.

Tabla 6: Rendimiento del almidón de yuca

No.	TRATAMIENTO	PESO (g)		RENDIMIENTO (%)
		YUCA	ALMIDÓN	
1	TA1*	100	21,18	21,18
2	TA2**	100	21,90	21,90
3	TA3***	100	22,28	22,28
4	TA4****	100	21,69	21,69

*6800 RPM y 1 minuto; ***6800 RPM y 2 minuto, *20000 RPM y 1 minuto, *20000 RPM y 2 minuto

Fuente: Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

El tratamiento 3 con 22,28 % de rendimiento es el óptimo, por su mayor producción de almidón, además que los tratamientos tienen un rendimiento muy próximo, estableciendo así que preferentemente se debe trabajar con un tiempo de mezclado de 1 min y con la velocidad mínima del equipo de trituración para obtener un buen rendimiento.

Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

Figura 1: Pesaje del almidón de yuca



Fuente: Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Tabla 7: Análisis físico - químico y microbiológico del almidón de yuca

No.	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR	ESTÁNDAR	NORMA INSTITUCIÓN /
1	Amilosa	%	28,07	17 - 24	MOLSAIA-04/INIAP
2	Amilopectina	%	71,93	76 - 83	MOLSAIA-04/INIAP
3	Humedad	%	10,96 ± 3,55	10 - 13	(ICONTEC, 2002)
4	Ceniza	%	0,11 ± 0,013	< 0,12	(AOAC, 2000)
5	Solubilidad	%	8,76	SI	NTE INEN 1456:1986
6	pH		5,85	5,0 - 7,0	NTE INEN 1456:1986
7	Temperatura de gelatinización	°C	66,20	58,5 - 70,0	(Grace, 1977, p.116)
8	<i>Densidad aparente</i>	<i>g/ml</i>	2,425 ± 0,29	1,56	(Smith, 1967, p.593)
9	<i>Tamaño gránulo</i>	%	74	99	(ISI, 1999)
10	Levaduras y mohos	UFC/g	3000	1000 - 5000	(ICONTEC, 1997)
11	Coliformes totales	UFC/g	0	AUSENCIA	(ICONTEC, 1997)

Fuente: Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

La amilosa tiene el 28,07 % (valor más alto que el de norma) y amilopectina del 71,93 % (valor menor al de la norma técnica, entre más alto es el valor de la amilosa da mayor facilidad para la formación de biomateriales.

Al analizar los resultados del análisis proximal destacando entre estos los parámetros de humedad, proteína, fibra, cenizas y carbohidratos totales, donde el porcentaje de humedad revela un valor de

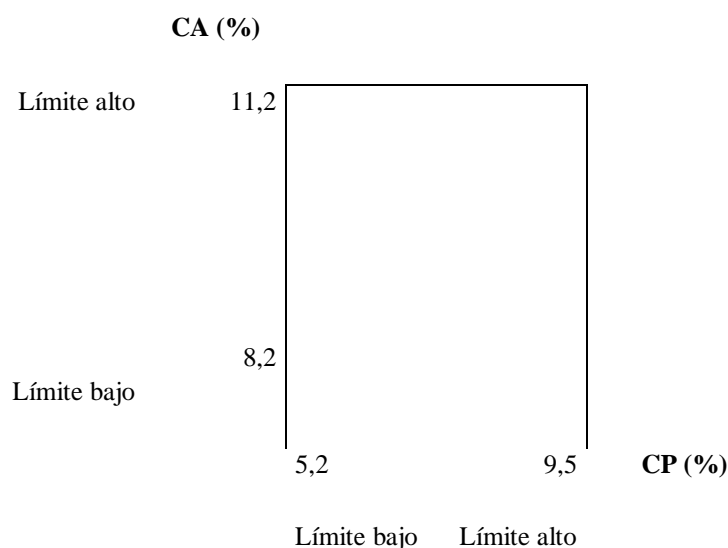
Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

10, 96 % cantidad que concuerda con el rango que establece la FAO el cual va de 10 a 13 % según (Aristizábal & Sánchez, 2007), el porcentaje de ceniza que es de 0,11 % se encuentra en el rango establecido por la norma técnica de la FAO, además concuerda con los valores de Hernández et al. (Hernández & et al., 2008) que son de 0,29% para cenizas. Finalmente se midieron los parámetros de pH y temperatura de gelatinización con resultados de 5,85 y 66,20 °C respectivamente, datos que se encuentran dentro de los valores establecidos por la norma técnica de la FAO para la temperatura de gelatinización. (Aristizábal & Sánchez, 2007).

El análisis microbiológico del almidón se lo realiza en un medio de cultivo efectuando el conteo total de colonias para levaduras y mohos determinando un valor de 3000 unidades formadoras de colonias por cada gramo de almidón (UFC/g) valor que está dentro del rango que establece la FAO de acuerdo con Aristizábal & Sánchez (Aristizábal & Sánchez, 2007), mientras que el conteo de hongos y levaduras es de cero.

Para la síntesis del polímero biodegradable se procedió con el diseño experimental 2^k, de dos factores y dos componentes cada uno el límite alto y el límite bajo con cuatro tratamientos, para identificar cuál de ellos es el óptimo para la producción de este material de acuerdo a la figura 1.

Figura 2: Análisis experimental 2^k



Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

Luego de efectuar el análisis estadístico Anova de dos factores y varias muestras por grupo, se determina que no existe diferencias significativas entre los tratamientos, motivo por el cual, se procede a realizar la caracterización físico química y mecánica

Figura 3: Lámina de plástico de la yuca



Tabla 8: Análisis físico – químico de las láminas de plástico

n O.	tratami ento	espe sor (mM)	hume dad (%)	solubili dad (%)	permeabil idad vapor	transmi sión de vapor (g/hM2)	Degradabi lidad 10 Días (%)	For ma Pelíc ula	Facili dad De Molde o	Transpar encia
1	T1	0,112	18,755	57,303	31,93	3,00E-02	27	SI	SI	SI
2	T2	0,119	20,554	70,718	31,8	3,00E-02	26	SI	SI	SI
3	T3	0,127	19,762	42,906	31,12	3,00E-02	19	SI	SI	SI
4	T4	0,128	21,814	43,28	32,08	4,50E-02	18	SI	SI	SI

Fuente: Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

El espesor es analizado de acuerdo a la norma INEN 2542:2010 (Láminas plásticas requisitos), en el cual, establece que las bio películas deben tener un espesor máximo de 0,2 mm. De esta manera se comprueba que los biopolímeros cumplen con el espesor establecido en la norma y para el uso en alimentos.

Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

A mayor cantidad de plastificante empleado se ve afectado directamente, es decir que la permeabilidad al vapor de agua aumenta, este fenómeno se debe a que su presencia disminuye las fuerzas intermoleculares en las cadenas del plástico, generando mayor movilidad molecular (Villada y Joaquín 2013pp. 59-68), de esta manera, disminuyendo el tiempo de vida de los alimentos embalados en este material.

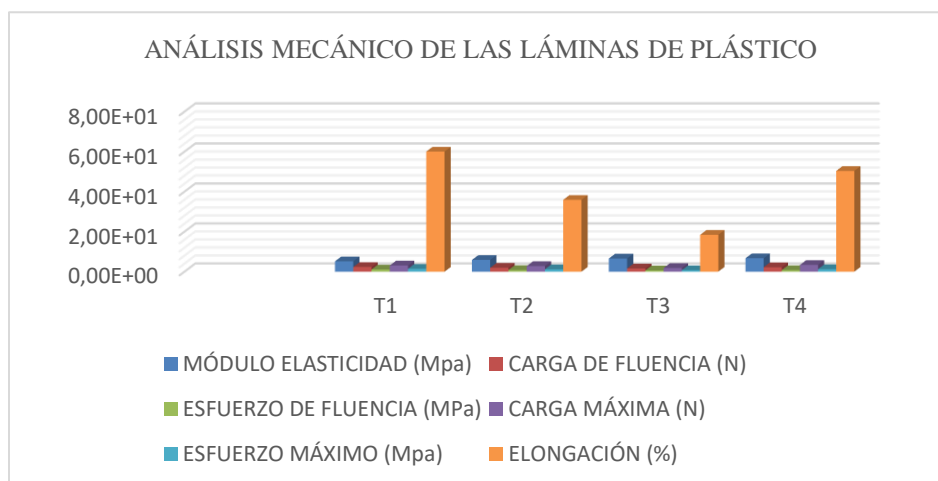
Las láminas de plástico del tratamiento 1 se degradan en un 27 % al décimo día, valor que indica que tiene una alta facilidad de degradarse de manera natural en el ambiente.

Tabla 9: Análisis mecánico de las láminas de plástico

N.	Tratamiento	Módulo elasticidad (mPA)	Carga de fluencia (n)	Esfuerzo de fluencia (mPA)	Carga máxima (n)	Esfuerzo máximo (mPA)	Elongación (%)
1	t1	5,19e+00	2,37	1,1	3,11	1,44	60,06
2	t2	5,90e+00	1,97	0,83	2,8	1,18	35,91
3	t3	6,59e+00	1,61	0,66	1,84	0,76	18,44
4	t4	6,72e+00	2,21	0,81	3,38	1,24	50,39

Fuente: Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Gráfico 2: Propiedades mecánicas de las láminas de plástico



Fuente: Brito H., Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

Del análisis mecánico realizado a las láminas de plástico determina que el tratamiento 1 presenta mejores propiedades de acuerdo al ensayo de tracción descrito en la norma INEN 2635 (Método de Ensayo para las propiedades de Tracción de Láminas Plásticas Delgadas).

Conclusiones

A través de la metodología empleada para la obtención del almidón a partir de la yuca se emplearon técnicas básicas como el acondicionamiento, triturado, filtrado, decantado y secado, para lo cual fue necesario la realización de 4 tratamientos en los que varía la velocidad del equipo de mezclado (intensidad baja, velocidad 1 e intensidad alta, velocidad máxima) y el tiempo de mezcla (1 y 2 minutos) realizando 5 repeticiones de cada tratamiento para que los datos obtenidos tengan mayor precisión.

En base a los resultados obtenidos se denotó que el mayor rendimiento se obtiene con el tratamiento 3 con el 22,28 %, cabe recalcar que en comparación entre los 5 primeros tratamientos todos tienen un rendimiento muy próximo a diferencia del último tratamiento.

Mediante el análisis proximal se determinaron las siguientes propiedades físicas amilosa 28,07 %; amilopectina 71,93 %; humedad 10,96 %; ceniza 0,11 %; temperatura de gelatinización 66,20 °C y un pH 5,85 que comparado con la norma técnica de la FAO se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

El diseño factorial 2^k estableció la mezcla óptima con las concentraciones de almidón del 8,2 % y glicerina del 5,2 % para la síntesis de la bio película, presentando características similares a la de los plásticos convencionales en las propiedades de flexibilidad, tracción y transparencia, además de degradarse en un 27 % al décimo día, porcentaje que muestra la facilidad de degradarse de manera natural en el ambiente.

Referencias

1. Angeles, P. (2015). Diseño de un proceso industrial para obtener plástico biodegradable (TPS) a partir de almidón de yuca manihot sculenta. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Luis Gallo. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/273699367_DISENO_DE_UN_PROCESO_INDUS

Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

TRIAL_PARA_OBTENER_PLASTICO_BIODEGRADABLE_A_PARTIR_DE_ALMIDO
N_DE_YUCA_manihot_sculenta

2. Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Roma: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-a1028s.pdf>
3. Brito, H. (2000). Texto basico de operaciones unitarias I. Riobamba.
4. Brito, H. (2000). Texto Básico Operaciones Unitarias II [Dentro ESPOCH]. Riobamba. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/315778840_Texto_Basico_Operaciones_Unitarias_I
5. Brito, H. (2001). Texto Básico de Operaciones Unitarias III. Riobamba, Ecuador: Docucentro, ESPOCH.
6. Brito, H., & et al. (2019). Diseño de un proceso de producción industrial de almidón a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum*). La Ciencia al Servicio de la Salud y la Nutrición, 202-209.
7. Brito, H., Borja, D., & Chango, G. (2019). Obtaining yacon Flour (*Smallanthus sonchifolius*).
8. Ceballos, H., & de la Cruz, G. (2004). Taxonomía y morfología de la yuca. En: La yuca en el tercer Milenio. Sistemas Modernos de Producción , Procesamiento, Utilización y Comercialización. Cali: CIAT; CLAYUCA; Ministerio de Agricultura y Desarrollo; FENAVI. Obtenido de http://books.google.com.pe/books/about/La_Yuca_en_el_Tercer_Milenio_Sistemas_Mo.html?id=I18dZ9sYZO8C
9. Cobana, M., & Antezana, R. (2007). PROCESO DE EXTRACCION DE ALMIDON DE YUCA POR VIA SECA. Revista Boliviana de Quimica.
10. Eggleston, G., Omoaka, P., & Arowshegbe, A. (1993). Flour, starch and composite breadmaking quality of various cassava clones (Vol. 62). Journal of the Science of Food and Agriculture.
11. Fritz, H. (1994). Study on production of thermoplastics and fibers based mainly on biological material. Stuttgart: European Commission.
12. Hernández, M., & et al. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. Scielo. Obtenido de https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-20612008000300031&script=sci_arttext

Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (manihot esculenta crantz)

13. Hinostroza, F., Cárdenas, F., Álvarez, H., & Cobeña, G. e. (1995). Manual de la yuca. Manabí, Ecuador, Ecuador: EC. INIAP.
14. INEN. (2018). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2018. Quito: INEN.
15. Jiménez, E., & Martínez de la Cruz, S. (2016). OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL ALMIDÓN DE YUCA (Manihot esculentum) VARIEDAD GUAYAPE. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
16. Montoya, H. (2007). Industrialización de la Yuca: Obtención de Almidón Nativo y sus Aplicaciones. Cauca, Colombia: Universidad del Valle.
17. Pérez, E., Lares, M., Gonzáles, Z., & Tovar, J. (2007). Production and Characterization of Cassava (Manihot esculenta CRANTZ) Flour using different thermal treatments (Vol. 32). interciencia.
18. Sánchez, T., & Lisímaco, A. (2002). Conservación y Acondicionamiento de las Raíces Frescas. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. Obtenido de http://www.clayuca.org/sitio/images/publicaciones/yuca_tercer_milenio.pdf
19. Surco, F. (2004). Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: Mashua (tropaeolum tuberosum), Oca (Oxalis tuberosa), olluco (Ullucus Tuberosus) para su aplicación tecnológica. Lima.
20. Trujillo, C. (2014). OBTENCIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA (Manihot esculenta Crantz) DOBLEMENTE MODIFICADO PARA USO EN EMPAQUE DE ALIMENTOS. Puerto Maldonado, Perú: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

2020 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/>).