

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Determinación de Películas Biodegradables a partir de Residuos de Quinoa Salcedo Inia (*Chenopodium quinoa*) y Almidón de Maíz Blanco (*Zea mays*)

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Lucero Fatima Santiago Huaman
Renee Diana Ricra Coronado

Asesor:

Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio

Lima, 14 de octubre del 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

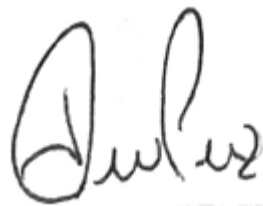
DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**Determinación de Películas Biodegradables a partir de Residuos de Quinoa Salcedo Inia (*Chenopodium quinoa*) y Almidón de Maíz Blanco (*Zea mays*)**” constituye la memoria que presenta los Bachilleres: Lucero Fatima Santiago Huaman y Renee Diana Ricra Coronado

para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 14 días del mes de octubre del año 2022.



Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **14 días** día(s) del mes de **octubre** del año 2022 siendo **las 08:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Ing. Cesar Asbel Aranda Castillo e Ing. Nancy Curasi Rafael** y el asesor **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: “Determinación de películas biodegradables a partir de residuos de Quinoa Salcedo Inia (*Chenopodium quinoa*) y Almidón de Maíz Blanco (*Zea mays*)”

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **LUCERO FATIMA SANTIAGO HUAMAN**

.....b) **RENEE DIANA RICRA CORONADO**

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

Con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **LUCERO FATIMA SANTIAGO HUAMÁN**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	MUY BUENO	SOBRESALIENTE


Candidato (b): **RENEE DIANA RICRA CORONADO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente Mg.
Milda Amparo
Cruz Huaranga



Secretario
Ing. Orlando Alan
Poma Porras


Asesor
Mg. Jackson Edgardo
Perez Carpio

Miembro
Ing. Cesar Asbel
Aranda Castillo

Miembro
Ing. Nancy Curasi
Rafael



Candidato/a (a)
Lucero Fatima
Santiago Huaman



Candidato/a (b)
Renee Diana Ricra
Coronado

Determinación de Películas Biodegradables a partir de Residuos de Quinoa Salcedo Inia (*Chenopodium quinoa*) y Almidón de Maíz Blanco (*Zea mayz*)

(Determination of biodegradable films from the residue of Salcedo Inia quinoa (*Chenopodium Quinoa*) and white corn starch (*Zea mayz*)

Lucero Fatima Santiago-Huaman¹, Renee Diana Ricra-Coronado²

Resumen

El plástico, por su empleo masivo, constituye un problema ambiental por su disposición y extenso tiempo de degradación. Por tal motivo se han desarrollado materiales sustitutos como los bioplásticos. Este estudio de investigación tiene por objetivo desarrollar películas biodegradables, a partir de los residuos de quinoa (*Chenopodium quinoa*) variedad Salcedo Inia y almidón de maíz blanco (*Zea mayz*).

La investigación se dividió en tres etapas, primero la extracción del almidón por vía húmeda quinoa molida, después se elaboró películas biodegradables con las siguientes variables: mezcla del almidón de quinoa (Q) / almidón de maíz (M) (9, 12, 15 g), glicerina (GLI) (8, 12, 16 ml) y otros aditivos fijos: ácido acético (AA) (16 ml) y agua destilada (AD) (120 ml), donde se caracterizó sus propiedades mecánicas (resistencia a la tracción y elongación), posterior el ensayo de biodegradabilidad en compostaje aeróbico y en presencia de radiación UV. Se trabajó con el diseño factorial $2^2 + 2 p.c$ en el software STATGRAPHICS Centurión XVII para determinar la proporción de las variables y repeticiones, asimismo se utilizó el modelo superficie de respuesta para la interpretación de resultados con el software MINITAB 20.3. Se obtuvo una extracción de quinoa del 36 %, utilizados para los 6 tratamientos; donde el mejor de los tratamientos fue el T2 para la película biodegradable, que tuvo óptimas propiedades mecánicas y un menor tiempo de biodegradación (62.80 %) en tres meses, directamente relacionado a las concentraciones de almidón y plastificante.

Se concluye que es posible obtener biopelículas elaborados a base de almidón de quinoa y maíz y que estos cumplan con todas las características mecánicas y biodegradación. **Palabras clave:** Biodegradación; láminas; plastificante; propiedades mecánicas.

Abstract

Plastic, due to its massive use, constitutes an environmental problem due to its availability and extensive degradation time. For this reason, substitute materials such as bioplastics have been developed. This research study aims to develop biodegradable films, from the residues of quinoa (*Chenopodium quinoa*) Salcedo Inia variety and white corn starch (*Zea mayz*).

The research was divided into three stages, first the extraction of the starch by the wet method of ground quinoa, then biodegradable films were made with the following variables: mixture of quinoa starch (Q) / corn starch (M) (9, 12, 15 g), glycerin (GLI) (8, 12, 16 ml) and other fixed additives: acetic acid (AA) (16 ml) and distilled water (AD) (120 ml), where their mechanical properties (resistance to traction and elongation), after the biodegradability test in aerobic composting and in the presence of UV radiation. We worked with the $2^2+2 p.c$ factorial design in the STATGRAPHICS Centurión XVI.I software to determine the proportion of the variables and repetitions, likewise the response surface model was used to interpret the results with the MINITAB 20.3 software. A 36% quinoa extraction was obtained,

used for the 6 treatments; where the best treatment was T2 for the biodegradable film, which had optimal mechanical properties and a shorter biodegradation time (62.80%) in three months, directly related to the concentrations of starch and plasticizer.

It is concluded that it is possible to obtain biofilms made from quinoa and corn starch and that they meet all the mechanical characteristics and biodegradation.

Keywords: biodegradation; sheets; plasticizer; mechanical properties.

1. Introducción

Como enuncia Rivas (2019) en la actualidad a nivel mundial la contaminación por plásticos es uno de los inmensos problemas que preocupan a los gobiernos. En las últimas décadas se utilizaron 5 billones de bolsas por año, un promedio de 10 millones de bolsas por minuto y se vertieron 8 millones de toneladas en los océanos, cifra que demuestra el grave problema que enfrenta la fauna y la flora marina (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2018 y Parker, 2018). Por cada ciudadano peruano se usan alrededor de 30 kilos de plástico al año, que al sumarlas hacen tres mil millones, un total de 6 mil bolsas por minuto (MINAM, 2018).

El plástico sigue generando un impacto ambiental altamente negativo, lejos de reducirse la problemática va en crecimiento y es por la ausencia de soluciones que se deben enfocar desde la introducción al medio natural, su máxima producción, los hábitos de consumo hasta su inadecuada disposición (Téllez, 2012).

Rojas (2018) y García (2019) indican que los residuos de plásticos no tienen valorización y en los océanos se reducen en microplásticos de menor o igual tamaño (5 mm) y van afectando a más de 220 especies entre aves, mamíferos y tortugas marinas.

Amalia et al. (2019); Lestari et al. (2020) indica que hoy en día se están desarrollando diversas investigaciones para sustituir el plástico convencional por bioplásticos de fuentes naturales, generalmente de almidones, siendo estos el principal polisacárido que se usa como materia prima para biopelículas; almacenados en tubérculos, frutas y semillas; comúnmente de cereales como el cebada, trigo, quinua y maíz; siendo estos dos últimos de mayor producción agrícola en Perú y utilizados para la investigación. Los bioplásticos se introducen como una de las alternativas de solución por su rápida descomposición no tóxica en el ambiente, mediante la acción enzimática de microorganismos, bajo costo, biodisponibilidad (De Melo et al., 2017; Zamudio et al., 2015).

En las literaturas revisadas existen reportes de láminas a partir de almidón de quinua y maíz de manera independiente; sin embargo, se trabajó con nuevas formulaciones para la mezcla de ambos y nuevos aditivos, confirmando sus propiedades mecánicas para lo que podría ser a futuro para uso como envases descartables ecológicos (Ledesma et al., 2021).

2. Metodología

2.1 Selección de la materia prima y análisis de laboratorio

La especie seleccionada para la extracción del almidón fue la quinua Salcedo Inia 431 –altiplano (*Chenopodium quinoa*) y para el maíz se utilizó un almidón comercial importado de Chile. MARCA-SANTIS

Se utilizó la quinua Salcedo Inia (*Chenopodium quinoa*) de los residuos generados en el proceso de molienda, proporcionada por la planta Industrial Avendaño Trading Company S.A.C en el distrito de Santa Anita – Lima.

El análisis del trabajo de investigación a escala laboratorio, se realizó en la Universidad Nacional de Ingeniería, ubicada en Lima-Peru en el distrito del Rímac.

2.2 Diseño de experimento

Para los ensayos de diferentes variables de decisión el diseño factorial sugiere, examinar su comportamiento y la combinación de ambos factores, nivel alto y bajo; este diseño es preciso para la selección de factores en la fase inicial, cuando existan muchas variables o factores en estudio; facilitando un menor número de puntos (Montgomery, 2004).

Para el desarrollo de la película se utilizó el diseño factorial $2^2 + 2 \text{ p. c.}$ en el software STATGRAPHICS Centurión XVI.I que consta de 6 tratamientos.

Para el diseño factorial se utilizó la **Ecuación 1**:

$$N^K = 2^2 + 2 (P.C) \quad (E.1)$$

$2 =$ Numero de variables independientes

$*^2 =$ Nivel

Donde:

P.C: Puntos centrales

Los resultados fueron analizados con la metodología de Superficie de respuesta (RSM) empleando el software MINITAB 20.3. Se trabajó a nivel de confianza del 95% sin ajustes.

Los resultados analizados fueron los factores (**ALMIDON Y GLICERINA**) para encontrar una variación significativa en los resultados **VARIABLE DE RESPUESTA (FUERZA de RUPTURA Y ELONGACION)**.

La finalidad de modelo de superficie de respuesta es conseguir gráficamente valores máximos y mínimos y maximizar las respuestas, asimismo es posible la optimización de resultados ajustando el $p < 0.05$ si el diseño lo permite, con ello todos los resultados sean significativos.

2.3 Extracción del almidón de quinua

Se tomó como referencia el método utilizado por Fernández (1998) y Pacheco de la Haye y Techeira (2009) adecuándose para trabajar con los residuos de la quinua. El proceso inicia con el pesado del residuo de la harina de quinua (1kg), se añadió 3 lt de hidróxido de sodio al 25 p/v, luego se filtró dicha mezcla (filtro whatman N°1), después se enjuaga hasta tener un PH neutro (Aprox.7), lo filtrado se dejó reposar por 24 h a T° de 5 °C para su posterior decantación del sobrenadante (descartando la parte líquida).

Al sólido se le añadió agua destilada(AD) en relación 1:3 (sólido:AD), luego se agitó hasta obtener una mezcla homogénea, para realizar un segundo reposo por 24 h a T° de 5 °C y nuevamente se repitió el proceso de decantación y filtración (tamiz N° 50 (300 um)), para el tercer y último reposo por 24 h a T° de 5 °C se decantó y se puso a secar a 50 °C durante 48 h en la estufa. Finalmente se realizó una molienda al sólido seco con un mortero y se tamizó (Tamiz N° 200 (75 um)). El rendimiento obtenido fue de 36 % (360 gr de almidón de quinua). El porcentaje de rendimiento se estimó mediante la **Ecuación 2:**

$$\begin{aligned} \% \text{ rendimiento} &= \frac{PA}{PH} \times 100 && \text{(E. 2)} \\ &= \frac{360 \text{ gr}}{1000} \times 100 \\ &= 36\% \end{aligned}$$

Donde:

PA: Peso del almidón

PH: Peso de la harina

Los rangos de rendimiento del almidón pueden variar entre el (30-53) % y la pureza entre el (93-99) % (García et al., 2019).

2.4 Elaboración de la película biodegradable – Método vaciado en placas (CASTING).

Para el procedimiento de extracción del almidón se tomó como referencia el método utilizado por Cavero y Arroyo (2016); Chariguamán, (2015) y Charro, (2015).

1. En 6 vasos de 250 ml, se agregaron las siguientes cantidades:

Vaso 1: 8 ml de glicerina, 4 g de almidón de quinua, 5 g de almidón de maíz, 16 ml de ácido acético(AC) y 120 ml de agua destilada(AD).

Vaso 2: 8 ml de glicerina, 6.7 g de almidón de quinua, 8.3 g de almidón de maíz, 16 ml (AC) de y 120 ml de (AD).

Vaso 3: 16 ml de glicerina, 4 g de almidón de quinua, 5 g de almidón de maíz, 16 ml de (AC) y 120 ml de (AD).

Vaso 4: 16 ml de glicerina, 6.7 g de almidón de quinua, 8.3 g de almidón de maíz, 16 ml (AC) y 120 ml de (AD).

Vaso 5: 12 ml de glicerina, 5.4 g de almidón de quinua, 6.6 g de almidón de maíz, 16 ml de (AC) y 120 ml de (AD).

Vaso 6: 12 ml de glicerina, 5.4 g de almidón de quinua, 6.6 g de almidón de maíz, 16 ml de (AC) y 120 ml de (AD).

2. Se calentó la mezcla a 80 °C y se agitó por un periodo de 30 min en un agitador magnético.

3. Se colocó la mezcla en una malla serigrafica y luego en una estufa a 50 °C por 24 horas.

4. Finalmente se dividieron las láminas en 5 probetas del mismo tamaño, para los ensayos mecánicos correspondientes en el equipo de tracción universal.

2.5 Ensayos mecánicos-Elongación y Resistencia a la tracción

Se utilizó como base a la norma ASTM-D882 Método de prueba estándar para propiedades de tracción de láminas de plástico delgadas. Cuyo espesor sea menor a 1 mm

(0.04 pulgadas). Deforma la probeta hasta romperla ello con una velocidad constante y finalmente verifica su resistencia (NTE INEN 2043, 2013).

2.6 Ensayo de biodegradabilidad

Para el procedimiento de Biodegradabilidad se referenció el método utilizado por Ledesma et al. (2021) asimismo para el ensayo de degradación en suelo se emplearon 6 macetas-envases de 15 cm de diámetro, introducido el material elaborado (4 x 8 cm²) en medio compost de suelo neutro (200 gr), enterradas a 3 cm debajo del nivel de las macetas-envases en medio aeróbico y presencia de radiación UV e irrigadas con agua corriente 5 veces a la semana por saturación, durante tres meses, considerando el tiempo de degradación final.

Se pesó las muestras en una balanza analítica, luego se dejó en compost siguiendo el proceso antes mencionado y a los tres meses se realizó el peso final de las muestras.

La norma europea EN 13432 también fue utilizada para comprobar el tiempo de degradación y puédase llamar “material compostable donde el tiempo de degradarse mínimamente debe ser el 90 % de su estructura física durante seis meses”.

El porcentaje de pérdida de peso se estimó mediante la **Ecuación 3**:

$$\% \text{ pérdida de peso} = \frac{PIL - PFL}{PIL} \times 100 \quad (\text{E. 3})$$

Donde:

PIL: Peso inicial de la lamina

PFL: Peso final de la lámina

Cuadro 1. Porcentaje de Biodegradabilidad

Table 1. Percentage of Biodegradability

Tratamientos	Peso inicial	Peso final	% Pérdida de peso
T1	3.9	1.8	53.84
T2	4.3	1.6	62.80
T3	4.1	2.45	40.24
T4	4.1	1.7	58.54
T5	3.8	1.85	51.32
T6	4.1	1.7	58.53

3. Resultados y Discusión

El Método de vía húmeda para la extracción de quinua con NaOH (25%) como alcalinizante, logró un rendimiento del 36 %, obteniendo un buen rendimiento en relación al estándar comparado (30-53%), (Jan et al., 2017 y Wright et al., 2002); asimismo el (NaOH) asegura la calidad del almidón (eliminando componentes como: lípidos, proteínas, fibras y saponinas (Scrichuwong et al, 2017; Li et al, 2016 y Awell et al, 1983).

Por otro lado, el tratamiento enzimático que se realizó en la extracción, permite la purificación del almidón; eliminando componentes que interfieren y contaminan el almidón (residuos del reactivo), evitando afectar a las propiedades fisicoquímicas del almidón (Zárate, 2019 y Zhang y Hamaker 1999).

Sin embargo, los resultados no solo dependen del tipo de extracción, sino por la especie (Salcedo-INIA), tipo de quinua usada (Quinua blanca) y a las modificaciones en

cuanto a las etapas del procedimiento utilizado, clima, tipo de suelo, así como las condiciones de almacenamiento de la quinua (Zárate, 2019).

En el estudio de propiedades mecánicas se analizó la resistencia a la tracción (Mpa) y elongación (%). Según Navia y Bejarano (2014) estas propiedades son consideradas fundamentales, para precisar la lámina más resistente.

Cuadro 2. Resultado de la interacción de variables independientes sobre dependientes
Table 2. Result of the interaction of independent variables on dependent variables

Tratamientos	Almidón de quinua/maíz (g)	Glicerina (ml)	RT (MPa)	E (%)	B (%)
M1	9	8	0.36	20.3	53.84
M2	15	8	0.96	23	62.80
M3	9	16	0.08	24.1	40.30
M4	15	16	0.38	19.7	58.53
M5	12	12	0.36	18.6	51.32
M6	12	12	0.30	23.6	58.53

M: Muestra, RT: Resistencia a la tracción, E: Elongación, B: Biodegradabilidad

En el (**Cuadro 2**), se observa que la muestra con mayor resistencia a la tracción fue el ensayo 2 (15 g de almidón de Q/M y 8 ml de GLI), que da como resultado 0.96 MPa y el que presentó menor resistencia a la tracción fue el ensayo 3 (9 g de almidón de Q/M y 16 ml de GLI), dando como resultado 0.08 MPa, pero mayor elongación (24.1 %) y el que presentó menor elongación fue la muestra cinco. Esto indica que a mayor adición de glicerina tendrá un efecto positivo en la elongación. En cuanto a la biodegradabilidad, todas las películas se degradaron en un rango de 40.30 a 62.80 %. En general todas las láminas presentaron un buen porcentaje de elongación, sin embargo, se observó algunas diferencias en la resistencia a la tracción debido a la variación en su composición.

En las gráficas de superficies de respuesta obtenidas se observa que las características mecánicas son inversamente proporcionales, es decir cuando la resistencia a la tracción es mayor el % de elongación disminuye. Asimismo, el almidón en mayor proporción y glicerina en menor proporción ayudó a una mayor biodegradación en suelo compost, sin embargo, no es responsabilidad total del elemento de origen descomponer, sino de todo el organismo químico del bioplástico que lo compone, el medio y los microorganismos que son involucrados.

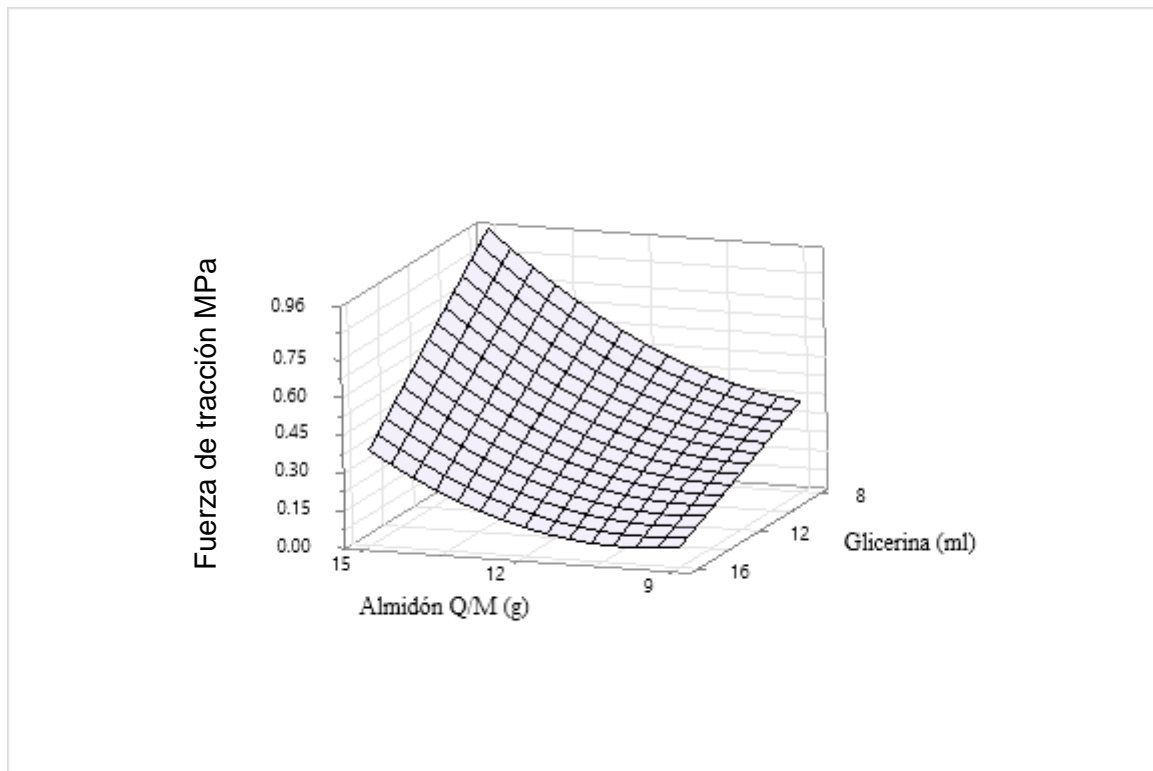


Figura 1. Interpretación de la variable dependiente (Fuerza de tracción)
Figure 1. Interpretation of the dependent variable (Traction force)

Se observa en la (**Figura 1**) que a medida que la glicerina disminuye y el almidón aumenta, soportará mayor resistencia (0.96 Mpa), resultado menor fue percibido por Ledesma et al., 2021 donde obtuvo como resultado una resistencia a la tracción de 0,64 y 0,40 Mpa en las láminas de maíz y quinua.

Puraca et al. (2021) menciona que, a mayor proporción de almidón en la biopelícula, tendrá mayor fuerza de tracción.

Sánchez Aldana et al., (2015); Dos Reis et al., (2014) considera que a bajo contenido de glicerina la tensión será alta.

Según Morales (2014) las láminas del almidón de quinua tienen un valor inferior de fuerza de tracción, pero un valor superior de elongación en relación con los bioplásticos de almidón de otros polímeros.

Por otro lado, según (Marichelvam et al., 2019) el ácido acético y cítrico ayudan en la mejora de las propiedades mecánicas del bioplástico. También, se puede mejorar la resistencia a la tracción, añadiendo el dióxido de titanio (Amin et al., 2019).

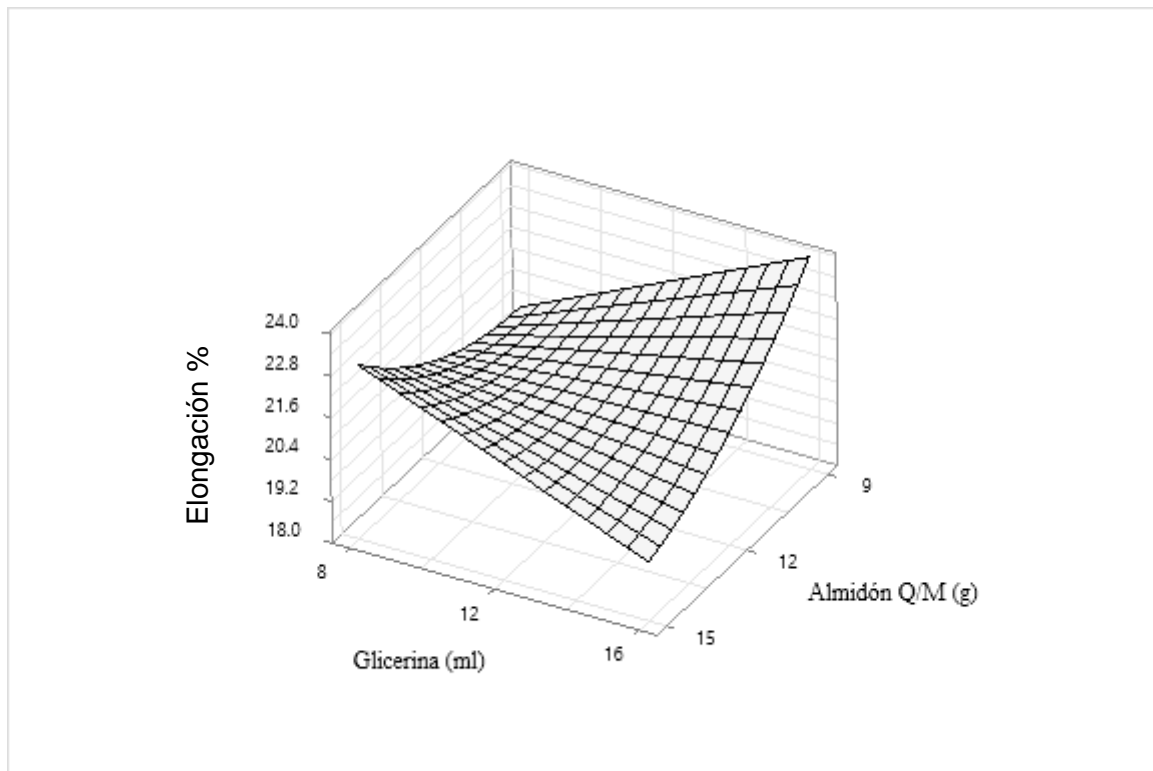


Figura 2. Interpretación de la variable dependiente (Elongación)
Figure 2. Interpretation of the dependent variable (Elongation)

En este estudio (**Figura 2**), se observó que cuanto más sea la GLI y menos el almidón de Q/M, la elongación del bioplástico será mayor por lo que la elongación final para cada composición en la muestra incrementa de acuerdo al aumento de glicerina.

Estos resultados coincidieron con los de Bertuzzi et al. (2012) y Valderrama y Rojas de Gante (2014) con relación a que un incremento en la elongación y disminución en la resistencia fue observado cuando se aumentó la concentración del plastificante, en láminas basadas en almidón de maíz.

Dias et al. (2010); Muscat et al. (2012); Jouki et al. (2013); Meneses et al. (2007) y Sousa et al. 2010) documentaron que un elevado contenido de plastificante disminuye la energía intermolecular por lo cual sube la elasticidad y baja la resistencia del material.

Choi y Han (2009) también mencionan que un incremento en la dosis de plastificante da como producto bioplásticos con mínima fuerza de tracción y una máxima elongación, en láminas de proteína de cerdo.

Mientras que Ledesma et al., 2021 obtuvo un resultado mayor de elongación máxima de 33,78 y 29,18 % para las láminas de maíz y quinua.

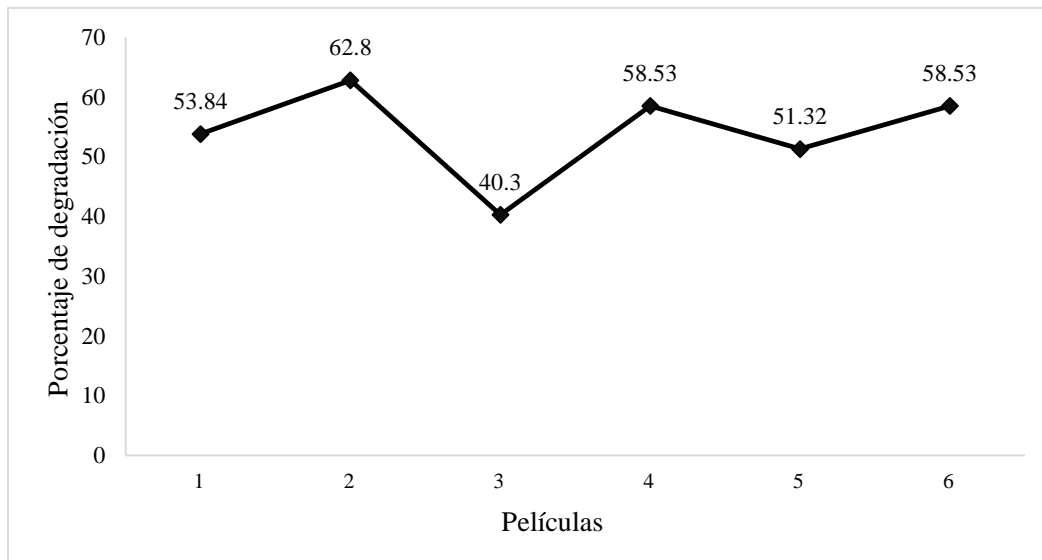


Figura 3. Ensayo de biodegradabilidad de las películas de Q/M
Figure 3. Biodegradability test of Q/M films

El ensayo de biodegradabilidad de la película de Q/M se encuentra representado en la **(Figura 3)**, Se observó que la lámina tuvo una degradación del 62.80 % en 90 días, cumpliendo así los parámetros de la norma europea EN 13432, donde indica que un “material compostable debe degradarse mínimamente el 90 % de su estructura física durante seis meses” (García et al., 2019). Demostrando que durante el tiempo evaluado lo esperado sería 45%. Mientras que, Riera (2020) obtuvo un % mayor % de degradación en 42 días. Según Meza et al. (2019) los porcentajes de biodegradabilidad más elevados tienen gran cantidad de materia orgánica por lo cual su degradación es más rápida las cuales están entre (50,6 - 64,21) % en un tiempo de 60 días. Según Rutiaga (2002) esto se debe a la existencia de microorganismos y a los agentes ambientales. La velocidad de degradación en suelo neutro favorece el crecimiento de una gran diversidad de microorganismos; tales como bacterias, hongos, nematodos y protozoarios beneficiando la degradación (Hernández, 2013).

El biomaterial puede ser compostable de acuerdo a lo citado en la norma INEN 2643 (Especificaciones para plásticos compostables), debido a su velocidad de degradación; misma que se puede comparar con otros materiales compostables como la madera, hojas, residuos de alimentos (Cuevas, 2017).

4. Conclusiones

El rendimiento de la extracción del almidón de quinua fue (36%), considerado dentro del rango (30-53) % a lo que suple el requerimiento de fabricación, económico por ser proveniente de un residuo industrial de la quinua; asimismo el almidón de maíz de bajo costo y fácil accesibilidad.

Se lograron láminas del almidón de quinua/maíz y glicerina con una resistencia a la tracción de 0.96 MPa, una elongación de 23 % mostrando que sus propiedades mecánicas resultaron favorables con un potencial a bioplástico; encontrándose entre los límites RT: (0.50-25.6) Mpa y elongación (20.7-121) % (Trujillo, 2014).

Se comprobó a un 95% de confianza ($p < 0.05$) los resultados evaluados son significativas, es decir el almidón a un elevado contenido mejora la resistencia (1 era variable de repuesta) y a un elevado contenido de glicerina se eleva la elongación (2 da variable de respuesta).

Adicionalmente el tiempo de degradación de la lámina no se consideró en el análisis del software MINITAB 20.3, pero se evaluaron todas las muestras (Programa Excel), el cual tuvo relación directa con los resultados máximos con la variable almidón. Consideramos finalmente que sería ideal no bajar el contenido de almidón 15 GR (20-40%) para no obtener laminas quebradizas, y mantener entre 8 gr y 16 gr de glicerina (12-16%) para no bajar su elongación y tener potencial de uso como envase biodegradable.

Se observó que la lámina tuvo una degradación del 62.80 % en 3 meses, cumpliendo así los parámetros de la norma europea (EN 13432), 90% en 6 meses. (García et al., 2019). Demostrando que durante el tiempo evaluado lo esperado sería 45%. Y en un tiempo estimado (6 meses) estaría ya descompuesto en su totalidad. Siendo un resultado favorable ya que estos productos ecoamigables, plantea una alternativa viable para reducir el problema ambiental por plásticos.

Se recomienda evaluar la pureza del almidón de quinua y sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, para dar beneficio directo con el contenido de amilosa causante de rigidez de la lámina.

Se puede añadir otras sustancias que ayuden a elevar su resistencia y elasticidad, como el ácido poliláctico y Oxido de titanio; asimismo evaluar otras variables del polímero como el agua, que desestructura al almidón. Asimismo, plantear otros modelos de elaboración de laminas como moldeo de inyección, extracción, soplado termo formación e hilado con técnicas y equipos convencionales.

Se recomienda hallar la relación de **DQO/DBO5** (Índice de biodegradabilidad). Para indicar el grado de biodegradabilidad de la materia orgánica disuelta en agua. Simultáneamente evaluar el método estándar **EN 14046 (ISO 14855)** y **EN 1405**, la **Norma Técnica Peruana 900.080** y **EN 13432**; sobre características químicas que no fueron evaluadas.

5. Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento a LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA (UNI), por permitir realizar las pruebas pertinentes para la investigación, siendo un momento complicado para acceder a sus laboratorios, asimismo a la empresa AVENDAÑO TRADING COMPANY SAC por facilitarnos la materia prima de su producción (Residuos de quinua). Además, a nuestros revisores internos y en su contraparte a los revisores anónimos de la revista por sus contribuciones, los cuales mejoraron este documento.

6. Ética y conflicto de intereses

Declaramos el cumplimiento de la investigación, con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito, no hay conflictos de intereses de ningún tipo; todas las fuentes financieras se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos; y están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo”

7. Anexos



Figura 4. Estufa Eléctrica BINDER -DIN 12880



Figura 5. Plancha con calentamiento con agitador –MSH-20A



Figura 6. Muestras completas y en probetas de las láminas biodegradables



Figura 7. Máquina de tracción universal. **ZWICK ROELL, Z010** Y Vernier digital. **MITUTOYO CORPORATION, CD-6” BS.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO LABICER
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN

INFORME TÉCNICO N° 1148 – 21 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE

1.1 NOMBRE DEL CLIENTE : LUCERO FÁTIMA SANTIAGO HUAMÁN
1.2 DNI : 70876250

2. CRONOGRAMA DE FECHAS

2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 26 / 10 / 2021
2.2 FECHA DE ENSAYO : 28 / 10 / 2021
2.3 FECHA DE EMISIÓN : 11 / 11 / 2021

3. ANÁLISIS SOLICITADO : ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELONGACIÓN

4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 06 MUESTRAS DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES

MUESTRA	DESCRIPCIÓN
M1	8 mL de glicerina + 4 g almidón de quinua + 5 g almidón de maíz + 16 mL de ácido acético + 120 mL de agua destilada
M2	8 mL de glicerina + 6.7g almidón de quinua + 8.3 g almidón de maíz + 16 mL de ácido acético + 120 mL de agua destilada
M3	16 mL de glicerina + 4 g almidón de quinua + 5 g almidón de maíz + 16 mL de ácido acético + 120 mL de agua destilada
M4	16 mL de glicerina + 6.7g almidón de quinua + 8.3 g almidón de maíz + 16 mL de ácido acético + 120 mL de agua destilada
M5	12 mL de glicerina + 5.35 g almidón de quinua + 6.65 g almidón de maíz + 16 mL de ácido acético + 120 mL de agua destilada
M6	12 mL de glicerina + 5.35 g almidón de quinua + 6.65 g almidón de maíz + 16 mL de ácido acético + 120 mL de agua destilada

4.2 TESIS : Determinación de películas biodegradables a partir del residuo de la quinua salcedo inia (*Chenopodium Quinoa*) y almidón de maíz blanco (*Zea Mayz*)

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS

6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 22.7°C; Humedad relativa: 61%

7. EQUIPOS UTILIZADOS : Máquina de tracción universal. ZWICK ROELL, Z010. Vernier digital. MITUTOYO CORPORATION, CD-6" BS.



8. RESULTADOS

8.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELONGACIÓN DE LA MUESTRA M1

Nº DE REPETICIÓN	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	FUERZA MÁXIM A (MPa)	FUERZA MÁXIM A(N)	ELONGACIÓN (%)	MÉTODO DE REFERENCIA
1	0,78	40,63	0,2123	6,729	21,2	ASTM D882
2	0,76	39,76	0,3456	10,44	19,7	
3	0,75	39,66	0,3579	10,64	19,9	
4	0,51	39,86	0,5249	10,67	20,2	
Promedio	0,70	39,98	0,3602	9,620	20,3	
Desviación estándar	0,13	0,443	0,1281	1,930	0,67	
Coefficiente de variación	18,2	1,107	35,562	20,06	3,29	

(*) Condiciones de ensayo: Velocidad de ensayo 20mm/min, mordazas tipo cuña.

8.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELONGACIÓN DE LA MUESTRA M2

Nº DE REPETICIÓN	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	FUERZA MÁXIM A (MPa)	FUERZA MÁXIM A(N)	ELONGACIÓN (%)	MÉTODO DE REFERENCIA
1	0,82	37,80	0,9409	29,17	20,0	ASTM D882
2	0,95	37,58	0,8659	30,91	24,6	
3	0,81	38,86	1,1520	36,25	25,0	
4	0,76	37,88	0,8898	25,62	22,5	
Promedio	0,84	38,03	0,9622	30,49	23,0	
Desviación estándar	0,08	0,568	0,1304	4,428	2,30	
Coefficiente de variación	9,70	1,493	13,550	14,52	9,97	

(*) Condiciones de ensayo: Velocidad de ensayo 20mm/min, mordazas tipo cuña.

8.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELONGACIÓN DE LA MUESTRA M3

Nº DE REPETICIÓN	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	FUERZA MÁXIM A (MPa)	FUERZA MÁXIM A(N)	ELONGACIÓN (%)	MÉTODO DE REFERENCIA
1	0,81	40,39	0,08733	2,857	24,2	ASTM D882
2	0,85	40,06	0,08142	2,772	23,4	
3	0,78	40,03	0,07807	2,438	24,6	
4	0,93	39,00	0,08774	3,182	24,3	
Promedio	0,84	39,87	0,08364	2,812	24,1	
Desviación estándar	0,07	0,60	0,00470	0,306	0,51	
Coefficiente de variación	7,72	1,51	5,62396	10,87	2,12	

(*) Condiciones de ensayo: Velocidad de ensayo 20mm/min, mordazas tipo cuña.



8.4 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELONGACIÓN DE LA MUESTRA M4

N° DE REPETICIÓN	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	FUERZA MÁXIM A (MPa)	FUERZA MÁXIM A (N)	ELONGACIÓN (%)	MÉTODO DE REFERENCIA
1	1,05	38,76	0,3334	13,57	23,2	ASTM D882
2	0,44	41,73	0,4093	7,516	20,9	
3	1,11	43,37	0,2794	13,45	20,4	
4	0,42	41,89	0,5134	9,033	14,3	
Promedio	0,76	41,44	0,3839	10,89	19,7	
Desviación estándar	0,38	1,93	0,1015	3,086	3,80	
Coefficiente de variación	49,82	4,66	26,432	28,33	19,3	

(*) Condiciones de ensayo: Velocidad de ensayo 20mm/min, mordazas tipo cuña.

8.5 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELONGACIÓN DE LA MUESTRA M5

N° DE REPETICIÓN	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	FUERZA MÁXIM A (MPa)	FUERZA MÁXIM A (N)	ELONGACIÓN (%)	MÉTODO DE REFERENCIA
1	0,56	39,48	0,3584	7,924	17,9	ASTM D882
2	0,49	39,14	0,3755	7,202	22,2	
3	0,54	39,67	0,3352	7,181	16,6	
4	0,51	41,95	0,3804	8,138	17,6	
Promedio	0,53	40,06	0,3624	7,611	18,6	
Desviación estándar	0,03	1,279	0,0204	0,493	2,48	
Coefficiente de variación	5,92	3,193	5,6362	6,472	13,3	

(*) Condiciones de ensayo: Velocidad de ensayo 20mm/min, mordazas tipo cuña.

8.6 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELONGACIÓN DE LA MUESTRA M6

N° DE REPETICIÓN	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	FUERZA MÁXIM A (MPa)	FUERZA MÁXIM A (N)	ELONGACIÓN (%)	MÉTODO DE REFERENCIA
1	0,69	39,75	0,2963	8,128	23,1	ASTM D882
2	0,71	40,08	0,2946	8,383	22,7	
3	0,59	40,07	0,3336	7,888	26,0	
4	0,56	40,10	0,2742	6,159	22,4	
Promedio	0,64	40,00	0,2997	7,640	23,6	
Desviación estándar	0,07	0,167	0,0247	1,007	1,66	
Coefficiente de variación	11,6	0,418	8,2575	13,19	7,04	

(*) Condiciones de ensayo: Velocidad de ensayo 20mm/min, mordazas tipo cuña.



9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.



Bach. Jesús Utano Reyes
Analista químico
LABICER – UNI



M.Sc. Ily Marilú Maza Mejía
Responsable de análisis
Jefe de Laboratorio
CQP 1149

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

8. Referencias

- Alarcón C., H. y Arroyo B., E. (2016). Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa, *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(3), 315-320. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371949374007>
- Amalia, B., Imawan, C. y Listyarini, A. (2019). Fabrication and characterization of thick films made of chitosan and nanofibrillar cellulose derived from pineapple leaf. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 496. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/496/1/012021/pdf>.
- Amin, R., y Chowdhury, M. A. (2019). Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch. *ScienceDirect*. 5(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02009>
- Atwell, W., Patrick, B., Johnson, L. y Glass, R. (1983). Characterization of quinoa starch. *Cereal chemical*, 60(1), 90-11. https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1983/Documents/chem60_9.pdf
- Bertuzzi, M. A., Gottifredi, J. C. y Armada, M. (2012). Mechanical properties of a high amylose content corn starch based film, gelatinized at low temperatura. *Brazilian Journal of Food Technology*, 15(3), 219-227. <https://www.scielo.br/j/bjft/a/cHhGk4WLgWyXFkm6f3PV6wL/?lang=en>
- Cordera, F. M. y Pérez M. A. (10 de febrero de 2020). *Kompuestos desarrolla tres bioplásticos biodegradables en agua en menos de dos meses*. <https://www.kompuestos.com/sala-de-prensa/kompuestos-desarrolla-tres-bioplásticos-biodegradables-en-agua-en-menos-de-2-meses>
- Chariguamán, J. A. (2015). *Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (Passiflora edulis spp)* [Tesis de pregrado, Escuela agrícola panamericana, Zamorano Honduras]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4560/1/AGI-2015-014.pdf>
- Choi, W. S. y Han, J. H. (2001). Physical and mechanical properties of pea-protein-based edible films. *Journal of Food Science*, 66(2), 319-322. <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.2001.tb11339.x>
- Cueva, C.Z. (2017). Obtención y caracterización de almidones termoplásticos obtenidos a partir de almidones injertados con poliésteres biodegradables. *Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.* https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/466/1/PCM_D_Tesis_2017_Cuevas_Zujey.pdf
- De Melo Nieto, B., Fornari Junior, C., Paranhos da Silva, E., Marcelo Franco., Dos Santos Reis, N., Ferreira Bonomo, R., De Almeida, P. y Valverde Pontes, K. (2017). Biodegradable thermoplastic starch of peach palm (*Bactris gasipaes kunth*) fruit: Production and characterisation. *International Journal of Food Property*, 20(53), 2429-2440. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10942912.2017.1372472>
- Días, B., Carmen, M., Fábio, D. y Joao, B. (2010) Biodegradable films based on rice starch and rice flour. *Journal of cereal science*, 51(2), 213-219. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521009001817>
- Dos Reis, R. C., Devilla, I., Oliveira, G.H.H., Coreea, P.P., Ascheri, D.p., Souza, A.B. y Servulo A.C.O. (2014). Propiedades mecánicas, permeabilidad y solubilidad de la película biodegradable de almidón de ñame y glicerol. *Interciencia*, 39(6), 410-415. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33931213009>

- García, C., García C., Olaya C., Rosas N. y Vignolo U. (2019). *Diseño del proceso de bandejas biodegradables a partir de la fécula de maíz*. <https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4276/f15f56df2c6ce4fa6b1beb82a733acaee5e1247a3a2fc682d78384751f8c7955.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, A. (2019). Contaminación por plásticos: causas, consecuencias y soluciones. *Ecología Verde*. <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-por-plasticos-causas-consecuencias-y-soluciones-2114.html>.
- Hernández-Ruiz, G., Alvarez-Orozco N. y Ríos-Osorio L. (2017). Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: revisión sistemática. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecuaria, Mosquera (Colombia)*, 18(1), 139-159 <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n1/v18n1a09.pdf>
- Jan, k., Panesar, P., Rana, C. y Singh, S. (2017). Structural thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *International journal of biological macromolecules*, 102(1), 315-312. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014181301730702X>
- Jouki, M., Tabatabaei Yazdi, F., Mortazavi, S.A. y Koocheki, A. (2013). Physical, barrier and antioxidant properties of a novel plasticized edible film from quince seed mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 62(1), 500-507. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.09.031>.
- Lestari, Retno., Kasmiyatun, m., Dermawan, K., Aini, A., Riyati, N. y Putri, F (2020). Bioplastic from Jackfruit Seeds and Rice. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 835. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/835/1/012035/pdf>
- Li, G., Wang, S., y Zhu, F. (2016). Physicochemical properties of quinoa starch. *Carbohydrate Polymers* 181(1), 328-338. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.064>
- Marichelvam M. K., J. y Mohammad. A. (2019). Corn and Rice Starch-Based Bio-Plastics as Alternative Packaging Materials. *Fibers*, 7(4), 32. <https://doi.org/10.3390/fib7040032>
- Meneses, J., Corrales, K. y Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq*, 8(1), 57-67. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2018). *Cifras del mundo y el Perú*. <https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos* (2^{da} ed). Limusa, S.A. de C.V. Grupo noriega editores. https://www.academia.edu/9101936/Dise%C3%B1o_y_an%C3%A1lisis_de_experimentos_Douglas_C_Montgomery
- Morales, E. (2014). *Caracterización de películas, elaboradas a partir de harina de quinua (chenopodium quinua, willd), almidón modificado de yuca (manihot esculenta) y montmorillonita* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7281/1/CD-5409.pdf>
- Muscat D, Adhikari B, Adhikari R. y Chaudhary DS. (2012). Comparative study of filmformig behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xylitol as plasticizers. *Journal Food Engineering*, 109(2), 189-201. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.019>
- Navia, D. y Bejarano, N. (2014). *Evaluación de propiedades Físicas de bioplásticos termo-comprimidos elaborados con harina de yuca* [Tesis de pregrado, Universidad del Cauca]. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a05.pdf>

- NORMA ASTM D882. (1992). *Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting Standard. D882-91*. ASTM, annual book of ASTM. Philadelphia ASTM. 162–170. <https://www.instron.com/en/testing-solutions/astm-standards/astm-d882>
- NORMA EUROPEA UNE EN 13432. (2001). *Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación. Programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase o embalaje*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0024465#:~:text=EN%2013432%3A2001-.Envases%20y%20embalajes.,final%20del%20envase%20o%20embalaje>.
- NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE INEN 2043. (2013). *Plásticos. método de ensayo para la determinación de las propiedades de tensión*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2043-1.pdf>
- Pacheco de la Haye y Techira N. (2009). Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea alata*). <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/280-c-TECHEIRA-6.pdf>
- Puraca, E., Durand, F. y Herrera, V. (2021). *Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de Taro (Colocasia Esculenta* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4825>
- Riera, A. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays L.*). *Revista Colón Ciencias, Tecnología Y Negocios*, 7(1), 1–11. https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/1134
- Rivas, M. (16 de julio 2019). *La crisis de la contaminación plástica*. <https://mx.boell.org/es/2019/07/16/la-crisis-de-la-contaminacion-plastica>
- Rojas, K. (2018). *La contaminación por plástico*. <https://www.elfinancierocr.com/tecnologia/la-contaminacionporplastico/YTJWOX5OENA6ZAIQ3GOK6UTKJM/story>
- Rutiaga, Q. (2002). *Elaboración de películas plásticas flexibles a partir de polímeros naturales como una alternativa de empaque y la evaluación de sus propiedades* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Nueva León]. <http://eprints.uanl.mx/5603/1/1080124502.PDF>
- Sánchez Aldana, D., Contreras Esquivel, J., Nevárez Moorillón, G. y Aguilar, C. (2014). Caracterización of edible films from pectic extracts and essential oil from Mexican lime. *CyTA Journal of Food*, 13(1), 17-25. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.904929>
- Srichuwong, S., Curti, D., Austin, S., King, R., Lamothe, L. y Hernandez, G. (2017). Physicochemical properties and starch digestibility of whole grain sorghums, millet, quinoa and amaranth flours ,as affected by starch and non-starch constituents. *Food Chemistry* 233(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.019>
- Téllez, A. (2012). *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de la política en Bogotá* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10015>
- Trujillo, C. T. (2014). *Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (manihot esculente crantz) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Amazónica del Perú]. <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/65/004-2-1-013.pdf?sequence=1&isAllowed=yhttp://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/65/004-2-1-013.pdf?sequence=1&isAllowed>

- Valderrama Solano, S. A. y Rojas de gante. C. (2014). Development of biodegradable films based on blue corn flour with potential applications in food packaging. Effects of plasticizers on mechanical, thermal, and microstructural properties of flour films. *Journal of Cereal Science*, 60(1), 60-66. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521014000289>
- Wright, K., Pike, O., Fairbanks, D. y Huber, S. (2002). Isolation and characterization of *Atriplex hortensis* and sweet *Chenopodium quinoa* starches. *Cereal Chemistry*, 79(1), 715-719. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.5.715>
- Zamudio Flores, P., Ochoa Reyes, E., Ornelas Paz, J., Tirado Gallegos, J., Bello Pérez, L., Rubio Ríos, A. y Cárdenas Félix, R. (2015). Caracterización fisicoquímica, mecánica y estructural de películas de almidones oxidados de avena y plátano adicionadas con betalaínas. *Agrociencia*, 49(5), 483-498. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v49n5/v49n5a2.pdf>
- Zhang, G. y Hmaker, M. (1999.) SDS-sulfite increases enzymatic hydrolysis of native sorghum starches. *Starch/Starke* 51(1), 21-25. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-379X\(199901\)51:1<21::AID-STAR21>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-379X(199901)51:1<21::AID-STAR21>3.0.CO;2-0)