UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE LA SEMILLA DE PALTA (*Persea americana*) VARIEDAD HASS Y DETERMINACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD

TESIS

PRESENTADA POR:

BACH. CRISTIAN EDWIN MACHACA RAMOS

ASESOR: DR. RENE GERMAN SOSA VILCA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

MOQUEGUA-PERÚ

2022

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Folio N° ..007

ACTA DE SUSTENTACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM FEDATARIO

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación de la modalidad de titulación del bachiller:
RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 1197-2018-UNAM
Fecha: 27/12/2018

III. Documento de aprobación para la sustentación:
RESOLUCIÓN DE FACULTAD N° 351-2022-FACIA-UNAM
Fecha: 12/12/2022

IV. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS
TITULADO: OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE LA SEMILLA DE PALTA (Persea americana) VARIEDAD HASS Y DETERMINACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD
Bachiller: CRISTIAN EDWIN MACHACA RAMOS
Asesor Principal: RENÉ GERMÁN SOSA VILCA
Co-Asesor: .....

V. Se dictamina:
Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:
Presencial [X] Virtual [ ]
Con nota: DOCE (12) por lo que; Sí [X] No [ ]
Opta el Título Profesional de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL.**

Siendo las 11:48 horas, del 14 de DICIEMBRE del año 2022 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente	Primer Miembro	Segundo Miembro
JHONY MAYTA HANCCO	JAIME DAVID LAQUI ESTAÑA	LYCET MARIA CÁCERES BUSTINZA
(Nombres y Apellidos)	(Nombres y Apellidos)	(Nombres y Apellidos)

Miembro Accesitario
(Nombres y Apellidos)

Asesor Principal	Bachiller	Co-Asesor
(Nombres y Apellidos)	CRISTIAN EDWIN MACHACA RAMOS (Nombres y Apellidos)	(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

A Dios

Por ser nuestro creador y por permitirme vivir cada día. Por su infinita bondad y misericordia, que me han guiado y protegido en todo momento.

A mi madre Clara

Por su paciencia y comprensión en cada momento de mi vida. Por ser mi apoyo constante y por alentarme a perseguir mis objetivos. Gracias por enseñarme el valor más grande de la humildad.

A mi padre Pedro

Por su dedicación y sacrificio en el trabajo. Por buscar siempre el bienestar de nuestra familia, sacrificando muchas veces su tiempo con nosotros. Gracias por ser un ejemplo de perseverancia y por enseñarme el valor del trabajo duro.

A Katherine

Por ser mi compañera leal, por su apoyo incondicional y por estar siempre a mi lado. Gracias por ayudarme a superarme personalmente y a superar mis barreras emocionales. Tu amor y compañía son mi mayor fortaleza.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por permitirme un día más de vida ya que sin él no hubiese sido posible este momento.

A la Universidad Nacional de Moquegua, por el apoyo en el financiamiento de esta investigación y por ser mi casa superior de estudios donde pasé gran parte de mi vida realizándome como profesional.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por abrirme las puertas para estudiar esta bonita carrera y descubrir más que números y formulas, descubrir una gran familia.

A los encargados de laboratorio por brindarme las facilidades de uso de los ambientes, equipos y materiales. Ing. Ciro Suca Colana, Ing Esteban Granados Cuayla, Ing. Milagros Gonza, Ing. Joselyn Mabel Flores e Ing. Karina Eduardo Palomino, gracias por su amabilidad y apoyo constante.

A los docentes Dr. Jhony Mayta Hancco, M.Sc. Jaime David Laqui Estaña, M. Sc. Lycet Maria Caceres Bustinza, M.Sc. Mario Roger Cotacallapa Sucapuca, M.Sc. Cesar Augusto Napa Almeyda y M.Sc. Romualdo Vilca Curo, quienes que con su experiencia y conocimientos hicieron posible la mejora en la presentación de este trabajo de investigación.

Al Dr. Rene German Sosa Vilca por ser mi asesor que me brindó las pautas necesarias y precisas en el inicio, proceso y culminación de esta tesis.

RESUMEN

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo la extracción de almidón de la semilla de palta *(Persea americana)* variedad Hass, la evaluación del efecto de la adición de distintos niveles de ácido acético y glicerina en las propiedades mecánicas del bioplástico, así como la evaluación de su biodegradabilidad. El almidón se extrajo por el método húmedo de decantación y se determinó el rendimiento y contenido de amilosa y amilopectina. Se produjeron nueve tipos de bioplásticos mediante el método de moldeo o casting, utilizando distintos niveles de ácido acético (3, 5 y 7 mL) y glicerina (5, 10 y 15 mL). Posteriormente, se evaluaron las propiedades mecánicas de tracción y elongación de los bioplásticos producidos, siguiendo la norma ASTM D882. Finalmente, se determinó el porcentaje de biodegradación del bioplástico que mostró las mejores propiedades mecánicas, utilizando la norma ISO 17556:2003. El rendimiento de almidón extraído fue del 14.62%, con un contenido de amilosa y amilopectina del 38.67% y 61.33%, respectivamente. El ácido acético y la glicerina tuvieron un efecto significativo en las propiedades mecánicas del bioplástico, y la mezcla que contenía 7 mL de ácido acético y 5 mL de glicerina mostró las mejores condiciones, con una resistencia a la tracción de 2.82 ± 0.01 MPa y una elongación máxima de 12.89 ± 1.79%. El bioplástico con mejores propiedades mecánicas mostró una degradación máxima del 33.47% a los 90 días. Estos resultados sugieren que el almidón de semilla de palta variedad Hass puede ser utilizado para producir bioplástico y darle un valor agregado.

Palabras claves: Almidón, biodegradación, bioplástico, propiedades mecánicas, semilla de palta Hass.

ABSTRACT

This research work had as objective the extraction of starch from the seed of the avocado (Persea americana) variety Hass, the evaluation of the effect of the addition of different levels of acetic acid and glycerin on the mechanical properties of the bioplastic, as well as the evaluation of its biodegradability. The starch was extracted by the wet decantation method and the yield and content of amylose and amylopectin were determined. Nine types of bioplastics were produced by the molding or casting method, using different levels of acetic acid (3, 5 and 7 mL) and glycerin (5, 10 and 15 mL). Subsequently, the tensile and elongation mechanical properties of the produced bioplastics were evaluated, following the ASTM D882 standard. Finally, the percentage of biodegradation of the bioplastic that showed the best mechanical properties was determined, using the ISO 17556:2003 standard. The extracted starch yield was 14.62%, with an amylose and amylopectin content of 38.67% and 61.33%, respectively. Acetic acid and glycerin had a significant effect on the mechanical properties of the bioplastic, and the mixture containing 7 mL of acetic acid and 5 mL of glycerin showed the best conditions, with a tensile strength of 2.82 ± 0.01 MPa and a maximum elongation of 12.89 ± 1.79%. The bioplastic with the best mechanical properties showed a maximum degradation of 33.47% at 90 days. These results suggest that Hass variety avocado seed starch can be used to produce bioplastic and give it added value.

***Keywords**:* Starch, biodegradation, bioplastic, mechanical properties, Hass avocado seed.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN....4
ABSTRACT....5
ÍNDICE GENERAL....6
ÍNDICE DE FIGURAS....9
ÍNDICE DE ANEXOS....10
INTRODUCCIÓN....11
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA....12
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA....12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA....13
1.2.1. Interrogante general....13
1.2.2. Interrogantes secundarias....13
1.3. OBJETIVOS....14
1.3.1. Objetivo general....14
1.3.2. Objetivos específicos....14
1.4. JUSTIFICACIÓN....14
1.5. HIPÓTESIS....16
1.5.1. Hipótesis general....16
1.5.2. Hipótesis específicas....16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO....17
2.1. Antecedentes....17
2.2. Bioplástico....24
2.3. Almidón....25
2.3.1. Estructura del almidón....25
2.4. Palta....27
2.4.1. Variedad Hass....28
2.4.2. Semilla de palta variedad Hass....29
2.4.3. Almidón de semilla de palta....29
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA....31
3.1 Procedimientos experimentales....31
3.1.1. Ámbito espacial y temporal....31
3.1.2. Preparación del material....31

3.1.3. Extracción de almidón de la semilla de palta 31
3.1.4. Obtención de bioplástico 34
3.2. Evaluación del almidón 36
3.2.1. Rendimiento de almidón 36
3.2.2. Caracterización del almidón (amilosa/amilopectina) 36
3.3. Evaluación del bioplástico 37
3.3.1. Evaluación de tracción y elongación máxima 37
3.3.2. Evaluación de la biodegradabilidad 38
3.4. Análisis estadístico 41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 42
4.1. Rendimiento de almidón 42
4.2. Contenido de amilosa y amilopectina 42
4.3. Efecto de la adición de ácido acético y glicerina en las propiedades mecánicas de los bioplásticos 43
4.4. Biodegradabilidad del bioplástico 47
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES 50
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES 51
CAPÍTULO VII: REFERENCIAS 52
CAPÍTULO VIII. ANEXOS 64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción agrícola de palta en la región Moquegua en el año 2017-2021 28

Tabla 2. Composición y características del almidón nativo de semilla de palta.....29

Tabla 3. Valores de amilosa y amilopectina de presente en la semilla de palta y otras fuentes. 30

Tabla 4. Factores y niveles seleccionados para el diseño de experimentos 34

Tabla 5. Estructura del diseño experimental por tratamientos.....35

Tabla 6. Valores de amilosa y amilopectina hallados en la semilla de palta 42

Tabla 7. Resumen de resultados de resistencia a la tracción y elongación 46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de bioplásticos según su procedencia. 25

Figura 2 Estructura de la amilosa. 26

Figura 3. Estructura de la amilopectina. 27

Figura 4. Palta variedad Hass. 28

Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de la semilla de palta. 33

Figura 6. Diagrama de flujo para la obtención de bioplástico de almidón de la semilla de palta. 35

Figura 7. Curva de calibración de absorbancia a 600 nm frente a porcentaje de amilosa/amilopectina 37

Figura 8. Diagrama esquemático del sistema respirométrico. 39

Figura 9. Efecto del ácido acético y glicerina en la resistencia a la tracción máxima del bioplástico. 44

Figura 10. Efecto del ácido acético y glicerina en la elongación máxima del bioplástico 45

Figura 11. Curva de CO_2 generado a lo largo del periodo de prueba. 48

Figura 12. Curva de biodegradación de las muestras durante el ensayo. 49

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos de absorbancia para la curva estándar amilosa/amilopectina 64

Anexo 2. Valores promedios para la evaluación de resistencia a la tracción y elongación máxima 65

Anexo 3. Análisis de varianza del efecto del ácido acético y glicerina en la resistencia a la tracción máxima 65

Anexo 4. Análisis de varianza del efecto del ácido acético y glicerina en la elongación máxima 66

Anexo 5. Análisis de varianza del CO_2 acumulado y la biodegradación ..66

Anexo 6. Regresión no lineal del CO_2 acumulado y la biodegradación 67

Anexo 7. Operacionalización de variables 68

Anexo 8. Registro fotográfico del desarrollo de la investigación 69

Anexo 9. Consideraciones de muestra de suelo no expuesto 74

Anexo 10. Porcentaje de carbono teórico para las muestras a ensayar ...75

Anexo 11. Esquema de prototipo para evaluar propiedades mecánicas ..76

INTRODUCCIÓN

Los plásticos se han convertido en uno de los materiales de fabricación comunes que encuentran aplicaciones en diferentes industrias como empaques, bolsa de supermercados, cubiertos, envases descartables, etc. Que se utilizan una vez y se desechan después de su uso, debido a la durabilidad y la baja degradabilidad pueden tardar entre cientos y miles de años en descomponerse (Atiwesh et al., 2021). Es por ello que las mismas propiedades que hacen a los plasticos convenientes son causantes de la problemática actual de la contaminación ambiental (Lima et al., 2022).

La contaminación actual provocada por el uso de plásticos derivados del petróleo ha incrementado el interés por producir películas a partir de polímeros renovables y biodegradables como los polisacáridos (Alves et al., 2022). Por su disponibilidad, precios relativamente bajos y buen rendimiento lo hace viable en la aplicación de bioplásticos y como una oportunidad en la reutilización de residuos industriales alimentarios (Martins et al., 2022).

En esta investigación se desarrolló un bioplástico obtenido a partir del almidón de la semilla de palta. Bedoya & Julca (2021), indican que en la región de Moquegua el palto es el principal cultivo frutícola, pero aún carece de un desarrollo tecnológico o valor adicional.

Por ello se ha propuesto la aplicación en la elaboración de bioplásticos con la adición de glicerina y ácido acético, con el fin de lograr un plástico flexible, resistente y capaz de biodegradarse en condiciones aerobias.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La producción anual de plásticos está aumentando desde sus inicios, en 1964 fue de 15 millones de toneladas métricas, que se convirtieron en 360 millones de toneladas métricas en el 2018. Para este mismo año la acumulación de plástico virgen alcanzó la cifra de 8660 millones de toneladas métricas en todo el mundo. Este inmenso incremento ha traído consigo la generación de 6300 millones de toneladas métricas de basura masiva de los cuales solo el 9% se ha reciclado, el 12% se ha incinerado y el 79% se encuentra en vertederos y el medio ambiente (Rahman & Bhoi, 2021). Además, se prevé que para el 2025 se acumularán en el medio ambiente más de 11 billones de toneladas métricas de plástico (Dang et al., 2022).

El crecimiento del uso de los plásticos ha superado casi a todos los demás materiales manufacturados, la industria del empaque crea la mayor demanda individual de plásticos y la mayor acumulación de residuos. Mas del 50% de todos los envases industriales están enfocados al área alimentaria, y el 40% de los envases alimentarios están hechos a base de plástico. Esto ligado al aumento creciente de la industria de comida para llevar, crea una enorme demanda y por ende una contaminación ambiental de los envases no reciclables (Semple et al., 2022).

Las cifras en el Perú muestran que al año se consumen en promedio 30 Kg por ciudadano. Al año se acumulan alrededor de 3 mil millones de bolsas plástica y 6 mil bolsas cada minuto. En Lima y Callao se acumulan 886 toneladas de residuos plásticos al día, lo que representa el 46% de residuos a nivel nacional (MINAM, 2022).

Hoy en día la investigación se ha centrado en la búsqueda y desarrollo de bioplásticos como una dirección potencial hacia productos, sostenibles y de un menor impacto ambiental (Dang et al., 2022). La nueva tendencia de la industria del empaque busca la sustitución de plásticos derivados del

petróleo por biopolímeros naturales debido a su naturaleza degradable. Entre ellos se han investigado polisacáridos extraídos de fuentes renovables abundantes, como el almidón, quitosano, alginato y la celulosa (Alves et al., 2022).

El departamento de Moquegua se caracteriza por la producción de palta, siendo el principal cultivo frutícola con un rendimiento promedio anual de 7168.46 Kg/ha (Gerencia Regional de Agricultura, 2021). Sin embargo, existe una carencia de proyectos y tecnologías orientadas al palto (Bedoya & Julca, 2020). Fruto al cual no se le brinda un valor agregado y a las semillas por consiguiente son desechadas luego de su consumo directo (Barrios, 2020). La semilla de palta abre una oportunidad en el desarrollo de biopolímeros como nuevas fuentes de almidón, y la necesidad de generar investigación sobre este recurso (Espinoza & Oscco, 2022).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Interrogante general

- ¿Cuál es el porcentaje de biodegradación del bioplástico obtenido del almidón de semilla de palta con mejores propiedades mecánicas?

1.2.2. Interrogantes secundarias

- ¿Cómo afecta la adición de ácido acético y glicerina en las propiedades mecánicas de tracción y elongación de los bioplásticos obtenidos a partir del almidón de semilla de palta?

- ¿Cuál es el porcentaje de biodegradación aeróbica del bioplástico con mejores propiedades mecánicas?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Determinar la biodegradabilidad del bioplástico obtenido del almidón de semilla de palta con mejores propiedades mecánicas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la adición de distintos niveles de ácido acético y glicerina en las propiedades mecánicas de tracción y elongación de los bioplásticos obtenidos a partir del almidón de la semilla de palta.

- Determinar el porcentaje de biodegradación aerobia del bioplástico con mejores propiedades mecánicas de resistencia a la tracción y elongación.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Se planteó como materia prima la semilla de palta variedad Hass para la elaboración de bioplásticos, ya que la región Moquegua es característica por su producción y de acuerdo con la Gerencia Regional de Agricultura (2021), menciona que la producción de palto fue de 8315.42 toneladas métricas. Según Bedoya & Julca (2020), la variedad de palto que se cultiva mayoritariamente es la Hass (48%) cuyo fruto está destinado a la exportación (53%), y a la venta en el mercado local (30%), siendo este último destinado para consumo directo, dejando la semilla como residuo sin valor, pero con un gran potencial para el desarrollo tecnológico.

Según Behera et al. (2022), en la actualidad existe una gran demanda en el desarrollo de bioplásticos para la industria alimentaria. Estos, se obtienen de recursos naturales y son renovables como el maíz, arroz, papa, yuca, etc. Porque son de bajo costo, abundantes, fácilmente disponibles y forman matrices resistentes.

Las semillas de palta son una fuente alternativa para la extracción de almidón ya que se considera un desecho industrial. Desarrollar un bioplástico a partir del almidón presente en la semilla de palta sería un punto de partida para la investigación en otras materias primas que no se le ha dado valor agregado (Martins et al., 2022).

Para la elaboración de un bioplástico a partir de almidón se planteó el uso de glicerina y ácido acético ya que según Lubis et al. (2020), es necesario el uso de plastificantes con el propósito de mejorar la elasticidad, el alargamiento a la rotura, mejorar la fluidez y flexibilidad de la película, además según Meza (2016), el ácido acético aporta características de resistencia al bioplástico.

Por ello, es que se ha propuesto en esta investigación extraer y caracterizar el almidón de la semilla de palta para la obtención de bioplásticos, evaluar sus propiedades mecánicas y determinar su biodegradabilidad con el fin de ser reincorporados al medio ambiente sustentablemente. Este estudio apoyará las aplicaciones potenciales del almidón de semilla de palta agregando valor a un residuo de la agroindustria, además de difundir nuevas fuentes de materias primas renovables para la producción de bioplásticos.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

- El bioplástico con mejores propiedades mecánicas obtenido a partir del almidón de la semilla de palta tiene un alto porcentaje biodegradabilidad.

1.5.2. Hipótesis específicas

- La adición de distintos niveles de ácido acético y glicerina mejoran las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción y elongación del bioplástico.
- El bioplástico con mejores propiedades mecánicas presenta un alto porcentaje de biodegradación en un medio aerobio.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Builders et al. (2010), extrajeron almidón de semillas de paltas producidas en Nigeria, mediante el método de decantación. Se evaluaron y compararon las propiedades fisicoquimicas y térmicas con los del almidón de maíz. El rendimiento promedio de almidón extraido fue de 20.5 %, un contenido de amilosa de 32.5% y amilopectina de 67.5%. En comparación con el almidón de maíz, el almidón de semilla de palta tiene un mayor contenido de amilosa, lo cual aporta mayor temperatura de gelatinización, poder de hinchamiento y menor capacidad de absorción de humedad.

Torres et al. (2011), obtuvo películas de almidón de cultivos andinos. Se utilizaron agua y glicerol como plastificantes. Las películas de almidón muestran un comportamiento elástico. Este comportamiento está asociado con la presencia de glicerol en las películas. Las películas de almidón de plátano y oca obtuvieron los valores más altos de resistencia a la tracción de 5.91 MPa y 5.01 MPa respectivamente, mientras que de la mandioca y camote resultaron los valores más altos de elongación a la rotura de 43% y 33% respectivamente. Se realizaron pruebas de compost para evaluar la biodegradabilidad de las películas en 31 días de ensayo. El porcentaje más alto de pérdida de peso se observó en las películas a base de almidón de yuca (99.35%), mientras que el porcentaje más bajo de pérdida de peso se observó en las películas a base de almidón de papa (90.03%). Por el contrario, las películas de control de celulosa solo perdieron alrededor del 30% de peso en el mismo período de tiempo.

Saraiva (2012), elaboró un bioplástico a partir de una mezcla de almidón y componentes sintéticos (BMF), posteriormente se realizó un ensayo de biodegradación aerobia por 74 días de acuerdo con la norma ISO 17556. Los matraces fueron mantenidos en condiciones controladas a 20 ± 1 ° C. Al final del periodo la celulosa se degradó 37% y el BMF alcanzó el 0.7%. La cantidad de dióxido de carbono producido durante la prueba muestra

que la celulosa (control positivo) fue el más alto productor, seguido por el BMF, el suelo y polietileno (control negativo). Estos resultados confirman la existencia de microorganismos en el suelo con capacidad para biodegradar el BMF, pero muestra que la biodegradación de este proceso es muy baja. Una de las razones de este lento proceso es el muy bajo contenido de materia orgánica del suelo (1%).

Barragán (2013), utilizó la norma ISO 17556 para el ensayo de cuatro films plásticos biodegradables comerciales: Mater-Bi (MB) (almidón de maíz), Bio-Flex (BFx) (ácido poliláctico), Biofilm (BF) (harina de cereales) y papel MimGreen (MP), y dos films experimentales: Bioplast (BP) (almidón de patatas) y MirelTM (MI) (polihidroxialcanoatos), se realizaron las mediciones durante 365 días y se trabajó a 25°C. La cantidad de CO_2 producida por los materiales comerciales, MB (14171 mg), MP (12600 mg) y BF (10966 mg). Entre los materiales experimentales el MI y BP tuvieron la más alta y más baja producción de CO_2 respectivamente (16240 y 9059 mg). El material experimental MI tuvo el porcentaje de biodegradación más, (96.9%). El MB (84.2%) y MP (81.6%), el BFx (76.9%). Los residuos de cultivo (65.1%) y BF (65.2%). El BP experimental tuvo la tasa de biodegradabilidad más baja (53.9%). La tasa de mineralización del suelo utilizado en este experimento, en relación con el material de referencia estándar de celulosa, fue del 13.5%.

dos Reis et al. (2014), estudiaron el efecto de la concentración de almidón de ñame (5 a 10%), plastificante (10 a 50%) y temperatura de proceso (27 a 42°C). La resistencia a la rotura de las películas, compuestas por almidón de ñame y glicerol disminuyó con el aumento del contenido de glicerol en las soluciones, obteniendo valores entre 0.21 y 1.78 MPa. Las propiedades de elongación obtuvieron valores más altos cuando se emplearon mayores concentraciones de plastificante (glicerol). Bajas concentraciones del plastificante aumentaron la resistencia a la tensión en las películas.

Charro (2015), elaboró un bioplástico de almidón de papa, el cual fue mezclado con varios plastificantes: glicerina, alcohol polivinílico y bórax a

diferentes concentraciones. A partir de las mejores películas analizadas se concluyeron que la glicerina es el plastificante adecuado y la variable más influyente en los cambios de las propiedades físicas, al cual se le añadió melamina. La película con mejores características mecánicas de resistencia a la ruptura y elongación contiene en su composición 2.4% de glicerina y 8.5% de melamina y 2.4% de glicerina y 10.2% de melamina respectivamente. La resistencia a la rotura fue de 35.64 Kg/cm^2 y una elongación máxima de 77.31%. La biodegradabilidad expresada en pérdida de peso en condiciones anaerobias alcanzó (66.36%) y aerobia (67.19%) a los 20 días de evaluación.

Ginting et al. (2015), extrajeron y caracterizaron almidón de semilla de palta producida en la India, para elaborar bioplásticos con adición quitosano en una relación de almidón:quitosano de (7:3, 8:2 y 9:1) y de glicerol (0.2 mL/g almidón:quitosano) como plastificante. El rendimiento de almidón fue de 24.20%, amilosa (32.47%) y amilopectina (35.32%). La temperatura de la solución bioplástica se evaluó a 80, 85 y 90 °C. La mejor condición de los bioplásticos obtenidos fue a una temperatura de 90°C con relación de almidón:quitosano de 7:3. La resistencia a la tracción alcanzada fue de 5.096 MPa, alargamiento a la rotura (14.016%) y Módulo de Young (36.359 MPa).

García (2015), elaboró un bioplástico a partir del almidón de maíz y evaluó la resistencia a la tracción y biodegradabilidad. Obteniendo un espesor de 0.51 a 0.88 mm y una resistencia a la tracción de 0.25 a 0.31 MPa. Respecto al porcentaje de biodegradabilidad, a los 15 días de ensayo se obtuvieron 0.029% para la muestra en blanco, 0.0329% para el plástico y 0.0408% para el bioplástico.

Meza (2016), elaboró bioplásticos a partir de residuos de papa variedad Yungay y evaluó las propiedades mecánicas y su biodegradabilidad tomando como referencia la Norma ISO 17556. La extracción de almidón se hizo por el método de decantación. Se obtuvo un rendimiento de 35.06%, contenido de amilosa (26.21%) y amilopectina (73.79%). Para la

elaboración del bioplástico se adicionó agua (60 mL), glicerol (5, 10 y 15 mL) y ácido acético (3, 5 y 7 mL). Las pruebas mecánicas indicaron un esfuerzo máximo de 1.47 MPa y una elongación máxima de 19.99%. Se utilizó compost como medio de degradación, el bioplástico alcanzó 64.21% de degradación, seguido por la celulosa con 63.51%, el polietileno de baja densidad (PEBD) 6.95% y finalmente el blanco con 0.83%.

Sanyang et al. (2015), elaboraron un bioplástico a partir del almidón de palma de azúcar, con la adición de plastificantes como glicerol (G), sorbitol (S) y su combinación (GS), a concentraciones de (15, 30 y 45%), con el fin de superar la naturaleza frágil y quebradiza de películas sin plastificante. Los resultados alcanzados fueron el aumento del espesor de la película de 0.365 a 0.570 mm, 0.493 a 0.622 mm y 0.40 a 0.596 mm en respuesta al aumento en la concentración de G, S y GS de 15 al 45%, respectivamente. Los resultados mostraron que el tipo y la concentración del plastificante mejoran significativamente las propiedades de la película.

Ginting et al. (2018), extrajeron almidón de la semilla de palta producida en la India evaluando el efecto del tiempo de precipitación de la suspensión acuosa. El almidón se obtuvo por el método húmedo de decantación. Cada 100 gramos de suspensión de semilla de palta se precipitaron por gravedad, con variaciones de 4, 8, 12, 16, 20 y 24 horas. El rendimiento de almidón más alto fue 24.20 gramos a las 24 horas. El contenido de almidón fue de 73.62% del cual la amilosa representa el 0.07% y la amilopectina el 73.55%.

Lubis et al. (2018), desarrollaron bioplásticos a partir del almidón de semilla de palta producida en la India y se mezcló con celulosa microcristalina (MCC) de fibra de palma de azúcar en una relación de 6:4, 7:3, 8:2 y 9:1 (p/p). El glicerol funcionó como plastificante con una variación de 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 (mL/g de almidón). El bioplástico se obtuvo por el método de moldeo. Además, se determinaron propiedades mecánicas como resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura. La mejor condición de bioplástico es de la relación 7:3 con 0.2 (v/p) de glicerol agregado, logrando

2.74 MPa para resistencia a la tracción y 3.16% para alargamiento a la rotura.

Mantilla & Zavala (2018), extrajeron y caracterizaron los almidones de las semillas de palta variedad Hass, Fuerte y Criolla. El almidón se extrajo por el método húmedo de decantación. El contenido de amilosa y amilopectina por el método colorimétrico de Morrison y Laignelet. Los rendimientos de extracción fueron para Hass (31.76%), Criolla (24.78%) y Fuerte (26.15%). La concentración de amilosa fue 34.93%, 39.75% y 44.89% y amilopectina 65.07%, 60.25% y 55.11% para Hass, Criolla y Fuerte respectivamente.

Tesfaye et al. (2018), extrajeron almidón de semilla de palta de una variedad producidad en Etiopia, para plantear el uso en aplicaciones industriales. El almidón se extrajo mediante el método de extracción húmedo y se evaluó para su aplicación en la industria textil. El rendimiento de almidón fue del 64%. El análisis del almidón extraído mostró 90% de pureza de contenido de almidón. El uso del almidón en aplicaciones textiles mostraron que se desempeñó tan bien como una muestra de almidón comercial. La recolección y procesamiento de semillas de aguacate de desecho puede ser una nueva fuente de empleo y brindar oportunidades de generación de ingresos.

Brito (2019), extrajo almidón del bagazo de palta y yuca, cultivada en Brasil. Con tres métodos de extracción, acuoso, alcalino y ácido. Ademas diferentes formulaciones de películas, entre ellas mezclas de almidon y fibra, solo fibra y solo almidón. Como resultados se indica que no mostraron diferencia significativa en relación a los métodos de extracción logrando 33.6, 32.8 y 32.1% de amilosa para los almidones extraídos en medios acuosos, alcalinos y ácidos respectivamente. En relación a la formación de películas, la que mostró mejor comportamiento fue la que contenía almidón extraído en medio ácido reportando una resistencia mecánica de 3.12 ± 0.35 N/mm^2. Concluyó que el almidón de semilla de palta es aplicable para la producción de películas biodegradables.

Macena et al. (2020), extrajeron almidón de semilla de palta variedad Hass producida en Brasil, posteriormente se realizó la caracterizaron fisicoquimica. El rendimiento de extracción fue del 10,67% y la humedad final del 15,36 %. El contenido amilosa (30.41%) fue superior al de otros almidones de cereales y tubérculos. Las propiedades del almidón indican un amplio potencial de aplicaciones en industrias alimentarias como salsas, cremas y sopas deshidratadas. Además, el uso de esta semilla para la obtención de almidón contribuye a la reducción de los residuos de la industria del aceite de aguacate, evitando daños al medio ambiente.

Medeiros et al. (2020), desarrollaron películas comestibles a base de harina de cáscara de plátano, almidón de maíz y extracto de hoja de níspero. Evaluando sus propiedades físicas, mecánicas y biodegradabilidad. La película de control fue a base de almidón de maíz, y tres películas de harina de cascara de plátano: 1) película estándar de cáscara de plátano (SBPF), 2) con la adición de 2% (p/p, relativo a la suspensión filmogénica) de extracto de hoja de níspero (BPF2), y 3) con la adición de 4% (p/p) (BPF4). Los espesores (mm) alcanzados para los films fueron de 0.037, 0.061, 0.061 y 0.069, respectivamente. Respecto a la resistencia a la tracción (MPa) 9.0, 0.74, 0.64 y 0.50, y elongación máxima (%) 4.4, 31, 38 y 47. El análisis de biodegradabilidad consistió en simular condiciones de degradación natural, por acción de la microflora presente en el suelo alcanzando un rango de 98 y 100 % para todos los films, para un periodo de 10 días.

Barraza & Siche (2021), extrajeron almidón de semilla de palta variedad Hass, mediante el método humedo de decantación. Reportando un rendimiento de almidón de 10.3% y un contenido de amilosa de 14.01%. Lo resultados recomiendan el uso del almidón de semilla de palta como materia prima no convencional para usos alimentarios y no alimentarios, además de contribuir a disminuir el uso de almidones de fuentes alimenticias (papa, yuca, maíz, etc.).

Jiménez et al. (2021), extrajeron almidón de semilla de aguacate variedad Hass para producir bioplástico. El almidón se extrajo por vía húmeda y se caracterizó por espectroscopia infrarroja. Se produjeron dos tipos de biopelículas: T1 (almidón) y T2 (almidón y glicerol). Se caracterizaron las películas mediante ensayos mecánicos. Se obtuvo un rendimiento de almidón de 11.38%. Las biopelículas (T2) hecho con 2 g de almidón, 70 mL de agua y 0.5 mL de glicerol eran los más adecuados ya que los que no tenían glicerol eran rígidos y quebradizos. La adición de glicerol permitió obtener una biopelícula con características flexibles. La adición de glicerol influyó significativamente en la resistencia a la tracción siendo T1 (19.37 MPa) mayor que T2 (10.78%). En porcentaje de elongación, T1 (3.07%) fue menor que T2 (13.09).

Sánchez et al. (2021), desarrolló bioplásticos a partir del almidon y celulosa presente en la cáscara y semilla de palta, caracterizando el rendimiento de almidón y cantidad la amilosa y amilopectina. Se prepararon 5 mezclas con 3 g de almidón, 5 mL de NaOH al 30 % (p/v), 3 g de celulosa y diferentes proporciones de glicerina: 2 g, 2,5 g, 3 g, 3,5 g, 4 g y acetato de polivinilo (PVA): 2 g, 3 g, 4 g, 5 g y 6 g. Las películas se formaron sobre placas acrilicas por el método de moldeo o casting. Al bioplastico obtenido se evaluó biodegradabilid, tensión, elongación y módulo de elasticidad. Los resultados obtenidos mostraron un rendimiento de almidón de (55.68%), amilosa (22.34%) y amilopectina (77.66%), la pelicula de mejor aspecto a la que contenía 2 g de glicerina y 6 g de PVA, biodegradabilidad (21.03%), tensión (1.53 MPa), elongación (21.25%) y 10.04 MPa para el módulo de elasticidad.

Espinoza & Oscco (2022), extrajeron al almidon de semilla de palta variedad fuerte producida en Huancayo, Perú. Elaboraron un bioplástico con la adición de glicerina (3-6%) y melamina (3-9%), evaluaron sus propiedades mecánicas y biodegradabilidad. Teniendo como resultados un rendimiento de almidón de 33.56%, amilosa (35.80%), amilopectina (38.63%), resistencia mecánica (0.85-6.94 Mpa), biodegradabilidad máxima de 85.38% para una mezcla de 2.38% de glicerina y 6% de

melamina y la más baja biodegradabilidad de 45.63% del bioplástico al usar una mezcla de 3% de glicerina y 3% de melamina.

Martins et al. (2022), extrajeron y caracterizaron almidón de semilla de palta producida en Brasil. Alcanzando un rendimiento de 19.54%. El almidón extraído tiene un contenido de amilosa de 39.56% y amilopectina de 60.44%. Los resultados sugieren que el almidón extraído de las semillas de palta brindan oportunidades para una mayor aplicación de este material para preparar películas comestibles y/o biodegradables.

2.2. Bioplástico

Las formulaciones de un bioplástico deben incluir al menos un componente capaz de formar una matriz cohesiva y continua. Los materiales básicos utilizados para el desarrollo de las mismas son: proteínas (de gluten, de suero, de leche, etc.), lípidos (ceras naturales, ácidos grasos, etc.) y polisacáridos (celulosa y derivados, almidón y otros hidrocoloides) (Embuscado y Huber, 2009).

Otro de los componentes que se incluye en las formulaciones son los plastificantes, los cuales ayudan a mantener la integridad de las películas, ya que reducen su fragilidad, aumentando la flexibilidad y la resistencia a la ruptura (Sothornvit & Krochta, 2005)**.**

Los requerimientos básicos para un plastificante en un sistema polimérico son su compatibilidad con el polímero formador de la matriz y su permanencia dentro de la estructura resultante. Al adicionarse a la formulación, los plastificantes se asocian fisicoquímicamente con el polímero, reduciendo la cohesión de la estructura, interfieren en la asociación de las cadenas poliméricas, facilitan su deslizamiento, por lo que aumentan la flexibilidad de las películas. Ejemplos de plastificantes de grado alimentario son los polialcoholes (glicerol, sorbitol, manitol, propilenglicol y polietilenglicol), siendo el agua el plastificante más común (Lazaridou y Biliaderis, 2002).

2.2.1. Clasificación de bioplásticos

Los bioplásticos se clasifican según la razón de su procedencia (Figura 1) bien sea a partir de fuentes fósiles (derivados del petróleo) o de materias primas naturales, denominándose biopolímeros (REMAR, 2011).

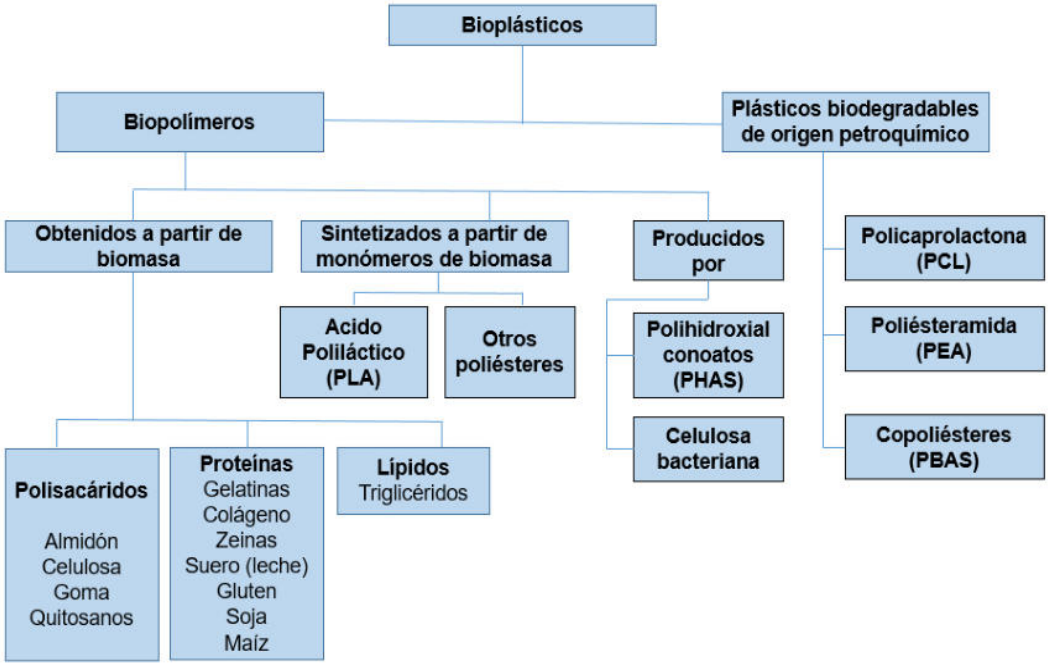


Figura 1. Clasificación de bioplásticos según su procedencia (REMAR, 2011).

2.3. Almidón

Es un polisacárido de reserva energética de los vegetales localizado principalmente en raíces, tubérculos, frutas y semillas. Es considerado un polímero natural, renovable y de bajo costo. Tiene gran utilidad en la industria alimentaria como agente espesante, encapsulante, gelificante y texturizante. Las aplicaciones están relacionadas con el tamaño, forma y organización estructural de sus gránulos (de Dios-Avila et al., 2022).

2.3.1. Estructura del almidón

Los granos de almidón están formados por macromoléculas organizadas en capas. Dos estructuras poliméricas diferentes componen los almidones:

la amilosa y la amilopectina (Ginting et al., 2018). Cerca del 20% de la mayoría de los almidones es amilosa y el 80% amilopectina (Ruiz, 2006).

2.3.1.1. Amilosa

Es un biopolímero que está formado por monómeros de glucosa bajo el enlace α-1,4 glucosídico, de cadena lineal. Los almidones ricos en amilosa mantienen su forma cuando se moldea, gelifican mientras los almidones sin amilosa espesan, pero no gelifican. La amilosa puede formar una cuarta parte del granulo de almidón (Charro, 2015).

También se caracteriza por sus propiedades hidrofílicas que le confieren una buena afinidad con el agua. Esta propiedad se debe a la presencia de grupos hidroxilos en las moléculas de glucosa que pueden establecer enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua (Meré, 2009). La Figura 2 muestra la estructura de la amilosa.

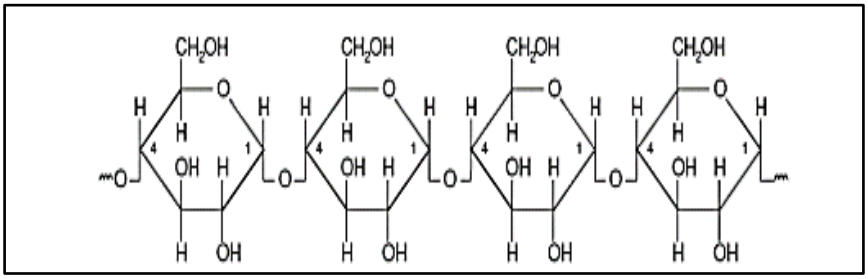


Figura 2 Estructura de la amilosa (Meré, 2009).

2.3.1.2. Amilopectina

La amilopectina se compone por enlaces glucosídicos α-1,6 y α-1,4. Estos enlaces glucosídicos α-1,6 se producen con otras moléculas de glucosa, lo cual provoca que tenga una estructura más ramificada que la amilosa, como se muestra en la Figura 3. La molécula tiene un peso medio molecular promedio de 107 a 108 g/mol (Meré, 2009).

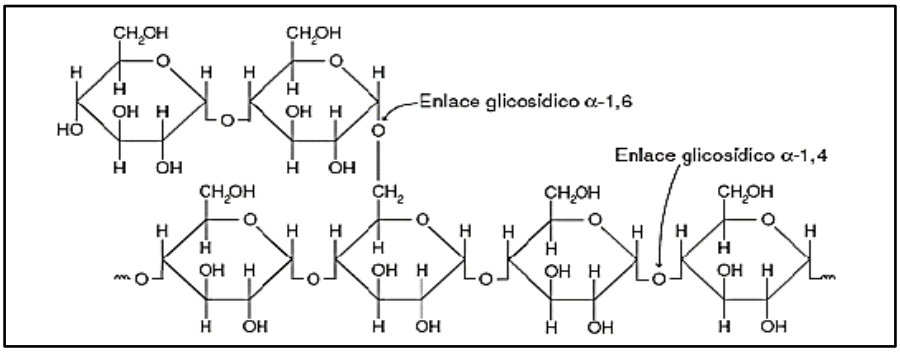


Figura 3. Estructura de la amilopectina (Meré, 2009).

2.4. Palta

La palta, conocida también como aguacate en otros países americanos, se remonta a la época precolombina, en la que se encontraba disperso en las zonas tropicales y subtropicales que iban desde Perú hasta México, esta especie frutal pertenece a la familia *Lauraceae*, nativo de México y Centroamérica (Flores, 2016). Se produce palta en las regiones tropicales y subtropicales alrededor del mundo, con una producción que llega a los 3 millones de toneladas por año, en un área mayor a las 400000 hectáreas de cultivo. Dentro de los países con mayor producción resalta México, además como el mayor exportador mundial el Perú ocupa el séptimo lugar en producción según datos estadísticos de la FAO (MINAG, 2018).

Las zonas de producción se centran en nueve departamentos, las cuales tiene una participación de la siguiente manera: Costa Norte: 21.74 %, La Libertad y Cajamarca, Costa Central: 47.68 %, Ancash, Lima, Ica y Junín. Costar Sur: 19.83 %, Arequipa, Moquegua y Cusco. Otros: 10.75%. Los departamentos que siembran más palta son: Junín con el 29%, seguido por Lima con el 22%, La Libertad con el 10%, Ica con el 8%, Ancash con el 4% y Moquegua (Tabla 1) y Cajamarca con el 4% respectivamente (MINAG, 2018).

Tabla 1. Producción agrícola de palta en la región Moquegua en el año 2017-2021

Región Moquegua	2017-2021			
	Sup. Cos.	**Rendto.**	**Produc**	**Precio**
	Has	**Kg/Ha**	**T**	**S/. / Kg**
2021	1160	7168.46	8315.42	5.61
2020	1122	6906	7748.26	4.59
2019	1100	6936	7629.4	5.10
2018	1042	6505	6777.8	4.31
2017	863	7408	6392.7	3.26

Nota: Sup.=Superficie; Cos.=Cosechada; Rndto.=Rendimiento; Produc.=Producción; Has: Hectáreas, T=Toneladas.

Fuente: (Gerencia Regional de Agricultura, 2021)

Existen diferentes variedades de palta, pero solo tienen importancia los originarios de Guatemala, México y las Antillas**,** a partir de los cuales se ha desarrollado diferentes híbridos como: Fuerte, Hass, Nabal, Ettinger, Edranol, Bacon y Negra de la Cruz (Ministerio de Agricultura, 2018).

2.4.1. Variedad Hass

Es originaria de California, sus frutos son de forma oval piriforme de 200 a 300 g, piel gruesa, rugosa, se pela con facilidad y presenta color verde a oscuro violáceo cuando el fruto madura (Figura 4). La pulpa no tiene fibra y su contenido de aceite fluctúa entre 18 y 22% (Cornelia & Christianti, 2018).

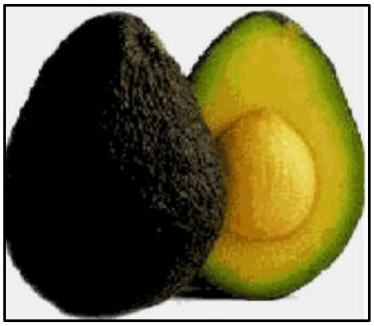


Figura 4. Palta variedad Hass (MINAG, 2008).

2.4.2. Semilla de palta variedad Hass

La semilla es considerada un residuo agroindustrial resultado del consumo de la pulpa, lo cual genera grandes cantidades de este subproducto (de Dios-Avila et al., 2022). Es de tamaño pequeño, forma esférica y adherida a la pulpa. (MINAG, 2008), representa del 15-16% del peso en relación con el fruto (García et al., 1999).

2.4.3. Almidón de semilla de palta

La semilla de aguacate contiene una cantidad importante de almidón (de Dios-Avila et al., 2022) (Tabla 2). Presentan buenas propiedades espesantes, alta pureza, capacidad para formar pastas viscosas y bajo costo (Chel-Guerrero et al., 2016) las cuales son similares al maíz (Builders et al., 2010).

Tabla 2. Composición y características del almidón nativo de semilla de palta

Parámetro	Resultado
Almidón (%)	67.69
Agua	11.33 ± 0.06
Rendimiento (%)	8.05 ± 0.27
Ceniza (%)	0.07 ± 0.00
Claridad de la pasta (% T_{650})	1.17 ± 0.00
Temperatura de gelatinización (°C)	83.25
Viscosidad máxima (cP)	3330
Viscosidad (cP)	2021
Viscosidad térmica (cP)	2900
Fuerza del gel (g)	67.7 ± 0.44
Poder de hinchamiento (g / g)	6.32 ± 0.44
Solubilidad (%)	12.57 ± 0.06
Grado de blanco (%)	86.81 ± 0.90

Fuente: (Cornelia & Christianti, 2018; de Dios-Avila et al., 2022).

El almidón de semilla de palta se caracteriza por su alto contenido de amilosa y amilopectina (Tabla 3), sus gránulos son de forma triangular y circulares con tamaños que varían de 6 a 32 µm, los cuales producen geles con apariencia opaca y con cierto nivel de sinéresis (de Dios-Avila et al., 2022).

Tabla 3. Valores de amilosa y amilopectina de presente en la semilla de palta y otras fuentes.

	Amilosa (%)	**Amilopectina (%)**	**Referencia**
Semilla de palta (Brasil)	39.56	60.44	(Martins et al., 2022)
Semilla de palta (variedad Hass, México)	32.47	35.32	(de Dios-Avila et al., 2022)
Semilla de palta (Brasil)	32.80	67.20	(Brito, 2019)
Semilla de palta (Nigeria)	32.50	67.50	(Builders et al., 2010)
Semilla de palta (Perú)	34.93	65.07	(Mantilla & Zavala, 2018)
Semilla de palta (Ecuador)	22.34	77.66	(Sánchez et al., 2021)
Semilla de palta (variedad Daisy, Brasil)	21.5	-	(Dos santos et al. 2017)
Semilla de palta (Indonesia)	42.37	49.11	(Cornelia & Christianti, 2018)
Maíz (Brasil)	21.30	78.70	(Sandhu et al., 2007)
Papa (variedad Yungay, Perú)	26.21	73.79	(Meza, 2016)
Trigo	25.60	74.40	(Alcázar-Alay & Almeida, 2015)
Cebada	22.10	77.90	(Alcázar-Alay & Almeida, 2015)

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Procedimientos experimentales

3.1.1. Ámbito espacial y temporal

Las semillas de palta variedad Hass fueron obtenidas del mercado central en el distrito de Moquegua, en el año 2019. La extracción y caracterización de almidón, análisis de propiedades mecánicas y biodegradación del bioplástico se realizaron en los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial - UNAM.

3.1.2. Preparación del material

Las semillas de palta variedad Hass (10 Kg) adquiridas fueron separadas según su estado maduración, los frutos inmaduros fueron envueltos en bolsas de papel. Posteriormente los frutos fueron despulpados y sus semillas se reservaron para retirar el tegumento. Finalmente fueron lavados con una solución de hipoclorito de sodio (1:50 v/v) y almacenados en refrigeración a 3°C.

3.1.3. Extracción de almidón de la semilla de palta

Siguiendo la metodología propuesta y adaptada de Lubis et al. (2018), Builders et al. (2010) y Melian (2010) para el método húmedo de extracción por decantación natural (Figura 5). A continuación, se describe a detalle el procedimiento realizado.

- **Lavado:** Se lavó la semilla de palta con la finalidad de eliminar restos de materia de la pulpa. Además, para reducir la carga microbiana se incorporó en una solución de Hipoclorito de sodio de 1:50 (v/v de agua) durante 10 minutos.
- **Pelado:** La materia prima fue pelada con un cuchillo, con el fin facilitar la obtención de almidón.
- **Picado:** La semilla de palta se pica en pequeños cubos con el fin de facilitar la primera molienda.
- **Molienda 1:** La semilla picada se mezcló con agua destilada en una proporción de 1:1 (p/v) y se agregó metabisulfito de potasio 0.075 % (p/v)

para evitar la reacción de pardeamiento. Se utilizó una licuadora de alimentos (Thomas, Modelo TH 880, Alemania) con el cual se redujo el tamaño de partícula, hasta formar una mezcla acuosa homogénea.

- **Filtrado:** Se realizó mediante el uso de un tamiz N° 60 de abertura de 0.25 mm (serie ASTM; 250 µm), para obtener el almidón en suspensión acuosa, denominada “lechada de almidón”.
- **Decantación:** La suspensión se dejó en reposo durante 1 hora para permitir la separación del líquido y el almidón sedimentado.
- **Lavado:** Consistió en retirar el sobrenadante del primer decantado y lavar la materia precipitada con agua destilada repitiendo esta operación 3 veces, esta operación es necesaria para lograr un material más blanco reduciendo impurezas como partículas de fibra entre otros. Posteriormente se dejó decantar por gravedad durante 24 horas.
- **Secado:** Se retiró el sobrenadante del decantado, el material húmedo sedimentado se secó a 50 °C por 24 horas en una estufa de convección natural (Memmert, UN110, Alemania).
- **Molienda 2:** La muestra de almidón después del secado pasa a una etapa de molienda con el uso de un mortero cerámico para permitir la siguiente la operación.
- **Tamizado:** La materia molida fue tamizada con una malla de acero inoxidable N° 200 (serie ASTM; 75 µm) y envasada en bolsas tipo Ziploc para ser almacenados en campanas de desecación.

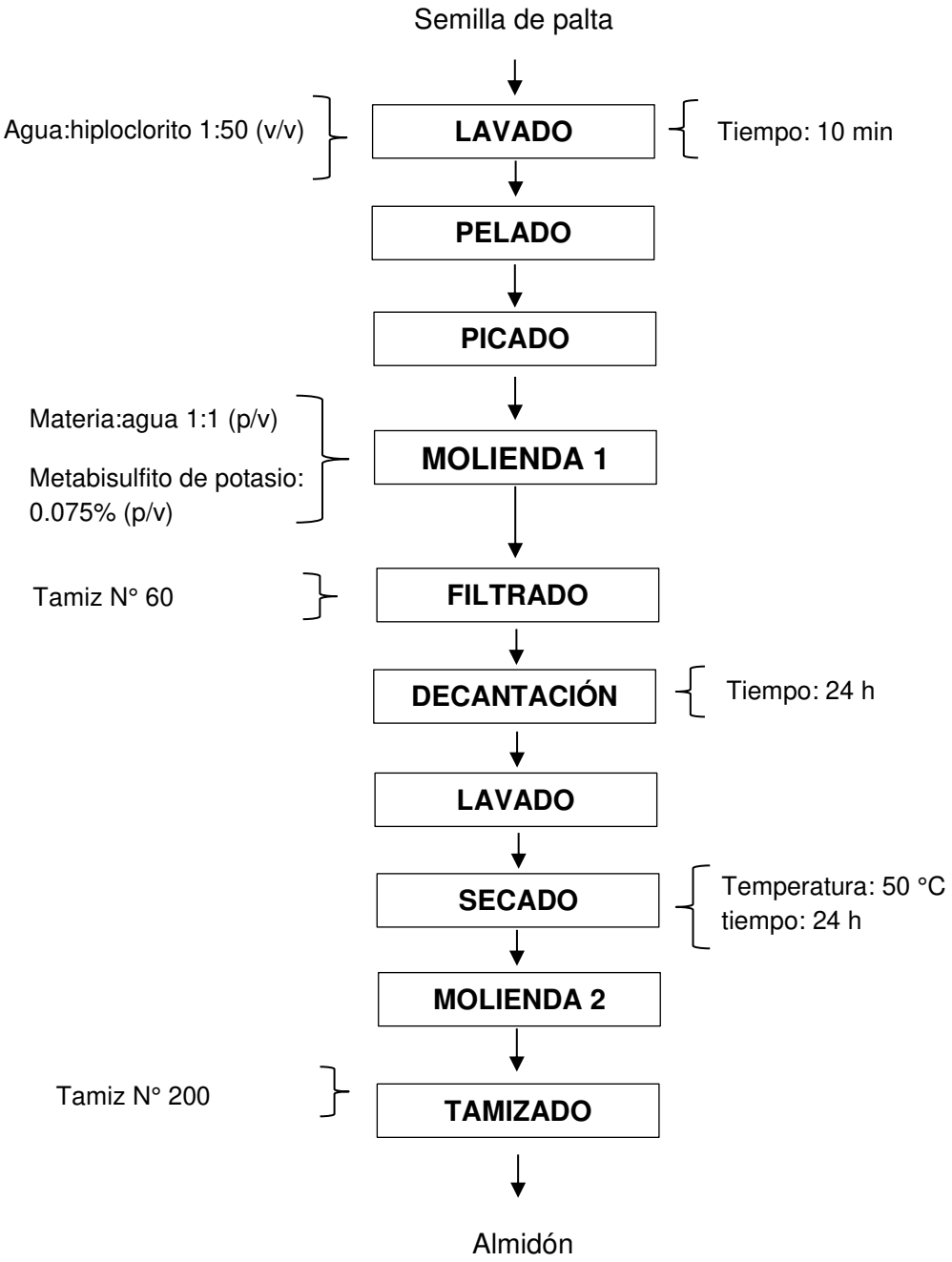


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de la semilla de palta.

3.1.4. Obtención de bioplástico

Para la obtención de bioplásticos a partir de almidón por moldeo o casting se siguió la metodología propuesta por Meza (2016). Se creó el diseño experimental (Tabla 4) para la identificación de factores y niveles. A continuación, se describe el procedimiento realizado, según el diagrama de flujo (Figura 6):

- **Mezcla:** Se prepararon mezclas con 10 g almidón y 60 mL de agua destilada, ácido acético (3, 5 y 7 mL) y glicerina (5, 10 y 15 mL), para obtener una suspensión acuosa para cada ensayo (Tabla 5).
- **Homogenización**: La mezcla se colocó en un vaso precipitado y se llevó a un agitador térmico (Velp Scientifica Modelo F20500011 AREC, USA) a 91.6°C y 500 RPM durante 6 minutos, luego se incrementó a 800 RPM por 2 minutos y finalmente a 1400 RPM hasta que la muestra presentó una consistencia gomosa.
- **Moldeado:** El moldeado de las láminas de bioplástico, se realizó con el vertido en placas rectangulares de vidrio de 20x20 cm para cada tratamiento.
- **Secado:** El secado se realizó en estufa (Memmert, UN110, Alemania) a una temperatura de 40°C durante 24 horas.
- **Almacenado:** Luego de retirar la película del molde se almacenó a 25 °C, en un desecador de vidrio.

Tabla 4. Factores y niveles seleccionados para el diseño de experimentos

Variables	**Niveles**		
	1	**2**	**3**
Ácido acético (mL)	3	5	7
Glicerina (mL)	5	10	15

La estructura del diseño experimental para los tratamientos se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Estructura del diseño experimental por tratamientos

Trat.	Ac. Acético (mL)	Glicerina (mL)	R.	P.
T1	3	5	3	
T2	3	10	3	Resistencia a la tracción máxima (MPa)
T3	3	15	3	
T4	5	5	3	Elongación máxima (%)
T5	5	10	3	
T6	5	15	3	Evaluación de biodegradación* (%)
T7	7	5	3	
T8	7	10	3	
T9	7	15	3	

Nota: Trat. = Tratamiento; Ac.= Ácido; R. = Repeticiones; P. = Procedimientos

*Al tratamiento con mejores resultados de resistencia a la tracción y elongación máxima.

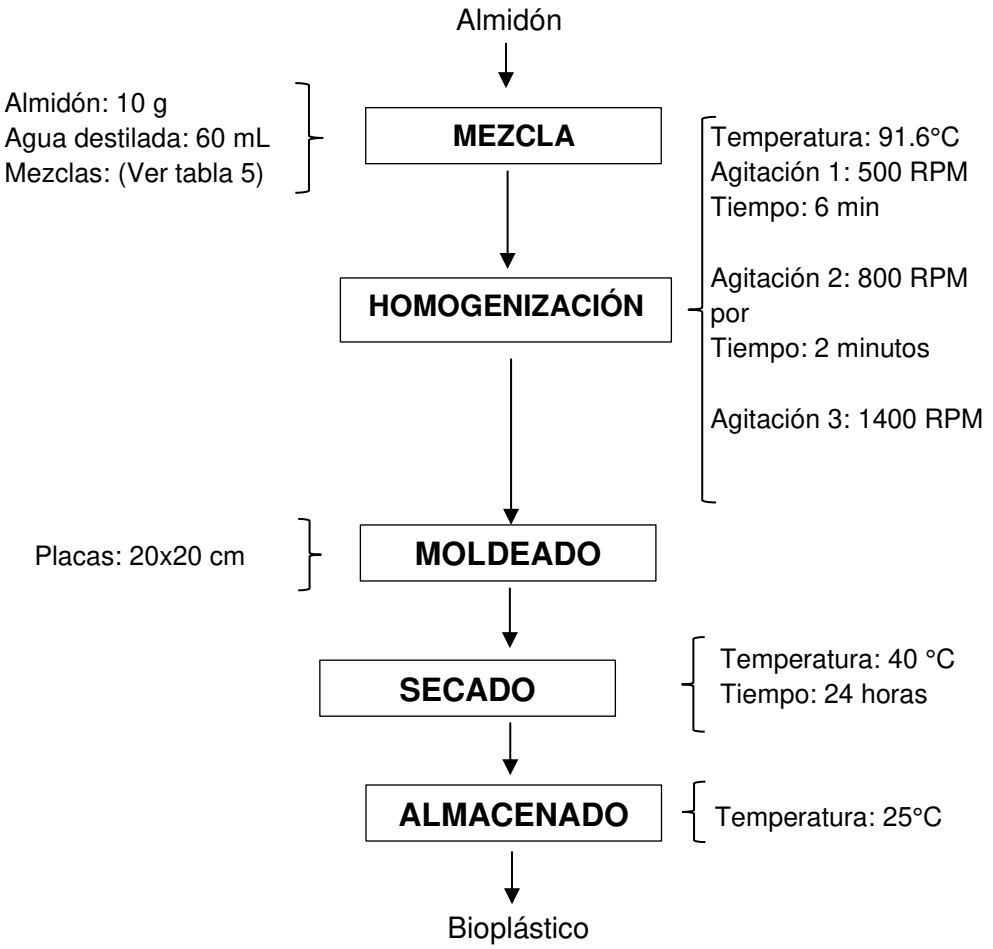


Figura 6. Diagrama de flujo para la obtención de bioplástico de almidón de la semilla de palta.

3.2. Evaluación del almidón

3.2.1. Rendimiento de almidón

Para la determinación del rendimiento de almidón se utilizó la metodología descrita por Santos et al. (2017) y se calculó de acuerdo con la (Ecuación 1), tomando como referencia a la masa seca después de la extracción de almidón. Para determinar un valor promedio representativo se procedió a realizar veinte repeticiones sobre una base de 500 g de semilla.

$$\text{Almidón (\%)} = \frac{\text{Masa seca después de la extracción del almidón (g)}}{\text{Masa de semillas(g)}} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

3.2.2. Caracterización del almidón (amilosa/amilopectina)

Para la caracterización del almidón de la semilla de palta se realizó la determinación de la proporción de amilosa y amilopectina, se utilizó el método colorimétrico descrito McGrance et al. (1998) mediante espectrofotometría ultravioleta (UV). Se pesó 0.1 g de almidón en un tubo de ensayo de 10 mL y se añadió 2 mL de dimetilsulfóxido, se disolvió durante 15 minutos a 85 ºC. Posteriormente se diluyó con agua destilada a 25 mL en un matraz aforado. De esta disolución se tomó 1 mL y fue diluida con 50 mL de agua destilada y 5 mL de disolución de Yodo (I_2) 0.0025 M - Yoduro de potasio (KI) 0.0065 M. Se mezcló y se midió la absorbancia a 600 nm en espectrofotómetro (PerkinElmer, Modelo Lambda 650, USA). La cantidad de amilosa se determinó a partir de la recta patrón realizada con mezclas estándar de amilosa y amilopectina (Sigma-Aldrich, A0512/A8515, USA), para crear una curva (Figura 7) que represente el contenido en amilosa/amilopectina de 0/100 ,10/90, 20/80, 40/60, 50/50, 60/40, 80/20, 90/10 y 100/0 %.

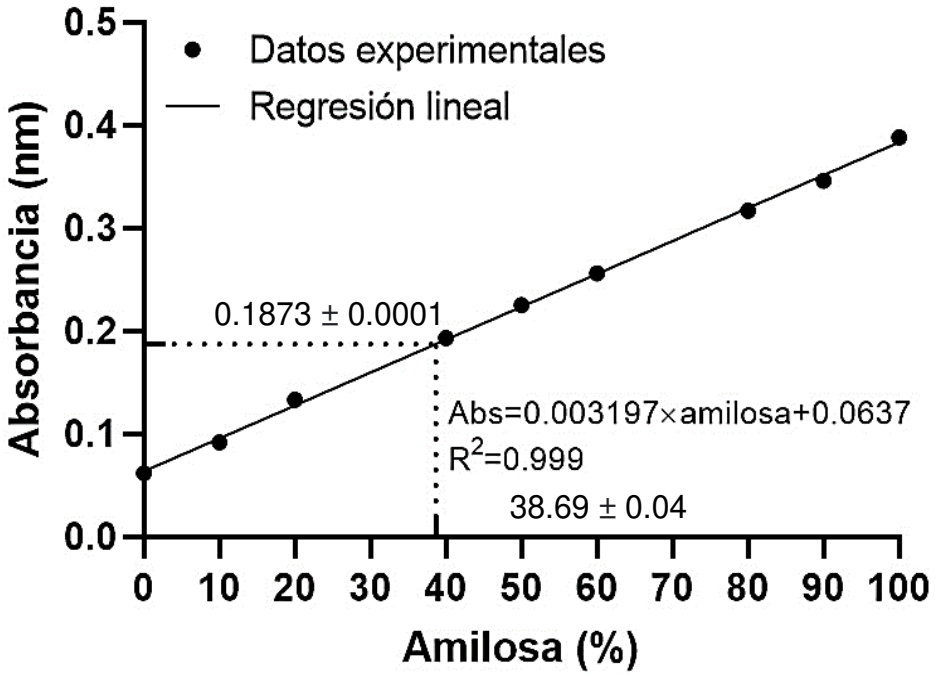


Figura 7. Curva de calibración de absorbancia a 600 nm frente a porcentaje de amilosa/amilopectina.

Nota: Porcentaje de amilosa va en el rango (0 a100%) y amilopectina (100 a 0%), como valores aparentes del almidón analizados.

3.3. Evaluación del bioplástico

3.3.1. Evaluación de tracción y elongación máxima

Una vez que se obtienen todos los bioplásticos de los distintos ensayos, se realizaron pruebas según la norma ASTM D882-18 para evaluar las propiedades físicas y mecánicas, con el propósito de determinar el bioplástico más resistente (Anexo 2).

a) Espesor

El espesor de los bioplásticos se midió mediante un micrómetro analógico (WAOGA, QY-2201, China). Se seleccionaron 10 puntos aleatoriamente y se calculó el espesor del bioplástico como el valor promedio.

b) Tracción y elongación máxima

La resistencia a la tracción máxima (RTM) y elongación máxima (EM) se determinaron con un prototipo de equipo acondicionado en laboratorio, tomando como referencia la norma (ASTM D882-18, 2018). Se cortaron tiras rectangulares de (5 x 50 mm) por triplicado de cada tipo de bioplástico. La separación inicial de las mordazas fue de 30 mm posteriormente se sometió a tracción hasta su punto de rotura. RTM y EM se calcularon mediante las siguientes ecuaciones respectivamente:

$$\text{RTM (MPa)} = \frac{F_{max}}{A} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde F_{max} es la fuerza máxima en la ruptura del bioplástico (N) y A es el área de la sección transversal (m^2) calculado a partir del espesor promedio y el ancho de la tira bioplástica.

$$\text{EM (\%)} = \frac{E}{L}\ X\ 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde E es el alargamiento del bioplástico al momento de la ruptura (mm) y L es la medida inicial entre las mordazas (50 mm).

3.3.2. Evaluación de la biodegradabilidad

El ensayo para determinar el porcentaje de biodegradación del bioplástico con mejores características mecánicas de tracción y elongación se desarrolló en base a la norma (ISO 17556, 2003).

a) Suelo

Se utilizó una muestra de suelo recolectada de la capa superficial del área verde aledaña a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, para el ensayo como medio de degradación natural, acorde a la ISO 17556-2003. Se tamizó para obtener partículas inferiores a 2 mm de diámetro, retirando materia vegetal, piedras y otros materiales inertes. Finalmente se almacenó a 4 °C ± 2 en un recipiente sellado.

b) Materiales a ensayar

Se utilizaron 4000 mg de muestra: uno de bioplástico, un control positivo (filtro de celulosa), un control negativo (polietileno de baja densidad, PEBD) y un blanco (suelo). Dichos materiales fueron cortados en piezas rectangulares de (5 x 5 mm)

c) Sistema respirométrico

Se instalaron recipientes de vidrio de 1 L en serie como se muestra en la Figura 8 y fueron conectados con tubos impermeables, se aireó el sistema de prueba con una bomba de aire (Venusaqua, AP-408A, China) con un flujo de 4 L/min de aire libre de CO_2 a una presión baja constante.

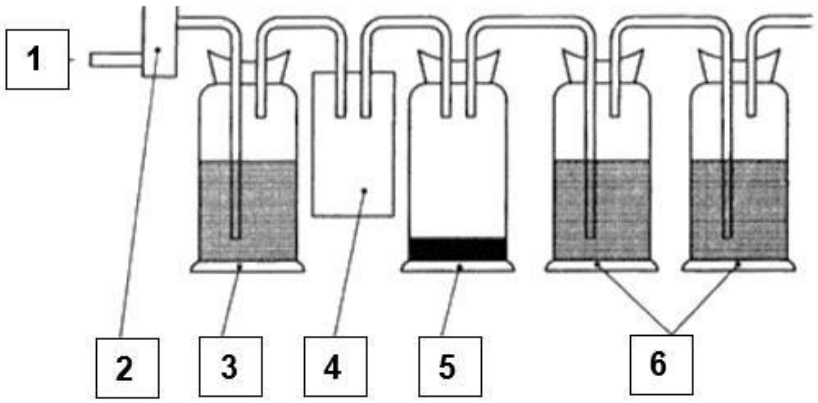


Figura 8. Diagrama esquemático del sistema respirométrico.

Nota: (1) entrada de aire, (2) controlador de flujo de aire, (3) Absorbente de CO_2, (4) humidificador, (5) matraz de prueba y (6) botellas de absorción de CO_2.

Se preparó una solución $Ba(OH)_2$ 0.0125 mol/L como absorbente de CO_2 y una solución de 0.05 mol/L HCl para la titulación.

Al inicio de la prueba, se dispensó 250 mL de solución de $Ba(OH)_2$ en cada una de los recipientes absorbentes. Se retiró periódicamente la botella más cercana al recipiente de prueba cuando presentó turbidez y antes de que la precipitación de $BaCO_3$ sea visible en la segunda botella para la titulación.

Después de retirar el recipiente absorbedor, se selló inmediatamente con su tapa para evitar que el CO_2 ingrese. Se movió el recipiente restante a

una posición más cercana al recipiente de prueba y se colocó al final de la serie un nuevo recipiente con solución fresca de $Ba(OH)_2$. Se realizó el mismo procedimiento para todos los recipientes que contenían la muestra, control positivo, control negativo y blanco.

Inmediatamente después de retirar la botella, se valoró tres porciones de alícuotas de 20 mL de la solución de $Ba(OH)_2$ con la solución de HCl. Se anotó los volúmenes de la solución HCl necesaria para la neutralización.

d) Determinación del porcentaje de biodegradación a partir del CO_2 evolucionado por el método titrimétrico

La biodegradabilidad fue calculada midiendo la cantidad de CO_2 producido por el material de prueba según ISO 17556 (2003).

El CO_2 producido reacciona con el hidróxido de bario [$Ba(OH)_2$] y se precipita como carbonato de bario ($BaCO_3$) [Ecuación 4].

$$CO_2 + Ba(OH)_2 \longrightarrow BaCO_3\downarrow + H_2O$$

(Ec.4)

La cantidad de CO_2 evolucionada se determinó titulando el resto de $Ba(OH)_2$ con ácido clorhídrico (HCl), usando fenolftaleína como indicador [ecuación 5].

$$Ba(OH)_2 + 2HCl \longrightarrow BaCl_2 + 2H_2O$$

(Ec.5)

Se calculó la cantidad de CO_2 atrapado en el recipiente del absorbedor usando la [Ecuación 6]:

$$CO_2\ (mg) = \left(\frac{2 * C_B * V_B}{C_A} - V_A * \frac{V_B}{V_z}\right) * C_A * 22 \qquad \text{(Ec. 6)}$$

Donde:

C_A concentración de HCl = 0.05 M

C_B concentración de $Ba(OH)_2$ = 0.0125 M

V_B volumen de la solución de $Ba(OH)_2$ = 500 mL

V_z volumen de la alícuota de $Ba(OH)_2$ = 20 mL

V_A volumen de HCl utilizado para la titulación (mL)

22 mitad de la masa molecular CO_2

La cantidad teórica de CO_2 que puede producir el material de prueba, fue calculado a partir de la ecuación [ecuación 7].

$$ThCO_2\ (mg) = m * w_c * \frac{44}{12} \qquad \text{(Ec. 7)}$$

Donde:

m es la masa de material de prueba (mg)

w_c es la fracción de contenido de carbono del material de prueba (m/m)

44 y 12 es masa molecular de CO_2 y atómica de C.

La biodegradación del material de prueba se calculó según la Ecuación (8):

$$\text{Biodegradación}\ (\%) = \frac{M_T - M_B}{ThCO_2} * 100 \qquad \text{(Ec. 8)}$$

Donde

M_T cantidad total acumulada de CO_2 en el recipiente de prueba (mg)

M_B cantidad total acumulada de CO_2 en el recipiente blanco (mg)

3.4. Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de los distintos volúmenes de adición de ácido acético y glicerina en las propiedades mecánicas del bioplástico se utilizó un diseño factorial 3^k con dos factores y tres niveles (Tabla 4). Con los resultados obtenidos se realizó el análisis de varianza (ANOVA), determinando diferencia significativa entre los tratamientos a través de la prueba de comparación Tukey con un nivel de significancia de p-valor < 0.05. Para la evaluación de la biodegradabilidad del bioplástico, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de los datos de (%) biodegradación del material de prueba, control positivo, control negativo, blanco y los días de muestreo. De los resultados obtenidos de CO_2 acumulado y la biodegradación se realizó una regresión no lineal, donde Y: CO_2 (mg) y Biodegradación (%) respecto a X: tiempo (día). Las observaciones fueron analizadas con el software estadístico INFOSTAT versión 2020.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento de almidón

Se obtuvo 14.62% de almidón de semilla de palta, valor similar al reportado por Dos santos et al. (2017), con 14.2% en la variedad Daysi, pero mayor que los encontrados por Jimenez et al. (2021) y Barraza & Siche (2021) en la variedad Hass con 11.38% y 10.3%, respectivamente. Por otro lado, se encontraron valores mayores en otros estudios, como 19.54% (Martins et al., 2022), 23.15 % (Maryam et al., 2016), 24.20% (Ginting et al., 2015), 64% (Tesfaye et al., 2018), 73.62% (Ginting et al., 2018) y 91.48% (Cornelia & Christianti, 2018), los cuales extrajeron almidón de semillas cultivadas en Brasil, Indonesia y Etiopia . Estas diferencias se deben a la variedad y lugar de cultivo (Silva et al., 2017), así como a la pureza obtenida del almidón mediante la metodología de extracción, ya que un aumento en el tiempo de de decantación en el proceso puede mejorar el rendimiento de extracción de almidón (Sánchez et al., 2021) al favorecer la ruptura de las paredes celulares y una liberación más eficiente de almidón (Zhang et al., 2019).

4.2. Contenido de amilosa y amilopectina

El contenido de amilosa y amilopectina del almidón de la semilla de palta se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Valores de amilosa y amilopectina hallados en la semilla de palta

	Amilosa (%)	**Amilopectina (%)**
Semilla de palta (variedad Hass, Perú)	38.69	61.31

Se puede observar que existe una variación en el contenido amilosa y amilopectina en los diferentes reportes (Tabla 3) debido a factores como la fuente de almidón, clima, edad, lugar, condiciones que ha sido sometido el cultivo durante su crecimiento (Vargas & Hernández, 2013; Guevara et al., 2021). Tambien influyen la época de recolección, los genes, el índice de madurez y el método analítico de extracción y caracterización (Martins et al., 2022; Macena et al., 2020).

El almidón obtenido en esta investigación tiene un contenido de amilosa superior a los reportados por otros autores en variedades de palta y otras especies. Respecto a la amilopectina, el contenido encontrado fue menor que el de la gran mayoria de otros autores, como se muestra en la Tabla 3. Este resultado es relevante, porque según Martins et al. (2022), a mayor contenido de amilosa, mejores serán las condiciones para la formación de películas, ya que sus estructuras tienen mejor capacidad de reorganización durante el secado y potencial para el desarrollo de recubrimientos.

La relación de amilosa y amilopectina determina las propiedades fisicoquímicas del almidón. Bajos niveles de amilosa causan alta viscosidad y bajas temperaturas de gelatinización, mientras que altos niveles de amilosa causan baja viscosidad y altas temperaturas de gelatinización (Rodriguez & Tam, 2012; Ginting et al., 2018). El contenido de amilosa es un factor importante para la formación de peliculas de almidón (Mali et al., 2004). Por otro lado, altos niveles de amilopectina aumentan el nivel de hinchamiento y mejoran la elasticidad de los materiales plásticos formados (Guevara et al., 2021; Sánchez et al., 2021).

4.3. Efecto de la adición de ácido acético y glicerina en las propiedades mecánicas de los bioplásticos

Respecto a la resistencia a la tracción (Figura 9) más alta fue 2.82 MPa al agregar 7 mL de ácido acético y 5 mL de glicerina (bioplástico 7), mientras que la resistencia a la tracción más baja fue de 0.47 MPa al agregar 5 mL de ácido acético y 15 mL de glicerina (bioplástico 6).

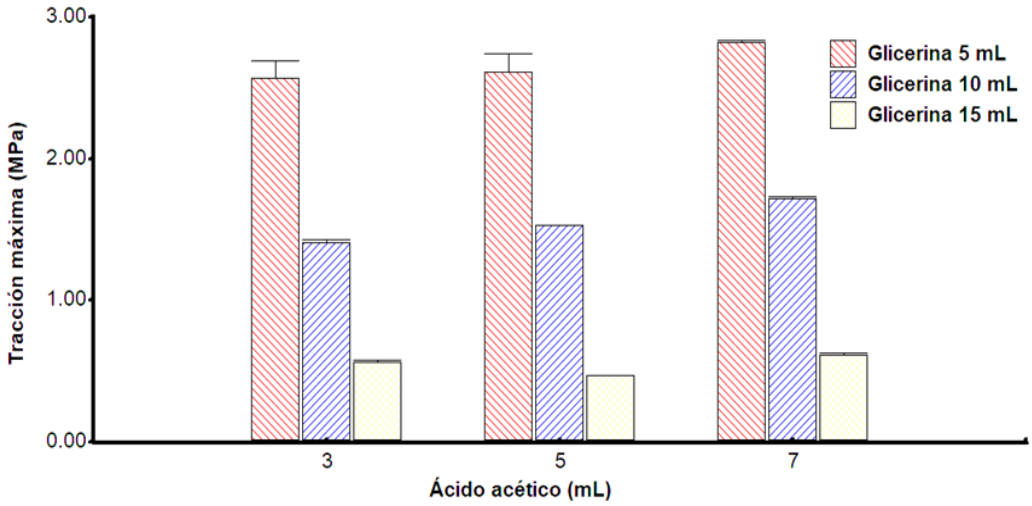


Figura 9. Efecto del ácido acético y glicerina en la resistencia a la tracción máxima del bioplástico.

El incremento en la cantidad de ácido acético a 7 mL tiene un efecto sobre la resistencia a la tracción del bioplástico. Según Fathurohman et al. (2020) y Shogren (2003), esto se debe a que una mayor concentración de ácido acético facilita la hidrólisis del almidón, lo que aumenta su solubilidad y provoca una expansión del almidón que interrumpe los enlaces de hidrógeno. De esta forma, los grupos hidroxilo del almidón pueden reaccionar libremente y crear cadenas lineales con una mejor biopolimerización. El ácido acético incrementa la resistencia a la tracción, pero también disminuye la elongación, según lo señalado por Kumar y Gautam (2019). Además, la resistencia a la tracción disminuye cuando la concentración de glicerina es mayor, como señalan Mali et al. (2004), dos Reis et al. (2014) y Ginting et al. (2015).

Respecto a la elongación máxima (Figura 10) más alta fue 17.62% al agregar 3 mL de ácido acético y 15 mL de glicerina (bioplástico 3), mientras que la elongación más baja fue de 11.45% al agregar 3 mL de ácido acético y 5 mL de glicerina (bioplástico 1).

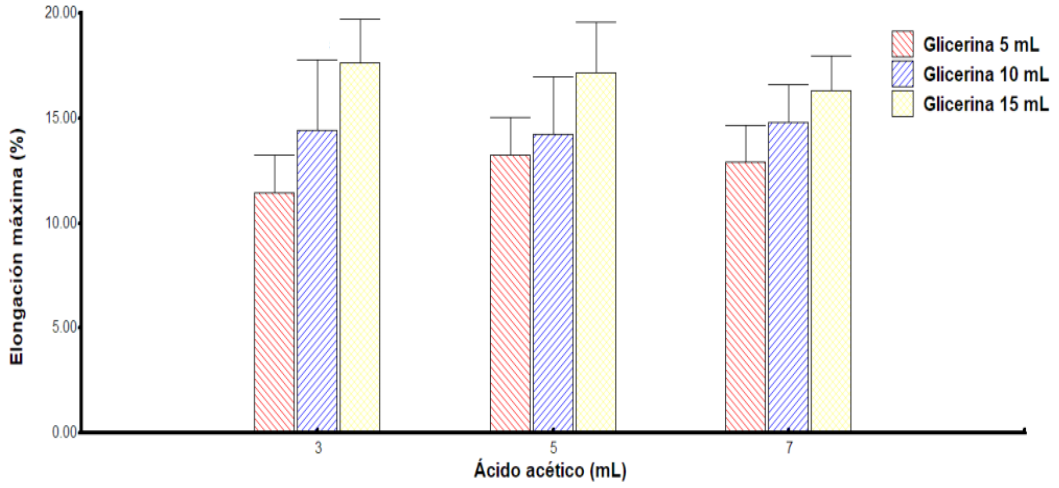


Figura 10. Efecto del ácido acético y glicerina en la elongación máxima del bioplástico.

En la Figura 10 se puede apreciar que el aumento de la cantidad de glicerina como factor individual tiene un efecto en la elongación máxima del bioplástico. Esto se debe a que una mayor concentración de glicerina reduce las fuerzas intermoleculares de los puentes de hidrógeno en las cadenas poliméricas, lo que aumenta su flexibilidad y disminuye su fragilidad (Meneses et al., 2007; Sapei et al., 2017). Otros estudios como los de Reis et al. (2014) y Sanyang et al. (2016) han encontrado que la adición de plastificantes en las películas mejora la flexibilidad y el alargamiento a la rotura, independientemente del tipo de plastificante utilizado. Este efecto puede atribuirse al efecto lubricante y al bajo peso molecular del plastificante, que permite su penetración en los enlaces del polímero, aumentando la movilidad molecular. Sin embargo, a concentraciones más altas puede producirse una separación de fases.

Tabla 7. Resumen de resultados de resistencia a la tracción y elongación

Biop.	Ácido acético (mL)	Glicerina (mL)	Espesor (mm)	Tracción máxima (MPa)	Elongación máxima (%)
1	3	5	0.125 ± 0.005^{d}	2.57 ± 0.12^{b}	11.45 ± 1.82^{a}
2	3	10	0.154 ± 0.004^{c}	1.40 ± 0.03^{e}	14.43 ± 3.35^{a}
3	3	15	0.256 ± 0.01^{a}	0.56 ± 0.02^{fg}	17.62 ± 2.09^{a}
4	5	5	0.181 ± 0.007^{b}	2.61 ± 0.13^{b}	13.23 ± 1.79^{a}
5	5	10	0.252 ± 0.009^{a}	1.53 ± 0.002^{d}	14.22 ± 2.75^{a}
6	5	15	0.255 ± 0.005^{a}	0.47 ± 0.001^{g}	17.15 ± 2.44^{a}
7	7	5	0.09 ± 0.003^{e}	2.82 ± 0.01^{a}	12.89 ± 1.79^{a}
8	7	10	0.193 ± 0.005^{b}	1.72 ± 0.02^{c}	14.81 ± 1.77^{a}
9	7	15	0.245 ± 0.003^{a}	0.61 ± 0.01^{f}	16.30 ± 1.65^{a}

Nota: Los datos representan promedios ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

La selección de la condición óptima para formación de bioplásticos depende varios factores, como el uso previsto, las técnicas de aplicación y otras consideraciones (Mali et al., 2004). Ya que no se ha definido un objetivo específico para su utilización, se seleccionó el bioplástico 7 debido a su mayor resistencia a la tracción máxima.

Los resultados obtenidos en este estudio se compararon con los reportados por otros investigadores. Por ejemplo, Lubis et al. (2018) obtuvieron una tracción máxima 2.74 MPa y elongación máxima 3.16% para un bioplástico de almidón de semilla de palta con adición de glicerina. Ginting et al. (2015) reportaron una tracción máxima 5.096 MPa y una elongación máxima de 14.016% para un bioplastico de almidon de semilla de palta, quitosano y con adición de glicerina. Por otro lado, Meza (2016) obtuvo una tracción máxima de 1.47 MPa y una elongación máxima de 19.9% para un

bioplástico de almidón de papa variedad Yungay con adición de glicerina y ácido acético. Las diferencias en los resultados pueden ser atribuidas a las características de las fuentes de almidón utilizadas para elaborar los bioplásticos y la mezcla de insumos utilizados como: plastificantes (glicerina, sorbitol, etc.) y otros a aditivos químicos (ácido acético, ácido clorhídrico, hidróxido de sodio, etc.), que influyen en las propiedades elastoméricas y en la polimerización del bioplástico. Estos factores son importantes para determinar las condiciones óptimas de formación del bioplástico para un uso específico (Guevara et al., 2021; Torres et al., 2011; Ginting et al., 2015; Ginting et al., 2017).

4.4. Biodegradabilidad del bioplástico

En la figura 11 se observa que la muestra control de celulosa emite una cantidad superior de CO_2 que la muestra de bioplástico. Este resultado es consistente con la investigación de Saraiva (2012), el cual al final de los 74 días de ensayo muestra una tasa de degradación superior que el bioplástico. Meza (2016) también reportó un comportamiento similar en el ensayo de biodegradación, donde el material de referencia (celulosa) tuvo una tasa alta en comparación con el bioplástico. Además, se puede observar que tanto la muestra de PEBD como el suelo tienen una tasa de producción de CO_2 baja similar, lo que confirma la presencia de microorganismos en el suelo con capacidad para biodegradar (Saraiva, 2012). Por lo tanto, las películas se degradan principalmente en condiciones aerobias, debido al contacto con el aire y los microorganismos aerobios que facilitan una mayor liberación de CO_2 (Charro, 2015).

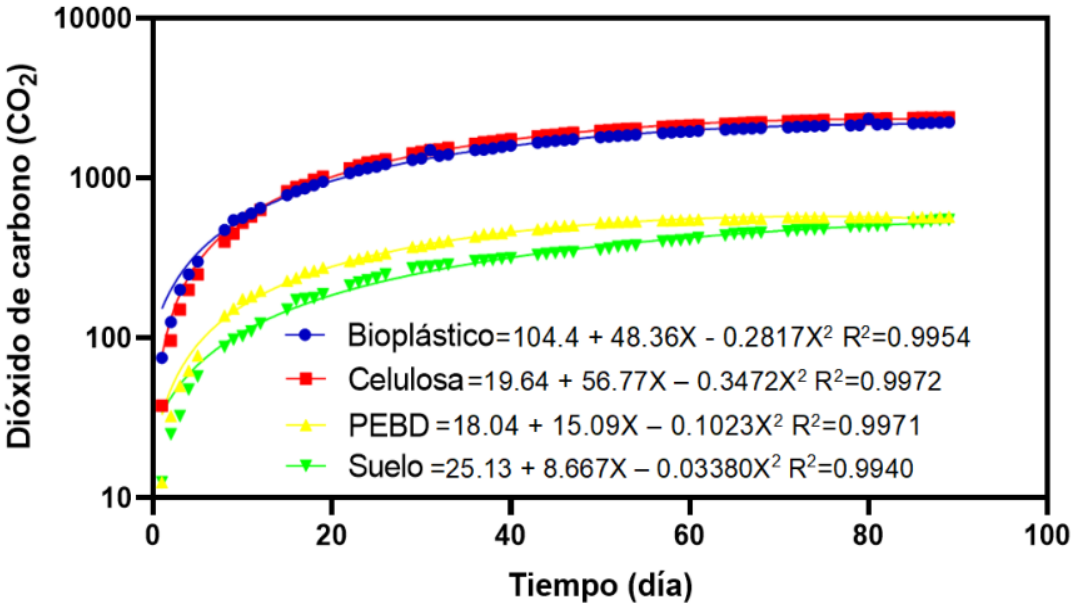


Figura 11. Curva de CO_2 generado a lo largo del periodo de prueba.

En la Figura 12 se muestra la tendencia de la biodegradación en función del tiempo, evidenciando una diferencia significativa entre los materiales evaluados. El bioplástico alcanzó 33.47%, seguido de la celulosa con un 28.08%, el PEBD con un 2.92% y finalmente el suelo con un 0.50%.

El porcentaje de biodegradación del bioplástico difiere significativamente respecto a la celulosa, esto puede explicarse por la cantidad de dióxido de carbono que se ha liberado en relación con el carbono teórico de la muestra, que es la cantidad de CO_2 que podría producirse durante todo el proceso (Barragán, 2012). Sin embargo, aún no se ha alcanzado una meseta o descenso en el tiempo de ensayo, lo que sugiere que el proceso de biodegradación podría continuar. En un estudio similar, García (2015) informó que después de 15 días de ensayo de biodegradación, el bioplástico produjo 0.00346 g de CO_2, mientras que el polietileno de baja densidad (PEBD) de referencia produjo 0.01448 g y el suelo 0.01261 g. Sin embargo, el porcentaje de biodegradación del bioplástico fue mayor (0.0408%) que el del PEBD (0.0329%) y el suelo (0.029%). Meza (2016), reportó una degradación del bioplástico del 64.21% y de la muestra de celulosa del 63.51%. Aunque la diferencia entre los dos valores es mínima, la degradación de las muestras en su ensayo fue mayor que la del

bioplástico de semilla de palta de esta investigación. Esto podría deberse a que Meza (2016) obtuvo un porcentaje de biodegradación del 0.7% para el material de bioplástico después de 74 días de ensayo utilizó una muestra de suelo sin acondicionar. Estas variaciones en los resultados se deben a los diferentes factores que pueden acelerar el proceso de biodegradación, como la composición del suelo, actividad bacteriana, estructura polimérica, la morfología, el peso molecular, la temperatura, el ambiente y la humedad (Afif et al., 2018; Briassoulis et al., 2014; Barragán, 2012). En esta investigación, no se utilizó un suelo acondicionado, lo que resultó en una menor degradación de las muestras ensayadas. No obstante, se observa que la muestra de bioplástico (Figura 12) alcanzó un mayor porcentaje de biodegradación respecto a los materiales de referencia. Esto se debe al almidón presente en la mezcla bioplástica, que es fácilmente degradable, cuando los microorganismos presentes en el suelo aprovechan al bioplástico como fuente de carbono y energía, liberan enzimas que rompen las cadenas poliméricas en partes más pequeñas como oligómeros, dímeros y monómeros. Además, la estructura del almidón también influye en su velocidad de degradación, ya que los polímeros amorfos se degradan más rápido (Fathurohman et al., 2020).

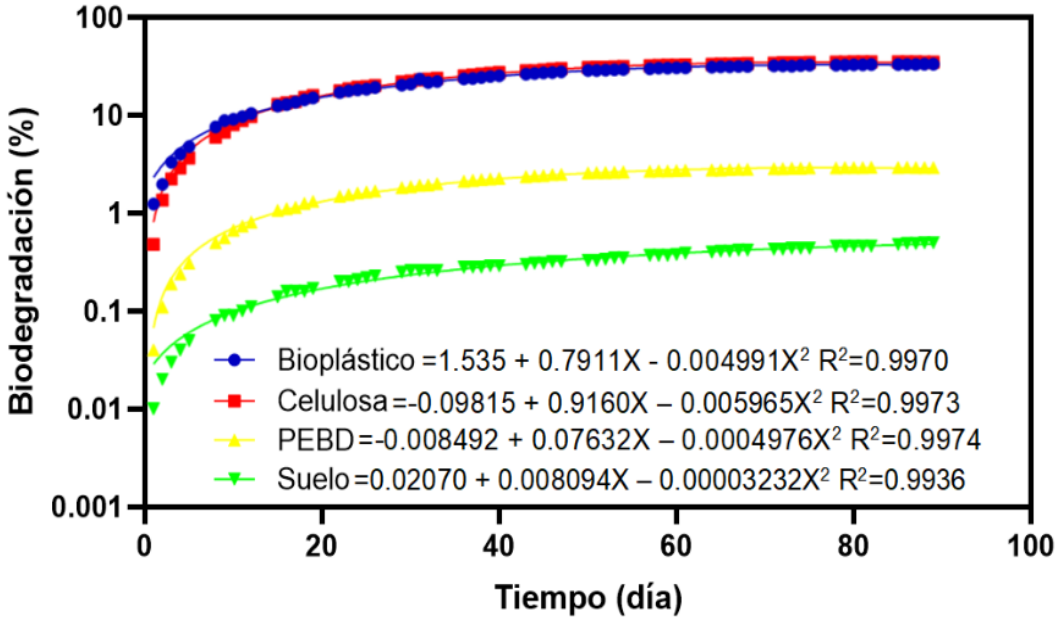


Figura 12. Curva de biodegradación de las muestras durante el ensayo.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

- Los distintos niveles de adición de ácido acético y glicerina en los tratamientos influyeron en las propiedades mecánicas de tracción y elongación máxima de los bioplásticos, estableciendo mejores condiciones al bioplástico (7) de 7 mL de ácido acético y 5 mL de glicerina con 2.82 MPa de resistencia a la tracción máxima y 12.89 % de elongación máxima.

- La biodegradación del bioplástico alcanzó 33.47% para los 90 días de evaluación siendo significativamente mayor al material de referencia (celulosa) 28.08% y control negativo (PEBD) 2.92%.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Se sugiere emplear un equipo de extrusión o soplado para la producción de películas o láminas de bioplástico, ya que esta opción posibilita una mayor exactitud en la evaluación de las características físicas y mecánicas, lo cual puede contribuir a mejorar la creación de envases que sean biodegradables.

- Se recomienda llevar a cabo la prueba de degradación de un bioplástico bajo condiciones rigurosamente controladas con el propósito de agilizar el proceso de descomposición y analizar la composición del suelo, el pH, el tipo de microorganismo, la humedad relativa, la temperatura y el flujo de aire, todo ello con el fin de lograr una biodegradación óptima.

CAPÍTULO VII: REFERENCIAS

Afif, M., Wijayati, N., & Mursiti, d. (2018). Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Biji Alpukat-Kitosan dengan Plasticizer Sorbitol. *Indonesian Journal of Chemical Science, 7*(2), 102-109.

Alcázar-Alay, S., & Almeida Meireles, M. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology, 35*(2), 215-236. https://doi.org/10.1590/1678-457X.6749

Alves, Z., Ferreira, N., Ferreira, P., & Nunes, C. (2022). Design of heat sealable starch-chitosan bioplastics reinforced with reduced graphene oxide for active food packaging. *Carbohydrate Polymers, 291*(119517). https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119517

Arroyo Benites, E., & Alarcón Cavero, H. (2013). Obtención y caracterización de polímeros biodegradables a partir del almidón de papa, yuca y maíz. *Anuario de Investigaciones-Universidad de Lima*, 110-111. https://hdl.handle.net/20.500.12724/3566

Atiwesh, G., Mikhael, A., Parrish, C. C., Banoub, J., & Le, T.-A. (2021). Environmental impact of bioplastic use: A review. *Heliyon, 7*(9). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07918

Barragán, D. J. (2012). *Biodegradability in soil determination and fate of some emerging biodegradable materials for agricultural mulching*. [Tesis de doctorado, Universitat de Lleida]. Tesis doctorales en Xarxa. https://www.tdx.cat/handle/10803/107948#page=2

Barraza Jáuregui, G., & Siche, R. (2021). Almidón de semilla de palta: Optimización del índice de blancura durante el proceso de extracción. *Agroindustrial Science, 11*(1), 81-85. https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.10

Barrios Martinez, L. (2020). *Efecto del extracto Hidroalcohólico de la semilla de palta (Persea Americana Mill) en el Tratamiento de coccidiosis en*

pollos (Gallus Gallus Domesticus). Universidad Nacional Hermilio Valdizan, Huanuco.

Bedoya Justo, E., & Julca Otiniano, A. (2020). Caracterización de fincas productoras del cultivo de palto en la región Moquegua, Perú. *Idesia (Arica), 38*(3), 59-67. https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000300059

Bedoya Justo, E., & Julca Otiniano, A. (2021). Sustentabilidad de las fincas de palto (Persea americana Mill.) en la región Moquegua Perú. *RIVAR (Santiago), 8*(22). https://doi.org/10.35588/rivar.v8i22.4770

Behera, L., Mohanta, M., & Thirugnanam, A. (2022). Intensification of yam-starch based biodegradable bioplastic film with bentonite for food packaging application. *Environmental Technology & Innovation, 5*(102180). https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102180

Briassoulis, D., Mistriotis, A., Wilde, B., & Noord, D. (2014). Standard testing methods & specifications for biodegradation of bio-based materials in soil - a comparative analysis. *International Conference of Agricultural Engineering, AgEng 2014, Ref C0668*.

Brito, J. (2019). *Produção e caracterização estrutural, morfológica e térmica de filmes biodegradáveis utilizando amido de caroço de abacate (Persea americana Mill) e bagaço de mandioca (Manihot esculenta Crantz).* Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa. http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/2788

Builders, P. F., Nnurum, A., Mbah, C. C., Attama, A. A., & Manek, R. (2010). The physicochemical and binder properties of starch from Persea americana Miller (Lauraceae). *Starch-Stärke, 62*(6), 309-320. https://doi.org/10.1002/star.200900222

Charro Espinosa., M. M. (2015). *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata.* [Tesis de pregrado, Universidad Central

del Ecuador]. Repositorio Digital. http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/3788

Chel-Guerrero, L., Barbosa-Martín, E., Martínez-Antonio, A., González-Mondragón, E., & Betancur-Ancona, D. (2016). Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds. *International Journal of Biological Macromolecules, 86*, 302-308. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.052

Cornelia, M., & Christianti, A. (2018). Utilization of modified starch from avocado (Persea americana Mill.) seed in cream soup production. *In IOP conference series: Earth and environmental science, 102*(1), 012074. https://doi.org/10.1088/1755-1315/102/1/012074

Dang, B. T., Bui, X. T., Tran, D., Ngo, H., Nghiem, L., Hoang, T., . . . Linh, K. (2022). Current application of algae derivatives for bioplastic production: A review. *Bioresource Technology, 347*(126698). https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126698

de Dios-Avila, N., Tirado-Gallegos, J., Estrada-Virgen, M., Rios-Velasco, C., Luna-Esquivel, G., Zamudio-Flores, P., . . . Cambero-Campos, O. (2022). Caracterización estructural y fisicoquímica de almidones de semilla de aguacate modificados mediante hidrólisis ácida a alta temperatura. *Revista Bio Ciencias, 9*(21), 31. https://doi.org/10.15741/revbio.09.e1272

dos Reis, R. C., Devilla, I. A., Oliveira, G. H., Corrêa, P. C., Ascheri, D. P., Souza, A. B., & Servulo, A. C. (2014). Mechanical properties, permeability and solubility of films composed of yam starch and glycerol. *Interciencia, 39*(6), 410-415. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/11/410-c-DOS-REIS-6.pdf

dos Santos, D. M., Ramirez Ascheri, D. P., de Lacerda Bukzem, A., Cintra Morais, C., Piler Carvalho, C. W., & Ramírez Ascheri, J. L. (2017). Physicochemical Properties Of Starch From Avocado Seed (Persea

Americana Mill). *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, 34*(2). https://doi.org/10.5380/cep.v34i2.53138

Embuscado, M., & Huber, K. (2009). *Edible films and Coatings for food Applications.* New York: Springer London. https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1

Espinoza Arroyo, F. H., & Puglisevich Ruiz, D. C. (2018). *Influencia del porcentaje de glicerol sobre la resistencia y deformación en tracción de plásticos biodegradables a base de almidón del tubérculo manihot esculenta crantz.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional. http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12561

Espinoza Ñaupari, E., & Oscco Villegas, C. (2022). *Efecto de glicerina y melamina sobre las propiedades fisico-mecanicas del bioplástico de almidón en semilla de Persea americana mill. "Palta".* Universidad Peruana Los Andes.

Fathurohman, V., Alisaputra, D., & Sedyadi, E. (2020). The Effect of Addition of Avocado Fruit Seeds On Bioplastic Biodegradation. *Proceeding International Conference on Science and Engineering, 3*, 137-145. https://doi.org/10.14421/icse.v3.547

García Fajardo, J. A., Ramos Godínez, M. D., & Mora Galindo, J. (1999). Estructura de la semilla de aguacate y cuantificación de la grasa extraída por diferentes técnicas. *Revista Chapingo serie horticultura, 5*, 123-128.

García Quiñonez, A. V. (2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz.* Santa Tecla, El Salvador: Escuela Especializada en Ingeniería. https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf

Gerencia Regional de Agricultura. (2021). *Anuario estadístico agropecuario. Región Agricultura Moquegua 2021.* Gerencia Regional de Agricultura Moquegua.

Ginting, M. H., Hasibuan, R., Lubis, M. T., & Iqbal, N. (2017). Effect of Hydrochloric Acid Concentration as Chitosan Solvent on Mechanical Properties of Bioplastics from Durian Seed Starch (Durio Zibethinus) with Filler Chitosan and Plasticizer Sorbitol. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 180*(1), 012126. https://doi.org/10.1088/1757-899X/180/1/012126

Ginting, M. H., R Hasibuan, M. L., Alanjani, F., Winoto, F. A., & Siregar, R. C. (2018). Supply of avocado starch (Persea americana mill) as bioplastic material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 309*(1), 012098. https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012098

Ginting, M. H., Tarigan, M. F., & Singgih, A. M. (2015). Effect of Gelatinization Temperature and Chitosan on Mechanical Properties of Bioplastics from Avocado Seed Starch (Persea americana mill) with Plasticizer Glycerol. *International Journal of Engineering Science, 4*(12), 36-43. http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/70009

Guevara Lastre, C. A., Robles Marín, V., León Rocha, L. F., & Pupo Jaramillo, N. A. (2021). Influencia de la relación amilosa/amilopectina en la resistencia de los adhesivos elaborados a partir de almidones nativos de yuca y ñame. *CITECSA, 12*(9), 5-17. https://revistas.unipaz.edu.co/index.php/revcitecsa/article/view/221

Jimenez, R., Sandoval Flores, S., Alvarado Reyna, S., Alemán Castillo, S., Santiago Adame, R., & Velasquez, G. (2021). Extraction of starch from Hass avocado seeds for the preparation of biofilms. *Food Science and Technology, 42*. https://doi.org/10.1590/fst.56820

Kahn, V. (1987). Characterization of Starch Isolated from Avocado Seeds. *Journal of Food Science, 52*(6), 1646-1658. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb05896.x

Kumar, P., & Gautam, S. (2019). Developing ZnO Nanoparticle embedded Antimicrobial Starch Biofilm for Food Packaging. *arXiv preprint arXiv:1909.05083.* https://arxiv.org/abs/1909.05083

Lazaridou, A., & Biliaderis, C. G. (2002). Thermophysical properties of chitosan. Chitosan-starch and chitosan–pullulan films near the glass transition. *Carbohydrate Polymers, 48*(2), 179-190. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00261-2

Lima, L., Gutierrez, R., & Cruz, S. (2022). Challenges in the context of single-use plastics and bioplastics in Brazil: A legislative review. *Waste Management & Research, 40*(7), 998-1006. https://doi.org/10.1177/0734242X21105554

Lubis, M., Harahap, M. B., Ginting, M., & Sartika, M. (2018). Production of bioplastic from avocado seed starch reinforced with microcrystalline cellulose from sugar palm fibers. *Journal of Engineering Science and Technology, 13*(2), 381-393.

Lubis, M., Harahap, M., Ginting, M., Sebayang, A., Chandra, T., Wangi, Y., & Jose. (2020). Mechanical, SEM and FTIR characteristics of bioplastics from mango seed starch with nanoparticle zinc oxide as filler and ethylene glycol as plasticizers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1003*(1), 012122.

Macena, J., De Souza, J., Camilloto, G., & Cruz, R. (2020). Physico-chemical, morphological and technological properties of the avocado (Persea americana mill. cv. hass) seed starch. *Ciencia e Agrotecnologia, 44*. https://doi.org/10.1590/1413-7054202044001420

Mali, S., Grossmann, M. V., García, M. A., Martino, M. N., & Zaritzkyb, N. E. (2004). Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. *Carbohydrate Polymers, 56*(2), 129-135. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.01.004

Mantilla Roldan, J. M., & Zavala Agreda, J. M. (2018). *Extracción y caracterización de almidón de las semillas de Persea americana Mill. (Palta) Var. Fuerte, Hass y Criolla.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional. http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11329

Martins, S., Pontes, K., Fialho, R., & Fakhouri, F. (2022). Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (Persea americana mill) for future applications. *Journal of Agriculture and Food Research, 8*(100303), 10. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100303

Maryam, M., Kasim, A., & Santosa. (2016). Utilization starch of avocado seed (Persea Americana Mill.) as a raw material for dextrin. *Journal of Food Science and Engineering 6 (2016) 32-37, 6*, 32-37. https://doi.org/10.17265/2159-5828/2016.01.005

McGrance, S. J., Cornell, H. J., & Rix, C. J. (1998). A Simple and Rapid Colorimetric Method for the Determination of Amylose in Starch Products. *Starch-Stärke, 50*(4), 158-163. https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-379X(199804)50:4%3C158::AID-STAR158%3E3.0.CO;2-7

Medeiros Silva, V. D., Coutinho Macedo, M. C., Gonçalves Rodrigues, C., dos Santos, A. N., de Freitas e Loyola, A. C., & Argenta Fante, C. (2020). Biodegradable edible films of ripe banana peel and starch enriched with extract of Eriobotrya japonica leaves. *Food Bioscience, 38*, 100750. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100750

Melian Subiabre, D. E. (2010). *Ensayo Comparativo de Dos Metodologías de Extracción de Almidon de Papa usando Muestras de Diez*

Variedades Nativas de Chiloé y dos Variedades Comerciales. [Tesis de licenciatura, Universidad Austral de Chile].Tesis electrónicas UACH. http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/fam522e/doc/fam522e.pdf

Meneses, J., Corrales, C., & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de Yuca. *Revista EIA*(8), 57-67. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006&lng=en&tlng=es

Meré Marcos, J. (2009). *Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente.* [Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. Repositorio institucional. http://hdl.handle.net/10016/10823

Meza Ramos, P. N. (2016). *Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional. https://hdl.handle.net/20.500.12996/2016

MINAM. (18 de Noviembre de 2022). *Campaña #MenosPlásticoMásVida*. Pagina Web Ministerio del Ambiente: https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/

Ministerio de Agricultura (MINAG). (2008). *Estudio de palta en el Perú y el Mundo.* https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/estudio_palta.pdf

Organización Internacional de Normalización (ISO). (2003). *Plásticos: Determinación de la biodegradabilidad aérobica 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 17556:2003). International Standards Organizations.

Rahman, M., & Bhoi, P. (2021). An overview of non-biodegradable bioplastics. *Journal of Cleaner Production, 294*(126218). https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126218

Red Energía y Medio Ambiente (REMAR). (2011). *Bioplásticos.* https://xdoc.mx/preview/bioplasticos-5d28e96122a1e

Rodriguez Romero, S. J., & Tam Paiba, C. (2012). *Caracterización del almidón de oxalis tuberosa (oca) de las variedades venado y correa provenientes de Salpo (Otuzco - La Libertad).* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo].Repositorio institucional. http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3983

Ruiz Avilés, G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Ingeniería y ciencia, 2*(4), 5-28. https://www.redalyc.org/pdf/835/83520401.pdf

Rutiaga Quiñones, O. M. (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 Nuevo León]. Colección digital UANL. http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080124502/1080124502.html

Saartrat, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., & Uttapap, D. (2005). Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches. *Carbohydrate Polymers, 61*(2), 211–221. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.05.024

Sánchez, H., Ponce, W., Brito, B., Viera, W., Baquerizo, R., & Riera, M. A. (2021). Biofilms Production from Avocado Waste. *Ingenieria y Universidad, 25*. https://doi.org/10.11144/Javeriana.iued25.bpaw

Sandhu, K., Singh, N., & Lim, S.-T. (2007). A comparison of native and acid thinned normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal,

morphological and pasting properties. *LWT - Food Science and Technology, 40*(9), 1527-1536. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.12.012

Santos, D. M., Ascheri, D. P., Bukzem, A. d., Morais, C. C., Carvalho, C. W., & Ascheri, J. L. (2017). Physicochemical properties of starch from avocado seed (Persea Americana Mill). *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, 34*(2). https://doi.org/10.5380/cep.v34i2.53138

Sanyang, M. L., Sapuan, S. M., M. Jawaid, M. R., & Sahari, J. (2016). Effect of plasticizer type and concentration on physical properties of biodegradable films based on sugar palm (arenga pinnata) starch for food packaging. *Journal of Food Science and Technology, 53*(1), 326-336. https://doi.org/10.1007/s13197-015-2009-7

Sapei, L., Padmawijaya, K., Sijayanti, O., & Wardhana, P. (2017). Study of the influence of ZnO addition on the properties of chitosan-banana starch bioplastics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 223*(012044). https://doi.org/10.1088/1757-899x/223/1/012044

Saraiva, A., Costa, R., Carvalho, L., & Duarte, E. (2012). The use of biodegradable mulch films in muskmelon crop production. *Basic Research Journal of Agricultural Science and Review, 1*(4), 88-95.

Semple, K., Zhou, C., Rojas, O., Nkeuwa, W., & Dai, C. (2022). Moulded pulp fibers for disposable food packaging: A state-of-the-art review. *Food Packaging and Shelf Life, 33*(100908). https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100908

Shogren, R. (2003). Rapid preparation of starch esters by high temperature/pressure reaction. *Carbohydrate Polymers, 52*(3), 319-326. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00305-3

Silva, I. R., Magnani, M., de Albuquerque, F. S., Batista, K. S., & Queiroga-Neto, V. (2017). Characterization of chemical and structural properties of native and acetylated starches from avocado (Persea americana Mill.) seeds. *International journal of food properties, 20*(sup1), S279-S289. https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1295259

Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM). (2018). *ASTM D882-18 Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.* ASTM International (ASTM). https://doi.org/10.1520/D0882-18

Sothornvit, R., & Krochta, J. (2005). Plasticizers in edible films and coatings. En: Innovations in food packagings. *Innovations in Food Packaging*, 403-433. https://doi.org/10.1016/B978-012311632-1/50055-3

Tesfaye, T., Gibril, M., Sithole, B., Ramjugernath, D., Chavan, R., Chunilall, V., & Gouden, N. (2018). Valorisation of avocado seeds: extraction and characterisation of starch for textile applications. *Clean Technologies and Environmental Policy, 20*(9), 2135-2154. https://doi.org/10.1007/s10098-018-1597-0

Torres, F. G., Troncoso, O. P., Torres, C., Díaz, D. A., & Amaya, E. (2011). Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. *International journal of biological macromolecules, 48*(4), 603-606. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026

Vargas Aguilar, P., & Hernández Villalobos, D. (2013). Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. . *Revista Tecnología en Marcha, 26(1), ág-37, 26*(1), 37-45. https://doi.org/10.18845/tm.v26i1.1120

Zhang, P., Wang, L., Qian, Y., Wang, X., Zhang, S., Chang, J., . . . Ma, B. (2019). Influences of Extraction Methods on Physicochemical and Functional Characteristics of Three New Bulbil Starches from

Dioscorea opposita Thunb. cv. Tiegun. *Molecules, 24*(12), 2232. https://doi.org/10.3390%2Fmolecules24122232

CAPÍTULO VIII. ANEXOS

Anexo 1. Datos de absorbancia para la curva estándar amilosa/amilopectina

Lecturas de absorbancia para la curva estándar de amilosa/amilopectina

N° ENSAYO	AMILOSA (%)	AMILOPECTINA (%)	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS PROMEDIO
1	0	100	0.0624	0.0623	0.0624	0.0624
2	10	90	0.0910	0.0920	0.0920	0.0915
3	20	80	0.1320	0.1330	0.1330	0.1325
4	40	60	0.1930	0.1930	0.1940	0.1930
5	50	50	0.2240	0.2250	0.2250	0.2245
6	60	40	0.2570	0.2560	0.2560	0.2565
7	80	20	0.3180	0.3170	0.3170	0.3175
8	90	10	0.3460	0.3470	0.3460	0.3465
9	100	0	0.3870	0.3880	0.3880	0.3875

Lectura de absorbancia y resultados de amilosa/amilopectina de la muestra de almidón de semilla de palta variedad Hass

MUESTRA	ABSORBANCIA (600nm)	AMILOSA (%)	AMILOPECTINA (%)	PROMEDIO DE AMILOSA (%)
ALMIDÓN	0.1873	38.67	61.33	38.69
	0.1873	38.67	61.33	
	0.1875	38.74	61.26	

Anexo 2. Valores promedios para la evaluación de resistencia a la tracción y elongación máxima

Biop.	Espesor (mm)	Área (m^2) x 10^{-7}	Fuerza máxima (N)	Longitud inicial (mm)	Longitud final (mm)	Elongación (%)	Resistencia la tracción (MPa)
1	0.125	6.27	1.61	50	55.72	11.45	2.57
2	0.154	7.72	1.08	50	57.22	14.43	1.40
3	0.256	12.80	0.72	50	58.81	17.62	0.56
4	0.181	9.06	2.36	50	56.61	13.23	2.61
5	0.252	12.61	1.93	50	57.11	14.22	1.53
6	0.255	23.69	1.11	50	58.58	17.15	0.47
7	0.090	5.95	1.68	50	56.45	12.89	2.82
8	0.193	10.25	1.76	50	57.41	14.81	1.72
9	0.245	12.23	0.75	50	58.15	16.30	0.61

Anexo 3. Análisis de varianza del efecto del ácido acético y glicerina en la resistencia a la tracción máxima

Análisis de la variancia para el efecto del ácido acético y glicerina en la resistencia a la tracción máxima de los bioplásticos

Factor	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Valor-F	Valor-P	Significancia
Ácido acético	0.2249	2	0.1124	31.30	0.0000	*
Glicerina	20.2448	2	10.1224	2817.58	0.0000	*
Ácido acético*Glicerina	0.0627	4	0.0157	4.37	0.012	*
Error	0.0647	18	0.0036			
Total	20.5971	26				

Anexo 4. Análisis de varianza del efecto del ácido acético y glicerina en la elongación máxima

Análisis de la variancia para evaluar el efecto de la adición de ácido acético y glicerina en la capacidad de elongación máxima de los bioplásticos

Factor	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Valor-F	Valor-P	Significancia
Ácido acético	0.603	2	0.3016	0.06	0.941	
Glicerina	91.744	2	45.8718	9.25	0.002	*
Ácido acético*Glicerina	8.019	4	2.0047	0.40	0.803	
Error	89.220	18	4.9567			
Total	189.586	26				

Anexo 5. Análisis de varianza del CO_2 acumulado y la biodegradación

CO_2 (mg)

Factor	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Valor-F	Valor-P	Significancia
Modelo	7736054.92	3	2578684.97	4603082.14	0.0001	*
Tipo	7736054.92	3	2578684.97	4603082.14	0.0001	*
Error	4.48	8	0.56			
Total	7736059.40	11				

Biodegradación (%)

Factor	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Valor-F	Valor-P	Significancia
Modelo	2586.37	3	862.12	8621235.32	0.0001	*
Tipo	2586.37	3	862.12	8621235.32	0.0001	*
Error	8.0E-04	8	1.0E-04			
Total	2586.37	11				

Anexo 6. Regresión no lineal del CO_2 acumulado y la biodegradación

CO_2 (mg)

Ajuste no lineal	Bioplástico	Celulosa	PEBD	Suelo
Polinomio: Segundo orden ($Y=A + B*X + C*X^2$)				
Valores de mejor ajuste				
A	92.0200	17.4000	15.9000	22.1600
B	48.9100	56.8600	15.1900	8.7990
C	-0.2868	-0.3480	-0.1031	-0.0350
R cuadrado	0.9954	0.9974	0.9972000	0.9941

Biodegradación (%)

Ajuste no lineal	Bioplástico	Celulosa	PEBD	Suelo
Polinomio: Segundo orden ($Y=A + B*X + C*X^2$)				
Valores de mejor ajuste				
A	1.3530	-0.0869	-0.0076430	0.02035000
B	0.7992	0.9155	0.0762200	0.00809900
C	-0.0051	-0.0060	-0.0004964	-0.00003224
R cuadrado	0.9969	0.9975	0.9972000	0.9941

Anexo 7. Operacionalización de variables

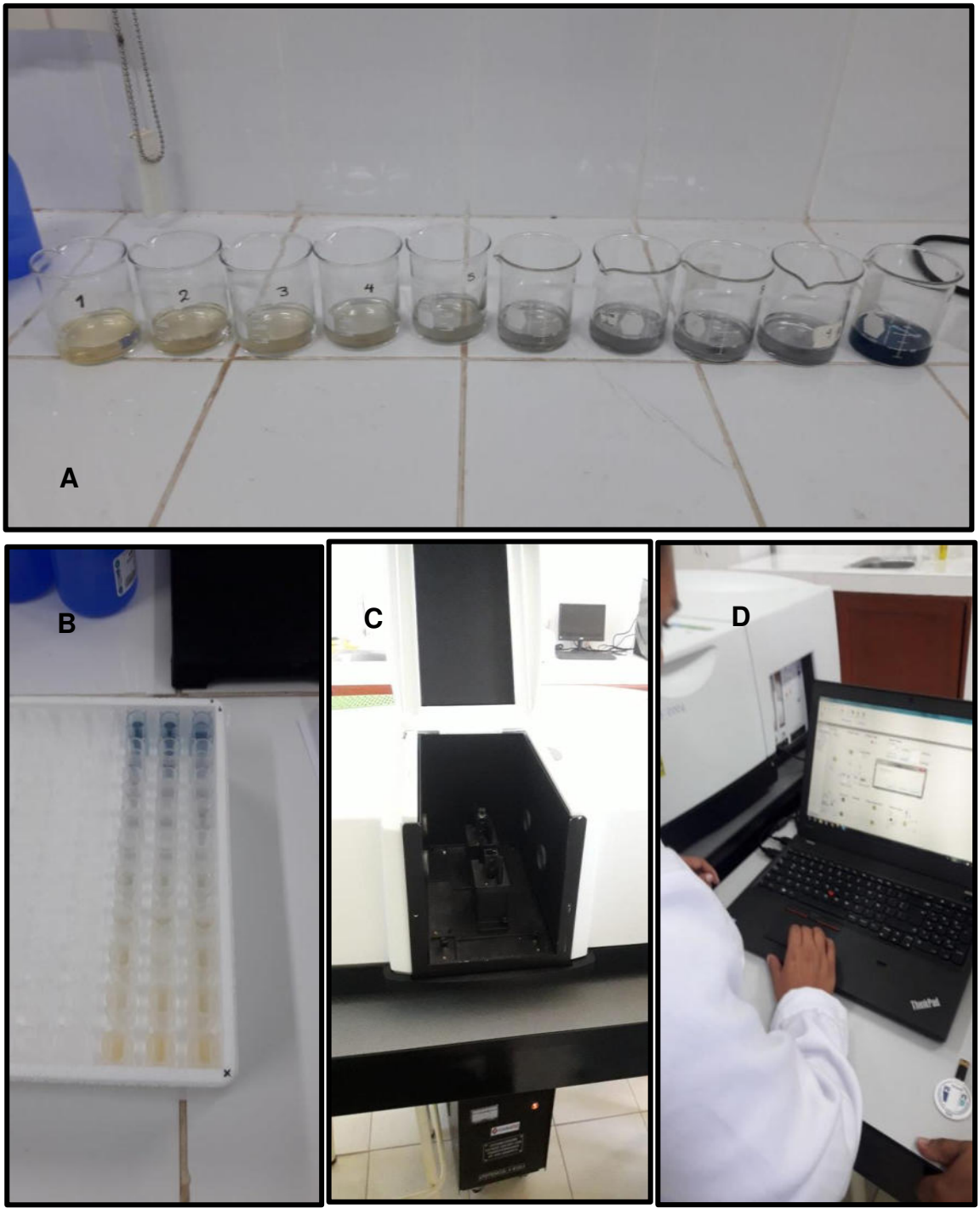
Variables independientes

VARIABLES INDEPENDIENTES	DEFINICIÓN DE VARIABLES	
	FACTOR A MEDIR	INDICADORES
Ácido acético	Volumen	3, 5, 7 (mL)
Glicerina	Volumen	5, 10 ,15 (mL)

Variables dependientes

VARIABLES DEPENDIENTES	DEFINICIÓN DE VARIABLES	
	FACTOR A MEDIR	INDICADORES
Resistencia a la tracción máxima	Esfuerzo máximo hasta la ruptura	MPa
Elongación máxima	Elongación máxima hasta la ruptura	%

Anexo 8. Registro fotográfico del desarrollo de la investigación

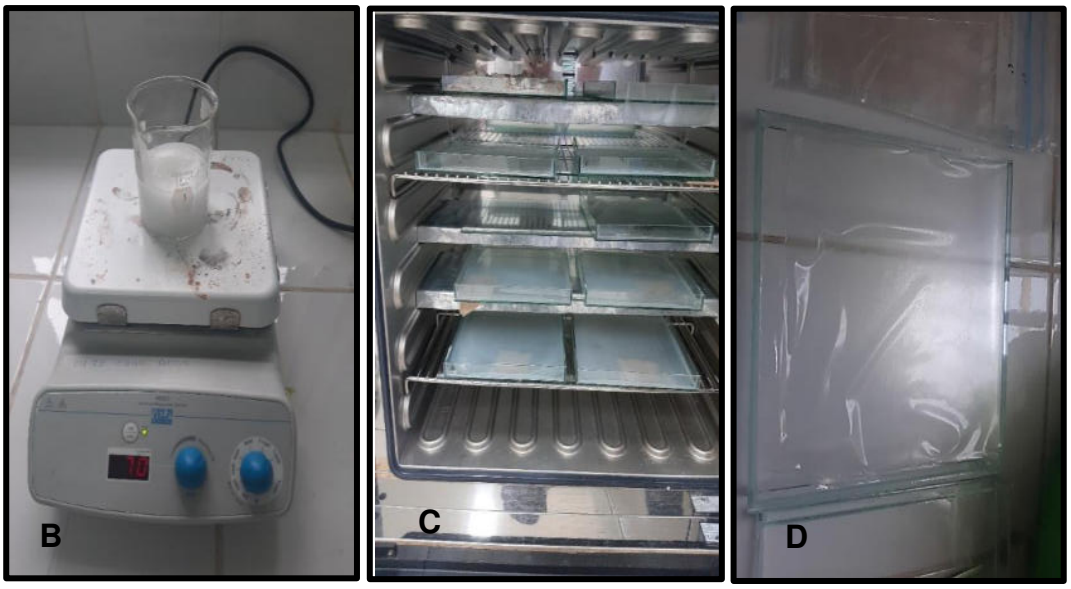


Nota: A. Preparación de reactivos para curva patron, **B.** Cubetas con soluciones patrón para evaluar la absorbancia, **C**. Equipo espectrofotómetro UV, **D**. Obtención de datos de las lecturas simultaneas absorbancia para la curva patron.

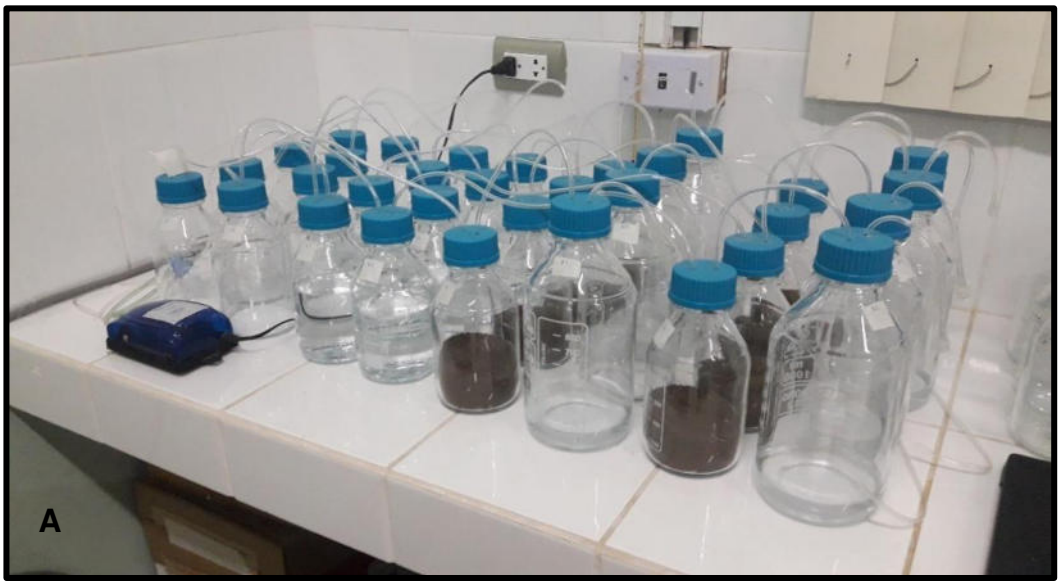


Nota: A. Lavado de las semillas, **B.** Picado, **C.** Molienda o licuado, **D.** Filtrado, **E.** Decantación, **F.** Secado en estufa, **G.** Molienda II, **H.** Tamizado. **I.** Almacenado.





Nota: A. Mezcla de reactivos e insumos para la elaboración de bioplasticos, **B**. Calentador con agitador magnético con la mezcla**, C.** Secado en estufa de las placas con la muestra de bioplástico, **D.** Desmoldado de bioplasticos.

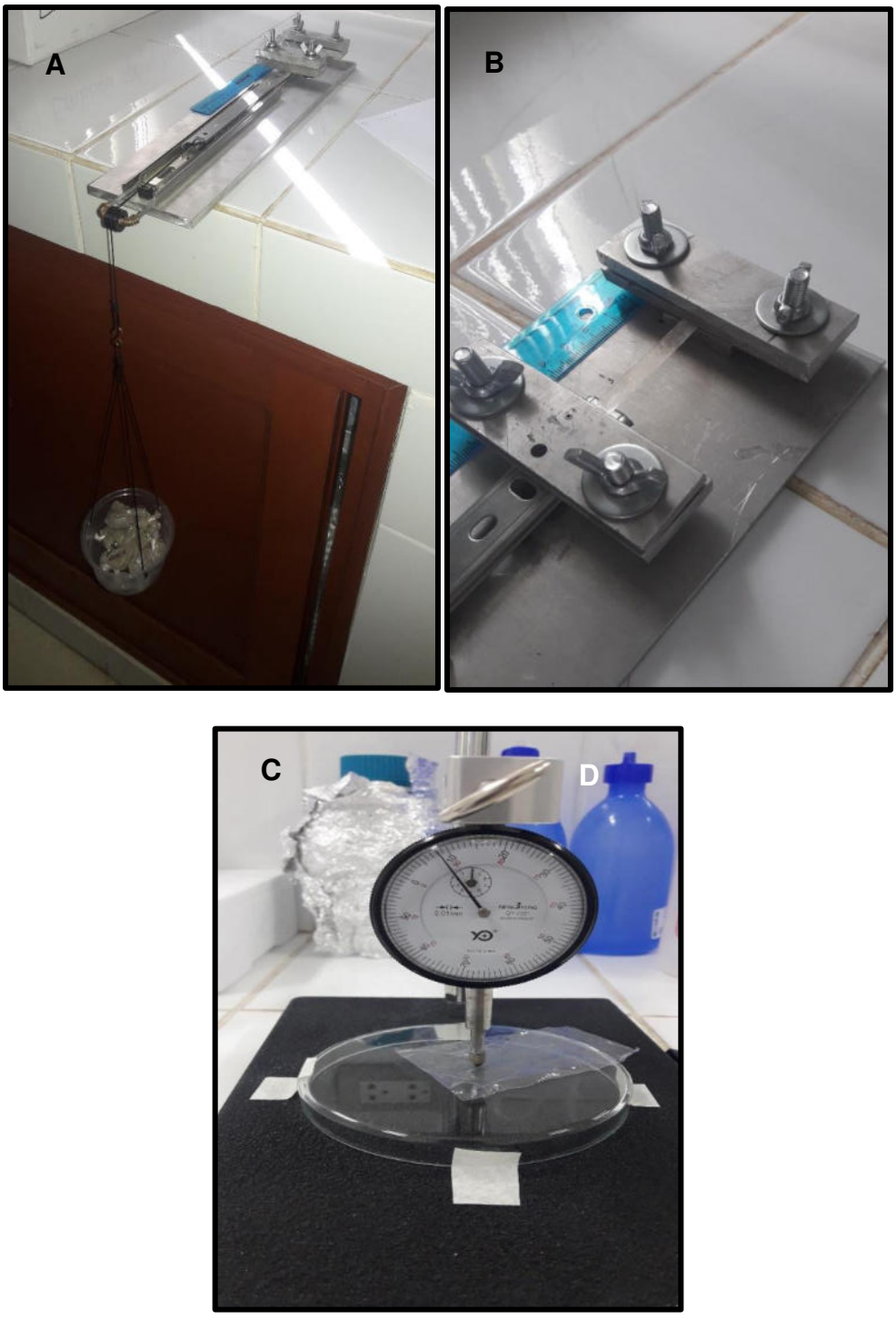








Nota: A. Acondicionamiento del sistema respirométrico, **B.** Microbureta para titulación ácido/base, **C.** Frascos con muestra para ser evaluados, **D**. Tinción de color rosado por efecto de la fenolftaleína



Nota: A y **B.** Sistema para evaluación de resistencia a la tracción y elongación maxima preliminar**, C.** Dial o micrómetro medidor de espesor para plasticos.

Anexo 9. Consideraciones de muestra de suelo no expuesto

Para el análisis de biodegradabilidad se utilizó un suelo no expuesto según las siguientes observaciones de muestra.

Características	Detalle	Observaciones
Sitio de muestreo	Suelo de área verde la UNAM Moquegua	-
Ubicación	**Latitud: 17°11' 25.0584'' S Longitud: 70°56' 09.47.40'' N**	Datum: WGS84
Presencia de plantas o cultivos anteriores	Predomina la presencia de Grass o pasto, árboles frutales como moral distribuidos en el área central.	-
Fecha de muestreo	Mayo/2019 15:35	-
Profundidad de muestreo	Prof. 0.45 m Diam: 0.65 m	Se apertura un hoyo con el uso de un pico y lampa
Cantidad de muestreo	2.6 Kg	Almacenamiento en bolsa Ziploc
Historial de aplicación de fertilizantes	**Ninguna**	No se tiene un historial de aplicación de fertilizantes, sin embargo, consultando al encargado de jardinería utiliza regularmente urea como fertilizante para arbustos y arboles de las áreas verdes

Vista aérea del lugar de muestreo

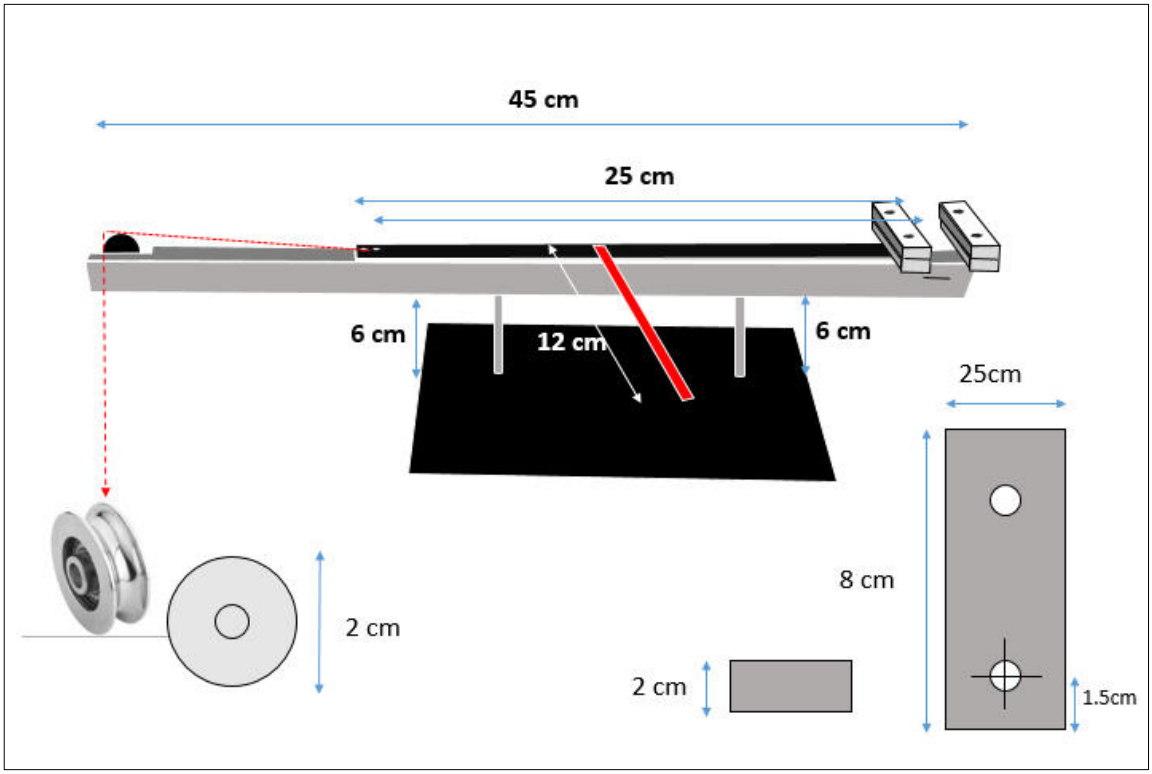


Anexo 10. Porcentaje de carbono teórico para las muestras a ensayar

MUESTRA	**CARBONO (%)**
Bioplástico	34.36
Celulosa	26.60
Celulosa sin ceniza	44.72
Polietileno de baja densidad	86
Compost, Suelo	14.82

Fuente: (Meza, 2016; Saraiva, 2012)

Anexo 11. Esquema de prototipo para evaluar propiedades mecánicas



FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos	: Cristian Edwin Machaca Ramos
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: 74892167
Correo electrónico	: cristianedwinramos@gmail.com
Teléfono/Celular	: 960703727

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis **(X)**
b) Trabajo de Investigación **( )**
c) Trabajo de suficiencia profesional **( )**
d) Trabajo académico **( )**

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : Obtención de bioplástico a partir de almidón de la semilla de palta *(Persea americana)* variedad Hass y determinación de la biodegradabilidad.
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.09.03
c) Fecha de publicación : .....

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : René German Sosa Vilca
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 01310659
c) ORCID : 0000-0003-2248-3464

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 74892167
NOMBRES Y APELLIDOS : CRISTIAN EDWIN MACHACA RAMOS

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 74892167
NOMBRES Y APELLIDOS : CRISTIAN EDWIN MACHACA RAMOS
FECHA : 29/03/2023



DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Cristian Edwin Machaca Ramos ,
bachiller de la Escuela Profesional de: Ingeniería Agroindustrial
,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº. 74892167, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional, denominado:
Obtención de bioplástico a partir de almidón de la semilla de palta *(Persea americana)* variedad Hass y determinación de la biodegradabilidad

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 29 de marzo del 2023



Huella digital

Nombres y Apellidos: Cristian Edwin Machaca Ramos
DNI: 74892167

Document Information

Analyzed document	CRISTIAN EDWIN MACHACA RAMOS.docx (D172152917)
Submitted	2023-07-17 03:54:00
Submitted by	rene german sosa vilca
Submitter email	rsosav@unam.edu.pe
Similarity	5%
Analysis address	rsosav.unampe@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**Tesis Johanna Castaño versíon Tesis Final.pdf** Document Tesis Johanna Castaño versíon Tesis Final.pdf (D77948581)	3
SA	**RAÚL GERARDO URGILÉS CAUJA.docx** Document RAÚL GERARDO URGILÉS CAUJA.docx (D111154130)	1
SA	**Vega Ocampo Moncada Rivera.docx** Document Vega Ocampo Moncada Rivera.docx (D82145888)	2
SA	**TESIS BIOMATERIAL - SAENZ ANGEL.pdf** Document TESIS BIOMATERIAL - SAENZ ANGEL.pdf (D129750966)	3
W	URL: https://www.tdx.cat/handle/10803/107948#page=2Barraza Fetched: 2023-07-17 03:55:00	1
SA	**Armijos Andrea_Bioplastico_Semilla Yaca y Semilla Aguacate Urkund.docx** Document Armijos Andrea_Bioplastico_Semilla Yaca y Semilla Aguacate Urkund.docx (D109588730)	2
SA	**Aprovechamiento de residuos de aguacate examen final (2).pdf** Document Aprovechamiento de residuos de aguacate examen final (2).pdf (D126864578)	2
SA	**T2_RS_Taller de Tesis 1_Sandoval_Arias_Cesar_Ivan.docx** Document T2_RS_Taller de Tesis 1_Sandoval_Arias_Cesar_Ivan.docx (D106152511)	3
SA	**2022 TESIS CULMINADA GUSTAVO PAREDES.pdf** Document 2022 TESIS CULMINADA GUSTAVO PAREDES.pdf (D142684410)	2
SA	**TESIS COMPLETA_CUENCA RUTH.pdf** Document TESIS COMPLETA_CUENCA RUTH.pdf (D127322773)	2
SA	**EF_Revision Sistematica_Taller de Tesis 1_Sandoval_Arias_Cesar_Ivan.docx** Document EF_Revision Sistematica_Taller de Tesis 1_Sandoval_Arias_Cesar_Ivan.docx (D110530081)	1