TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"PRODUCCIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta* C.) LIMA, PERÚ"

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

Ohaira Ricra Chavez (0000-0002-0182-025X)

Asesor:

Oscar Reategui Arevalo (0000-0001-9773-2176)

Lima – Perú

2022

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 11 de mayo del 2023.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Mirtha Rosario Nazario Ramirez
Miembro: Mg. Santiago Hilarion Pastor Soplin
Miembro: Dr. Noé Ordóñez Machicao

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

"PRODUCCIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO (Theobroma cacao L.) Y ALMIDÓN DE YUCA (Manihot esculenta C.) LIMA, PERÚ"

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Ohaira Ricra Chavez**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Mg. Oscar Reategui Arévalo

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: Ohaira Ricra Chavez			Nota (Diecisiete): (17)
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (X)	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.

Mg. Mirtha Rosario Nazario Ramirez
Preside

Mg. Santiago Hilarion Pastor Soplin
Miembro 1

Dr. Noé Ordóñez Machicao
Miembro 2

Mg. Oscar Reategui Arevalo
Asesor

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN[1]

Lima, 12 de noviembre del 2023

Señor,
Carlos Zavalaga Reyes

Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

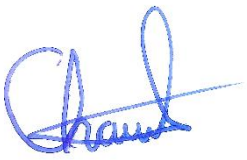
De nuestra consideración,

Yo: Ohaira Ricra Chavez, egresado de la carrera Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor de tesis Oscar Reategui Arévalo, declaramos que este informe final de tesis de investigación titulado: PRODUCCIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao L*.) Y ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta C*.) LIMA, PERÚ, sustentado para obtener el título de Ingeniera Ambiental es original.

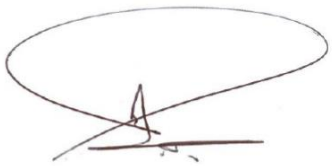
Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mi (nuestra) investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos [2], que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



Firma tesista
DNI: 62116557



Firma del asesor de tesis
DNI: 17854305

[1] En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD
[2] Los documentos están en: https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Producción de platos biodegradables a partir de la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) y almidón de yuca (Manihot esculenta C.) Lima, Perú

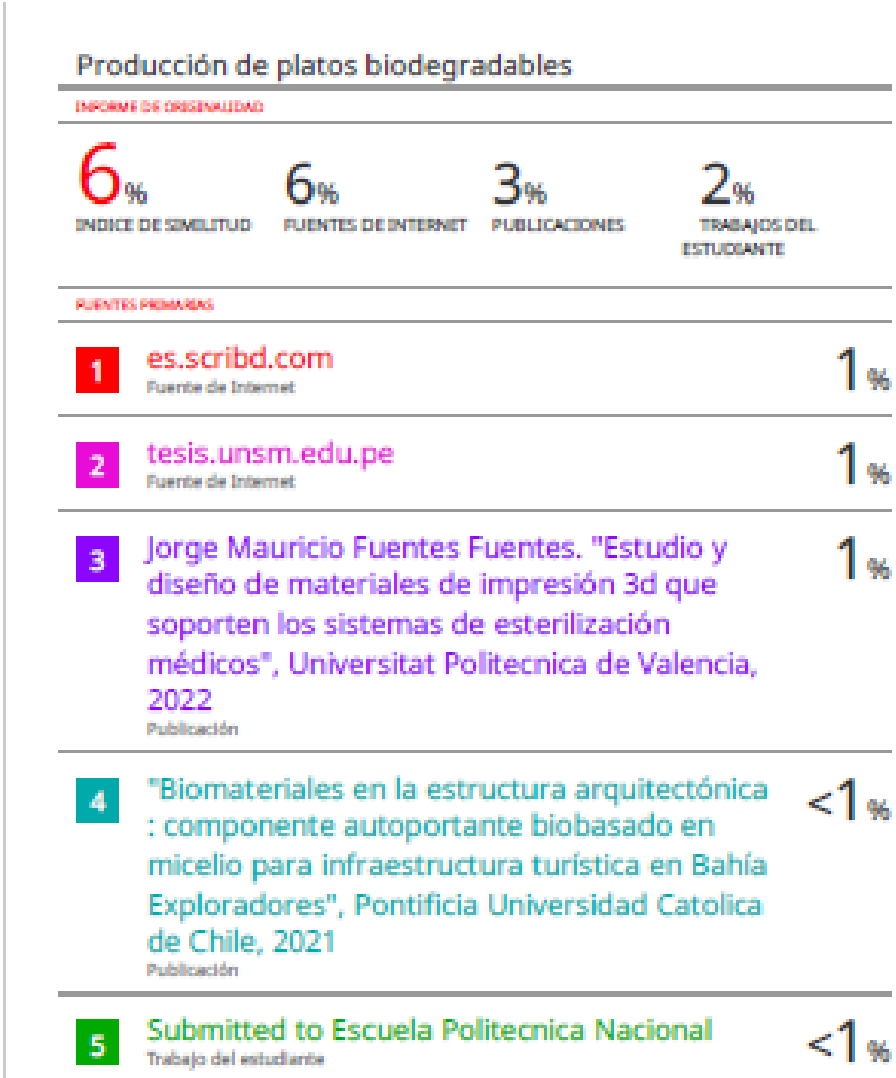
Autores. Ohaira Ricra Chavez.

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2264241028).

Resultado de la evaluación. 6%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



Producción de platos biodegradables

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%	6%	3%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
2	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	Jorge Mauricio Fuentes Fuentes. "Estudio y diseño de materiales de impresión 3d que soporten los sistemas de esterilización médicos", Universitat Politecnica de Valencia, 2022 Publicación	1%
4	"Biomateriales en la estructura arquitectónica : componente autoportante biobasado en micelio para infraestructura turística en Bahía Exploradores", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2021 Publicación	<1%
5	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1%

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Producción de platos biodegradables a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) y almidón de yuca (*Manihot esculenta* C.)

Ohaira Ricra[1,2] Danae Liviac[1,2] Oscar Reategui*[1,2]

[1]Universidad Científica del Sur, Panamericana Sur Km 19, Villa El Salvador, Lima, Perú.
[2]Grupo de Investigación, Caracterización, Transformación y Sustentabilidad de los Recursos Naturales del Perú (CTS Group), Universidad Científica del Sur.
Ohaira Ricra: 180000445@cientifica.edu.pe; Danae Liviac: dliviac@cientifica.edu.pe
Oscar Reategui:oreategui@cientifica.edu.pe

RESUMEN

Ante la problemática de los plásticos sintéticos en el mundo, se han incrementado iniciativas innovadoras que buscan aprovechar los derivados y desechos agrícolas para crear productos biodegradables. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo elaborar platos biodegradables (bioplatos) a base de almidón de yuca reforzado con partículas de cáscara de cacao a través del método de termo-compresión. Las partículas de cacao fueron adicionados a la matriz-almidón en proporciones de 5% (T1), 10% (T2) y 15% (T3). Los resultados obtenidos muestran que la incorporación de fibras lignocelulósicas correspondientes a la cáscara de cacao puede lograr mejoras en las propiedades mecánicas de tracción y módulo de elasticidad, donde los valores de tracción varían entre 0.89MPa y 1.95 MPa, mientras que los valores de módulo de elasticidad varían de 9.59 MPa y 51.88 MPa; siendo el valor más alto para el bioplato con 10% de cacao (T2). Finalmente, en el sistema respirométrico se comprobó la biodegradación del producto elaborado, logrando 18.43% de degradación en sólo 42 días.

Palabras clave: bioplato, Cáscara de cacao, termo-compresión, tracción, biodegradación.

ABSTRACT

Given the problem of synthetic plastics in the world, innovative initiatives have increased that seek to take advantage of derivatives and agricultural waste to create biodegradable products. The objective of this study was to prepare biodegradable dishes (bioplates) based on cassava starch reinforced with cocoa shell particles through the thermo-compression method. Cocoa particles were added to the starch-matrix in proportions of 5% (T1), 10% (T2) and 15% (T3). The results obtained show that the incorporation of lignocellulosic fibers corresponding to the cocoa shell can improve the mechanical properties of traction and modulus of elasticity, where the values of traction vary between 0.89MPa and 1.95MPa, while the values of modulus of elasticity vary. of 9.59 MPa and 51.88 MPa; being the highest value for the bioplate with 10% cocoa (T2). Finally, in the respiro metric system, the biodegradation of the elaborated product was verified, achieving 18.43% degradation in only 42 days.

keywords: Bioplate, Cocoa Shell, Thermocompression, Traction, Biodegradation

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

INTRODUCCIÓN

Los plásticos son materiales constituidos por largas cadenas carbonadas llamadas polímeros y las materias primas usadas para la producción de plástico son principalmente el petróleo y el gas natural (Montalvo 2007). Se estima que alrededor del ocho por ciento del petróleo es empleado en la fabricación de plásticos sintéticos (National Geographic 2018; World Economic Forum 2020). Durante los últimos años, su producción se ha incrementado de una forma muy acelerada, probablemente debido a que este material es ampliamente usado debido a sus propiedades físicas, su fácil procesamiento y versatilidad. Desde 1950 hasta 2018 se estimó una producción de plástico de 8300 millones de toneladas, el cual va incrementando anualmente en un 5% (Ali et al. 2021). Sin embargo, se demostró que apenas el 9% de residuos plásticos se recicla, el 12% de estos residuos es quemado y aproximadamente el 79% es depositado en vertederos o es liberado al medio ambiente, afectando distintos ecosistemas (Garcia and Robertson 2017; Geyer et al. 2017; Ali et al. 2021).

El plástico sintético es resistente a la degradación, lo cual hace que este material no se reincorpore fácilmente a los ciclos naturales, por lo tanto, permanece cientos de años en la naturaleza impactando de forma negativa a los diferentes lugares donde quedan dispuestos. Una de las problemáticas ambientales más alarmantes es la acumulación de plástico en los océanos; la inadecuada disposición final de estos residuos hace que los océanos lleguen a ser receptores de hasta 14 millones de toneladas de basura plástica anual (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza 2021); algunos estudios demuestran que alrededor de 2150 especies marinas tuvieron contacto con el plástico en su entorno natural. Además, se estima que hasta el 90% de las aves marinas y el 52% de las tortugas marinas hoy en día ingieren plásticos; descubriéndose también, la ingesta de micro plástico en muchas ballenas y delfines que terminaron con desnutrición (Tekman et al. 2022) debido a que reemplazan parte de su ingesta de alimentos, con los plásticos de muy lenta degradación, vertidos los mares. Los plásticos desechables de un solo uso representan entre el 60 - 95% de toda la contaminación plástica en los océanos (Schnurr et al. 2018). Es alarmante saber que los plásticos ingeridos por los animales suben a lo largo de la cadena alimenticia marina y cada vez es más frecuente encontrar micro plástico en los alimentos de los humanos (Tekman et al. 2022).

Por todo lo anterior, es muy necesario innovar y buscar materiales biodegradables que presenten propiedades y costo similar a los polímeros hechos a base de petróleo. Los bioplásticos son materiales que presentan propiedades con mucha semejanza a los plásticos, además, lo ventajoso de estos productos es que se degradan en corto tiempo, gracias a los microorganismos presentes en el medio ambiente (Trujillo 2014). Una de las materias primas más prometedoras para elaborar bioplásticos es el almidón, habiéndose realizado estudios con almidón de yuca, maíz, papa, arroz y trigo (Álvarez- Chavez 2012); el almidón se constituye principalmente por dos polisacáridos: la amilosa que representa el 20% y la amilopectina que representa cerca del 80% de la estructura del almidón (Ruiz 2006). Para reforzar las propiedades mecánicas de los bioplásticos hechos a partir del almidón, investigadores han propuesto incorporar otros insumos naturales como partículas de madera, albedo de maracuyá, genipina y fenólicos de cáscara de papa como componente reforzante (Barrios et al. 2015; Chariguamán 2015; Gonçalves et al. 2021; Lopes et al. 2021). En este contexto la conversión de desechos agrícolas en productos de valor agregado puede ser el uso final para incrementar la sostenibilidad; los desechos agrícolas tienen fibras vegetales que son un buen potencial en la producción de bio compuestos y bioplásticos reforzados (Ravindran and Jaiswal 2016; Glukhikh et al. 2020).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

En el Perú, la producción y exportación de granos de cacao (*Theobroma cacao L.*) ha mostrado incremento importante durante los últimos años (Mincetur, 2016). Al cerrar el año 2018 se registró que la producción nacional fue de 135 000Tn en 160 000ha de áreas cultivadas (López, Cunias and Carrasco 2020) y en el año 2020 Perú se posicionó en el noveno puesto como productor de cacao en grano a nivel mundial y el segundo productor de cacao orgánico a nivel mundial, donde aproximadamente cien mil (100 000) familias de agricultores peruanos se dedican a la producción de este cultivo valioso (López, Cunias and Carrasco 2020); a nivel mundial el Perú es considerado como un país productor y exportador de cacao fino de aroma (Pastor-Soplín et al. 2022). El cacao es un cultivo importante a nivel industrial debido a que sus granos son el ingrediente principal del chocolate. Sin embargo, sólo se aprovecha la semilla la cual representa aproximadamente el 10% del peso de la mazorca cosechada (Franco 2010). En tanto, que la cáscara de la mazorca de cacao, correspondiente a la zona externa del fruto, es el mayor subproducto generado en el proceso productivo del cacao y vine representando del 75% del peso total (Lu et al. 2018), por lo que se eliminan grandes cantidades de residuos después de cada cosecha. La acumulación de estos residuos dentro de los terrenos de cultivo, son fuentes de proliferación de bacterias y microorganismos indeseables como el *Phytophora spp*, los cuales afectan a los frutos sanos de las plantaciones cacaoteras y eso representa pérdidas económicas para los agricultores dedicados al cultivo de cacao (Franco et al. 2010) El aprovechamiento de la cáscara de cacao para elaborar bioplatos permitiría agregar valor a los desechos de este cultivo agrícolas.

Es importante verificar las propiedades mecánicas de los materiales biodegradables, para lo cual la norma ASTM D-638 permite estimar las propiedades de tracción de los materiales plásticos (American Society for Testing and Materials, 2010); la resistencia a la tracción se utiliza para calcular la fuerza y resistencia que posee un material (Infinitia 2020) y el módulo de elasticidad es la deformación unitaria que presenta un material ante un esfuerzo al que es sometido. Por otro lado, la norma ASTM D5338-15 estima el porcentaje de biodegradación en condiciones controladas (Jiménez, Vázquez and Álvarez 2018). La presente investigación tuvo como finalidad elaborar platos biodegradables (bioplatos) hechos a partir de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) reforzado con partículas de cáscara de cacao (*Theobroma cacao*), determinando sus propiedades mecánicas y su porcentaje de biodegradación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se empleó almidón de yuca (*Manihot esculenta* C.) proporcionado por la empresa Almidones Perú S.A.C; cáscara de cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) propio del Valle del Río, Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM), distrito de Llochegua, departamento de Ayacucho, Perú; glicerina (marca Alkofarma) y ácido acético al 5% (Vinagre blanco marca Firme). La cáscara de cacao fue cortada en trozos y secada en estufa de aire forzado a 50°C durante 72h, luego fue molida con un molino de mano y tamizada hasta obtener tamaños de partículas entre 300 y 600 μm, para ello se emplearon tamices de número 50 y 30 respectivamente, como lo indica la norma de la sociedad estadounidense para pruebas y materiales ASTM E11.

Preparación de los bioplatos

Se preparó una matriz que contenía una mezcla en volumen de 70% almidón de yuca, 15% glicerina y 10% ácido acético, técnica adaptada de Barrios et al. (2015). Luego, se procedió a incorporar las partículas de cáscara de cacao (300-600 μm) en diferentes proporciones: 5%, 10% y

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

15%, tal como se observa en la tabla 1. Las mezclas fueron vertidas en moldes de acero inoxidable con las siguientes dimensiones: 19 x 19 x 3 mm, con el fin de formar placas a través del método de termo-compresión; durante esta operación, las condiciones fueron las siguientes: temperatura 150°C, para hacer presión se empleó piedras con un peso total de 24kg sobre el molde de acero y tiempo de prensado de 50min. Cada tratamiento contó con tres repeticiones.

Tabla 1: Esquema experimental para la preparación de los bioplatos.
Table 1: Experimental scheme for the preparation of the bioplates.

	Matriz	T1	T2	T3
Partículas de cacao	0%	5%	10%	15%
Matriz	100%	95%	90%	85%

* Matriz tiene 0 % partículas de cacao, T1 contiene 5 % partículas de cacao, T2 contiene 10 % partículas de cacao, T3 contiene 15 % partículas de cacao.

Ensayos de tracción y módulo de elasticidad

El ensayo de tracción fue realizado tomando en cuenta la norma ASTM D-638, donde se emplearon tiras del bioplástico (bioplatos) en forma de probetas y se utilizó la máquina de ensayo universal Zwick Roell Z050. Este ensayo fue desarrollado en el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y permitió obtener información acerca de la máxima resistencia a la tracción, así mismo, se pudo medir el módulo de elasticidad del material en unidades de mega pascales (Mpa).

Determinación de la biodegradabilidad

Para el ensayo de biodegradabilidad se tomó como referencia la norma ASTM D5338-15; en el cual se determina la biodegradación aeróbica del material plástico en un sistema respirométrico sometido a condiciones de compostaje controlado. En la presente investigación esta norma fue adaptada al esquema experimental, donde se ensayó la biodegradación de las muestras.

El sistema respirométrico contó con reactores que fueron frascos de vidrio de 100mL, en cada frasco se colocó 15g de compost con 70% de humedad y 1g de muestra a biodegradar (picados en trozos de 5mm x 5mm), además se preparó reactores con control positivo (celulosa - composta), control negativo (polietileno de baja densidad-composta) y blanco (solo composta); cada muestra tuvo tres repeticiones, contando en total con 12 reactores (Tabla 2). Los frascos fueron cerrados herméticamente usando tapones de goma y anillos de aluminio. Se controlaron las condiciones de temperatura, humedad y aeración, durante un periodo de 48 días (Jiménez, Vázquez and Álvarez 2018).

Tabla 2: Cantidad de reactores en el sistema espirométrico.

Table 2: Número de reactores en el sistema espirométrico

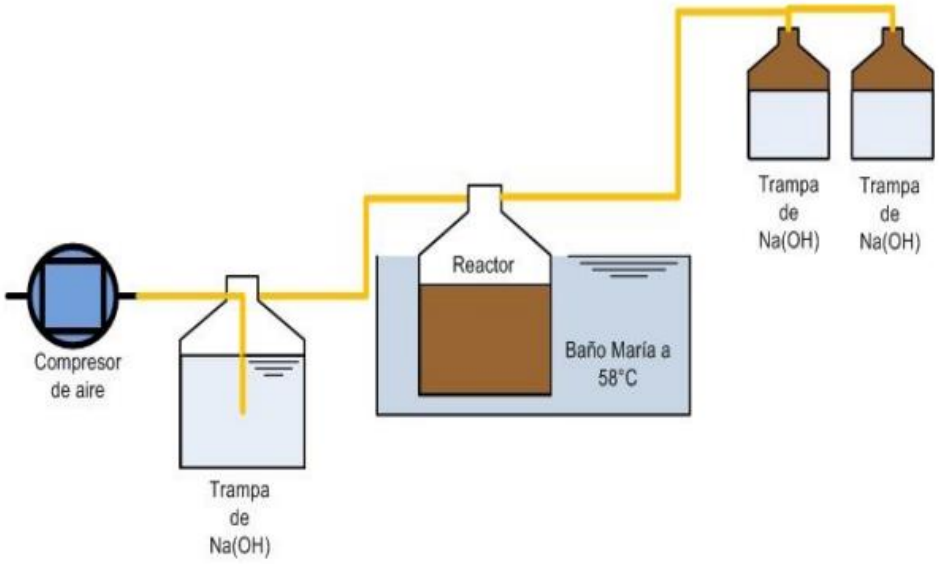
Reactores	Cantidad
Bioplato *	3
Celulosa - Papel Filtro Whatman.	3
PEBD (Polietileno de baja densidad)	3
Composta madura**	3

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

* Se eligió al bioplato (T2) que presentó mejor resultado en las pruebas mecánicas de tracción y módulo de elasticidad.
* * La composta fue hecha con gallinaza y tuvo seis meses de maduración, fue comprada en el distrito de Lurín, Lima.

Los reactores fueron dispuestos dentro de un equipo de baño maría que contenía agua destilada y se mantuvo a una temperatura de 58°C. Se usó un compresor para inyectar aire a una trampa de hidróxido de sodio (NaOH) al 0.25N que capturaba el dióxido de carbono (CO_2) del aire, después el aire libre de un compresor para inyectar aire a una trampa de hidróxido de sodio al 0.25N que capturaba el dióxido de carbono (CO_2) paso a los reactores donde se liberaba gases por efecto de la biodegradación, finalmente, usando agujas y catéter de 14 G, cada reactor tenía una conexión a dos frascos que contenían hidróxido de sodio (NaOH) a 0.25N de 6mL para capturar el CO_2 generado (Figura 1 y 2), el cual fue cuantificado mediante titulación usando ácido clorhídrico a 0.5N y empleando fenolftaleína como indicador de color (Jimenes, Vázquez and Álvarez 2018).

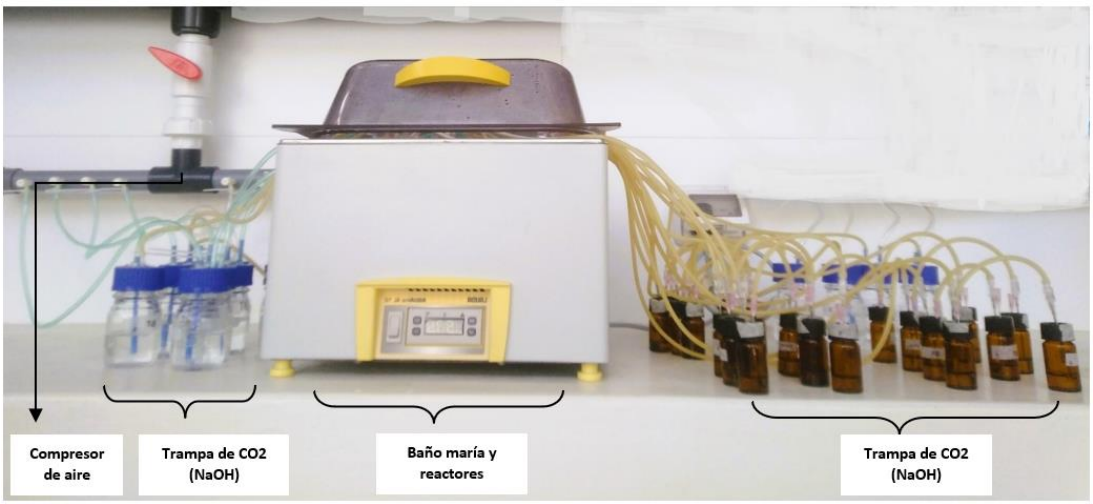
Figura 1: Representación del sistema respirométrico.
Figure 1: Representation of the respirometric system.



Fuente: Jimenes, Vázquez and Álvarez (2018).

Figura 2: Sistema respirométrico en el laboratorio.
Figure 2: Respirometric system in the laboratory.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis



Análisis estadístico

Los datos del ensayo mecánico (tracción y módulo de elasticidad) fueron evaluados estadísticamente usando el programa SPSS versión 20.1. Se inició con la prueba de normalidad empleando el test Shapiro-wilks; cuando los datos presentaron comportamiento normal, luego se procedió con el análisis de varianza ANOVA y finalmente prueba post hoc HSD de Tukey al 95% de nivel de significancia (Lopes et al. 2021). Los gráficos se realizaron usando el programa GraphPad Prism 8.0.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elaboración de bioplatos

Se elaboraron los bioplatos mediante la técnica de termo-compresión. La matriz presenta un color blanquecino transparente y los platos a los que se les agregó partículas de cacao muestran un color marrón tal como se observa en la figura 3; mientras se agrega más partículas de cacao el color se torna más oscuro, esto a causa de que el color natural de las partículas lignocelulosas del cacao son de color marrón.

Figura. 3: Platos biodegradables: Matriz (0% cacao), T1 (5% cacao), T2 (10% cacao) y T3 (15%cacao)
Figure. 3: Biodegradable plates: Matrix (0% cocoa), T1 (5%), T2 (10%) and T3 (15%)



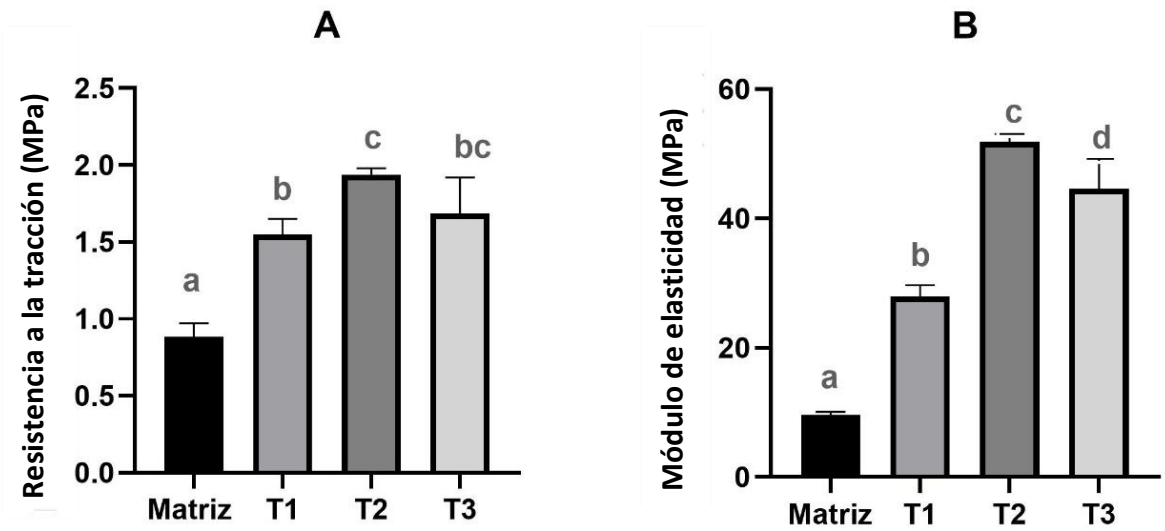
Ensayo de resistencia a la tracción y módulo de elasticidad

En la figura 4A se presentan los resultados de la resistencia a la tracción realizadas sobre los

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

bioplatos: matriz, T1, T2 y T3, con valores 0.89 MPa, 1.54 MPa, 1.95 MPa y 1.68 MPa respectivamente; siendo el valor más alto para T2. Así mismo, en la figura 4B se muestran los resultados del módulo de elasticidad con valores de 9.59 MPa, 27.99 MPa, 51.88 MPa y 44.58 MPa, donde el mayor valor corresponde a T2. Este estudio encontró que la incorporación de partículas de cacao mejora las propiedades de tracción, así mismo, mejora las propiedades de módulo de elasticidad, todos los tratamientos que tienen refuerzo de partículas de cacao son significativamente diferentes respecto a la matriz. Cabe señal que el componente principal de los bio platos es el almidón, ya que las propiedades del almidón son adecuadas para la elaboración de este producto. Al incrementar el porcentaje de incorporación de cascara de cacao de 5% a 10% se ven resultados positivos, sin embargo, al seguir aumentando de 10% a 15% se observa que los ensayos mecánicos de tracción y elongación se ven desfavorecidos; esto permitió identificar hasta qué punto es conveniente incorporar la cascar de cacao en la elaboración del bio plato mediante la técnica de termocompresión.

Figura 4: Ensayos de tracción (A) y módulo de elasticidad (B).
Figure 4: Tensile (A) and modulus of elasticity (B) tests



Según la prueba de Tukey ($p < 0.05$) las distintas letras en las barras indica que son significativamente diferentes.

Meza (2016) quien elaboró un polímero hecho a base de almidón de papa y realizó ensayo de tracción, utilizando la misma técnica empleado para el presente estudio, reportó una resistencia a la tracción máxima de 1.48MPa, el cual es superior al resultado de la matriz, pero inferior a los tratamientos que contienen refuerzo de partículas de cacao (T1, T2 y T3). Por otro lado, Barrios et al. (2015) presentaron ensayos de tracción en biocompósitos elaborados a base de almidón de yuca y reforzado con las partículas de madera de fresno en proporciones de sustitución de 5%, 10% y 20%, donde se encontró que la resistencia a la tracción presentan valores entre 5MPa a 7 MPa, siendo el valor más alto para el biocompósito con mayor proporción de partículas de madera fresno (20% de sustitución), es decir que el uso de fibras lignocelulósicas mejora los resultados mecánico del almidón termoplástico. Sin embargo, los valores de resistencia a la tracción obtenidos en el presente estudio son bajos en comparación a los reportado por Barrios, lo cual puede deberse a que Barrios empleó una prensa hidráulica especializada con presión de 180bar en la elaboración de sus biocompósito, mientras que en el presente estudio se intentó simular las condiciones de la prensa de manera rústica utilizando pesas y piedras con un peso

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

total de 24k, haciendo una presión máxima de 24 bar.

Por otro lado, Chariguamán (2015) evaluó bioplástico hecho con almidón de maíz/yuca reforzada con albedo de maracuyá, encontrando valores de módulos de elasticidad que van desde 0.64 MPa hasta 2.23 MPa, además señaló que, a mayor incorporación de glicerol en la formulación para elaborar bioplástico, se obtiene mayores valores de módulo de elasticidad. Sin embrago, los resultados presentados por Chariguamán son bajos en comparación a los obtenidos en el presente estudio.

Gonçalves et al. (2021) elaboraron películas biodegradables incorporando genipina en el almidón, donde tuvieron resultados de resistencia a la tracción de 15MPa a 6MPa y el módulo de elasticidad varió de 1757MPa a 403 MPa. Según lo reportado, la incorporación de genipina disminuyó las propiedades mecánicas de tracción y módulo de elasticidad la película; sin embargo, también midieron la propiedad mecánica de alargamiento a la rotura el cual fue incrementando en relación con la incorporación de genipina. Asimismo, Lopes et al. (2021) quienes evaluaron una película biodegradable incorporando fenólicos de cáscara de papa en el almidón, mostraron que a mayor incorporación de fenólicos se disminuye las propiedades de resistencia a la tracción y módulo de elasticidad, pero se incrementa el valor de alargamiento a la rotura. Esos resultados son adecuados para películas biodegradables o también llamadas "films". Sin embargo, en este estudio se elaboraron bioplatos en los que es preferible obtener incrementos en resistencia a la tracción y módulo de elasticidad. De acuerdo con los resultados mecánicos, la incorporación de partículas de cacao mejora la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad de los bioplatos analizados, lo cual es favorable para la elaboración de estos productos.

Biodegradación

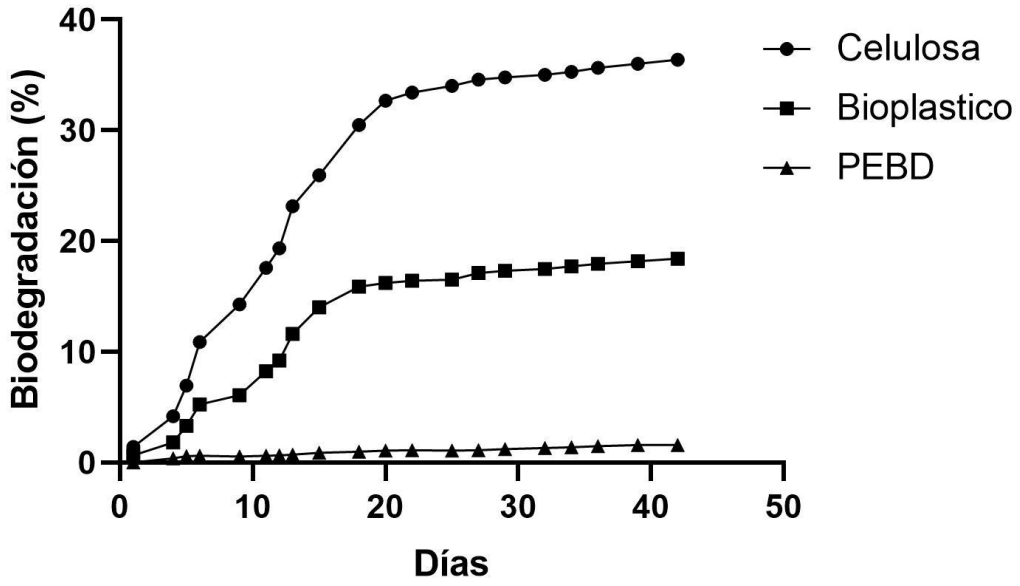
La figura 5 muestra los porcentajes de biodegradación de la celulosa, bioplato y PEBD evaluados durante 42 días. Los resultados indican una tasa de biodegradación de 36.40% en la celulosa, 18.43% en el bioplato y 1.58% en el PEBD, lo cual evidencia que tanto la celulosa como el bioplato tuvieron una biodegradación notoria; sin embargo, el PEBD mostró una biodegradación baja.

Al respecto, Vázquez et al. (2018) emplearon la misma metodología para determinar la biodegradabilidad de celulosa y bioplástico, donde reportaron una tasa de biodegradación de 15.31% en la celulosa y 6.4% en el bioplástico, los cuales son menores comparados al presente estudio; esto a pesar de que el tiempo de evaluación fue de 48 días. Así mismo, Saravia (2012) mostró que en 74 días la celulosa se degradó en un 37% y el bioplástico se degradó en un 0.7%. Por otro lado, Castellani et al. (2016) reportaron que en tan sólo 20 días el bioplástico pude degradarse en un 80% y la celulosa alrededor del 45%, mostrando un resultado donde los bioplásticos llegan a ser degradados más rápido que la celulosa, y concluyen que la velocidad de biodegradación está determinada por la composición de carbono (C) y nitrógeno (N) del material. Es decir, que la biomasa al tener una relación C/N más baja es degradada con mayor rapidez.

Así mismo se considera que una de las razones por las que existe esta variabilidad de resultados es por el tipo de suelo o composta utilizado como inóculo. Harrison et al. (2018) señalan que es un desafío llegar a un consenso respecto a la evaluación de los desechos de biodegradación plástica en entornos naturales, considerando la alta variabilidad de las condiciones químicas y físicas en un lugar.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 5: porcentaje de biodegradación.
Figure 5: percentage of biodegradation.



El sistema de biodegradación del bioplato simula un ambiente de compostaje, ya que se empleó composta madura procedente del distrito de Lurín. Si el bioplato tiene como destino final parar en el medio ambiente natural, el periodo de degradación puede variar según el tipo de suelo o las condiciones fisicoquímicas del ecosistema donde haya quedado abandonado; sin embargo, su impacto seguirá siendo mucho menor en comparación al plástico sintético, ya que se demostró que este bioplato tiene mayor tasa de biodegradación. Según Ilyas et al. (2018) la biodegradación es una técnica eficiente y respetuosa con el medio ambiente, ya que permite la eliminación de los residuos minimizando la contaminación. Por ello, se espera que este tipo de productos biodegradables puedan ser compostados o biodegradados de alguna manera para aportar nutrientes a las plantas y así minimizar sus impactos ambientales.

CONCLUSIONES

Mediante la técnica de termo-compresión se elaboraron bioplatos de almidón de yuca reforzados con partículas de cáscara de cacao. La incorporación de fibras lignocelulósicas correspondientes a la cáscara de cacao, mejoraron las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad) de los bioplatos. Todos los tratamientos que tienen porcentaje de partículas de cacao son significativamente diferentes respecto a la matriz el cual contiene 0% cacao; donde los valores de tracción varían entre 0.89 MPa y 1.95 MPa, mientras que los valores de módulo de elasticidad varían de 9.59MPa y 51.88MPa; siendo el valor más alto para el bioplato con 10% de cacao (T2). Esto es muy importante, porque al remplazar un porcentaje de almidón usando como insumo un residuo agrícola, se crea un producto más amigable con el medio ambiente.

En el sistema respirométrico, el cual simula un contexto de compostaje, se comprobó la biodegradación del bioplato, logrando un 18.43% de degradación en tan solo 42 días. Se espera que estos platos terminen siendo compostados para aportar nutrientes a las plantas; y aunque

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

terminen en el medio ambiente natural serán biodegradados por los microorganismos presentes en el ecosistema, generando un menor impacto en comparación a los plásticos sintéticos.

El bioplato elaborado soporta alimentos secos y calientes, se recomienda hacer estudios más detallados para comprobar otras propiedades como la resistencia los líquidos o alimentos húmedos.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores no presentan conflictos de intereses.

REFERENCIAS

Ali, S., Elsamanhy, T., Al-Tohamy, R., Zhu, D., Mahmound, Y., Koutra, E., Metwally, M., Kornaros, M., and Sun, J. 2021. Plastic wastes biodegradation: Mechanisms, challenges and future prospects. Science of The Total Environment. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146590.

Alvarez-Chavez,C., Edwars, S., Moure-Eraso, R., and Geiser, K. 2012. Sustainability of bio-based plastics: General comparative analysis and recommendation for improvement. Journal of cleaner production, 23 (1): 47-56. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.003

Aristizábal, J. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 163. Obtenido de https://core.ac.uk/download/pdf/47250396.pdf

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2015. Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Controlled Composting Conditions, Incorporating Thermophilic Temperatures, ASTM Int. West Conshohocken, PA

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2021. "Standard specification for woven wire test sieves". Obtenido de: https://www.astm.org/e0011-22.html

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2010. ASTM D 638-10. Standard test method for tensile properties of plastics. Book of Standards Volume: 08.01. West Conshohocken, PA, USA.

Barrios, A., Salvador, E., Manrríquez, R., Rivera, J., and Lomelí, M. 2015. Compósitos biodegradables elaborados a partir de almidón termoplástico y partículas de madera de fresno. Revista Mexicana de ciencias forestales. 6(28):26-41.

Castellani, F., Esposito A., Stanzione V. and Altieri, R. 2016. Measuring the Biodegradability of Plastic Polymers in Olive-Mill Waste Compost with an Experimental Apparatus. Advances in Materials Science and Engineering. https://doi.org/10.1155/2016/6909283

Franco, M., Ramirez, M., Salvador, García, R., Bernal, M., Espinosa, B., Solis, J. and Durán, C. 2010. Aprovechamiento integral de la pulpa y cáscara del fruto del cacaotero: Obtención de pectina. Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias, 1 (2):45-66.

Chapple, S. and R. Anandjiwala. 2010. Flammability of natural fiber-reinforced composites and strategies for fire retardancy: a review. Journal of Thermoplastic Composite Materials 23: 871-893.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Chariguamán, J. 2015. Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis spp.).* recuperado de: https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/06a5dc04-9bc7-4253-a0ad-30c4c6c160be/content

Garcia, J. and Robertson, M.L., 2017. The future of plastics recycling. Science 358 (6365): 870–872. https://doi.org/10.1126/science.aaq0324.

Geyer, R., Jambeck, J. and Law, K.L. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. Sci. Adv. 3 (7), e1700782. https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782.

Glukhikh, V., Buryndin1, V., Artyemov, A., Savinovskih., A. Krivonogov, P. and Krivonogova, A. (2020). Plastics: physical-and-mechanical properties and biodegradable potential. DOI: http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-149-154

Gomes, A., Mendes, C., and Ricardo, N. 2005. Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented cassava starch (*polvilho azedo*). Carbohydrate Polymers. 60:1-6. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.11.016

Gonçalves I.,Hernández D., Cruz C., Lopes J., Barra A., Nunes C., Lopes J.,Ferreira P. and Coimbra M. 2021. Relevance of genipin networking on rheological, physical, and mechanical properties of starch-based formulations. Carbohydrate Polymers. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117236

Harrison, J.P., Boardman, C., O'Callaghan, K., Delort, A. and Song, J. 2018. Biodegradability standards for carrier bags and plastic films in aquatic environments: A critical review. R. Soc. Open Sci. 5 (5), 171792.https://doi.org/10.1098/rsos.171792

Ilyas, M., Ahmad, W., Khan, H., Yousaf, S., Khan, K. and Nazir, S. 2018. Plastic waste as a significant threat to environment - A systematic literature review. Rev. Environ. Health. https://doi.org/10.1515/reveh-2017-0035

Jimenes, I.; Vázquez, A. and Álvarez, J. 2018. Diseño y construcción de un sistema respiro métrico a escala para evaluar la degradación de plásticos. Rev. Los residuos como recurso. 11 (1)

Lopes J., Goncalvez I., Nuñes C., Teixeira B., Mendez R., Ferreira P. and Coimbra M. 2021. Potato peel phenolics as additives for developing active starch-based films with potential to pack smoked fish fillets. Food Packaging and Shelf Life. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100644

López Cuadra, Y. M., Cunias Rodríguez, M. and Carrasco Vega, Y. L. 2020. El cacao peruano y su impacto en la economía nacional. Universidad y Sociedad, 12(3): 344-352.

Lu, F., Rodriguez, J., and Van, I. 2018. Valorisation strategies for cocoa pod husk and its fractions. Current Opinionin Green and Sustainable Chemistry. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.07.007

Maldonado, A. 2012. La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá.

Meza, P. 2016. Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio. Facultad De Ciencias, 103.

Montalvo, L. A. 2007. Plásticos industriales y su procesamiento, (El Cid Edi; P. E. Central, ed.)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

National Geographic. 2018. Fast facts about plastic pollution. Recuperado de: https://www.nationalgeographic.com/science/article/plastics-facts-infographics-ocean-pollution

Organización de las Naciones Unidas – ONU. 2017. Oceans: Marine pollution. Recuperado de: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/22331/SDG_Brief_001_MarPollution.pdf?sequence=1&isAllowed=yf

Pastor-Soplín, S., Velásquez. D., and Rivas E. 2022. Utilización de los recursos genéticos en un país que es centro de origen: el caso del cacao en el Perú. Revista peruana de biología 29(3): e22018 001 - 012 (Noviembre 2022). doi: https://dx.doi.org/10.15381/rpb. v29i4.22018

Ravindran, R., and Jaiswal, A. 2016. Exploitation of food industry waste for high-value producto. Trends in Biotechnology, 34(1): 58-69. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.10.008

Ruiz, G. 2006. Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. Redalyc, 5-27

Saraiva, A., Costa, R., Carvalho, L., and Duarte, E. 2012. The use of biodegradable mulch films in muskmelon crop production. Basic Res. J. Agric. Sci. Rev. 1: 88–95.

Schnurr, R. E. J., Alboiu, V., Chaudhary, M., Corbett, R. A., Quanz, M. E., Sankar, K., Srain, H. S., Thavarajah, V., Xanthos, D., and Walker, T. R. 2018. Reducing marine pollution from single-use plastics (SUPs): A review. Mar Pollut Bull 137, 157–171

Tekman, M. B., Walther, B. A., Peter, C., Gutow, L. and Bergmann, M. 2022. Impacts of plastic pollution in the oceans on marine species, biodiversity and ecosystems, 1–221, WWF Germany, Berlin. Doi: 10.5281/zenodo.5898684

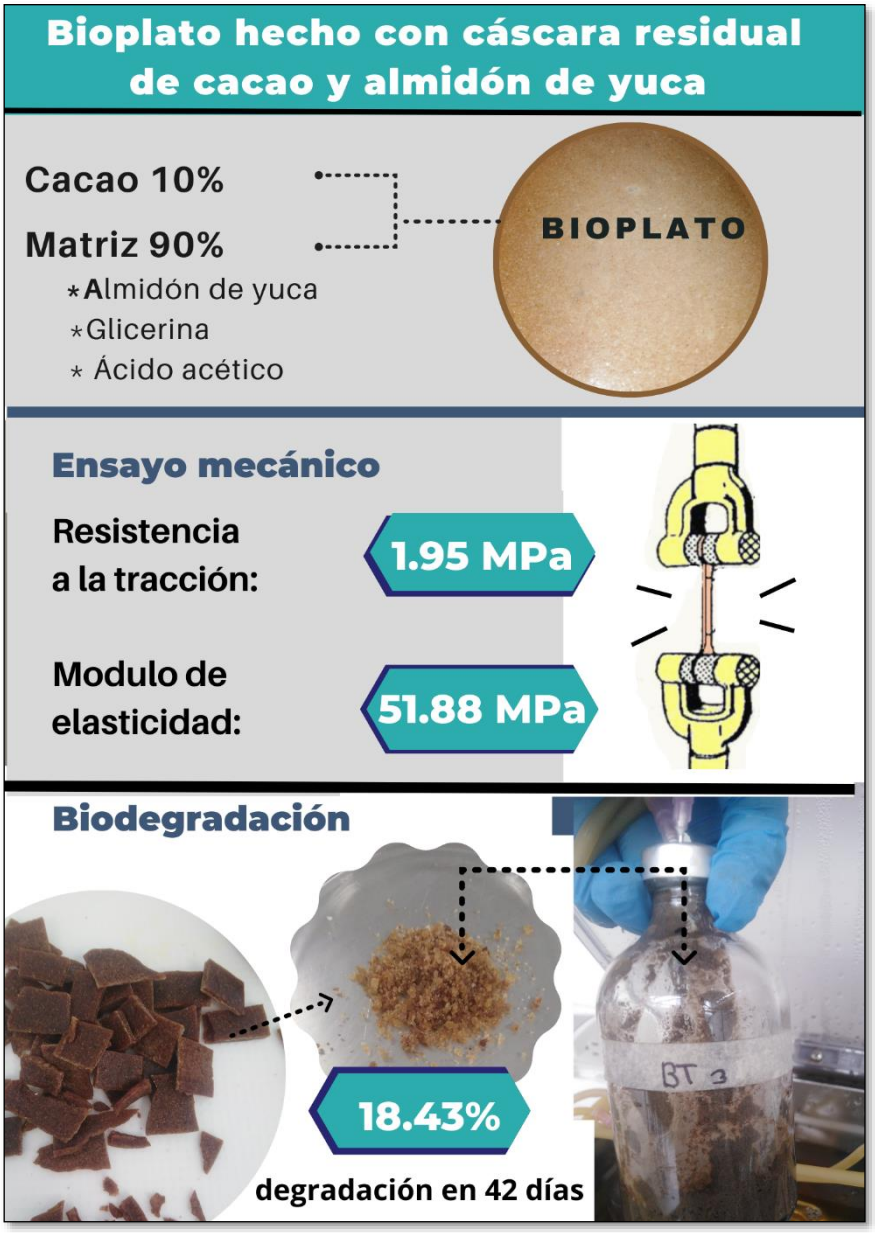
Trujllo, C. 2014. Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (Manihot esculenta Crantz) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos. Obtenido de http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/65/004-2-1-013.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).2022. Marine pollution from sunken vessels. Recuperado de: file:///C:/Users/cesar/Downloads/marine_plastic_pollution_issues_brief_nov21%20(1).pdf

World Economic Forum 2020. Plastics, the Circular Economy and Global Trade. Optenido de https://www3.weforum.org/docs/WEF_Plastics_the_Circular_Economy_and_Global_Trade_2020.pdf

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Gráfico explicativo de los resultados del proyecto de investigación



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ANEXO: Registro fotográfico

Etapa 1: Preparación de las partículas de cáscara de cacao

1 Cáscara de mazorca de cacao



2 Cortar en trozos la cáscara de cacao







Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

3 Secar en estufa (50 ºC/ 72 h)



4 Moler y tamizar (300 a 500µm)





Etapa 2: Elaboración del bioplato

1 Insumos



Partícula de cáscara de cacao



Almidón de yuca



Glicerina



Ácido acético

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

2 Mezclar los insumos



3 Incorporar la mezcla en el molde de acero



4 Llevar el molde de acero a la estufa



Temperatura: 150 °C

Tiempo: Una (1) hora

Peso: 24 kg



5 Dejar enfriar el molde y retirar el bioplato





Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Etapa 3: Ensayo de tracción y elongación

Máquina de ensayo universal Zwick Roell Z050





Etapa 4: Ensayo de biodegradabilidad



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°104-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTÍFICA.

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 15 de junio de 2020

VISTO:
El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Producción de platos biodegradables a partir de la cáscara residual del cacao (*Theobroma cacao* l.) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) Lima, Perú**, presentado por:

- **Ohaira Ricra Chavez**

CONSIDERANDO:
Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniera Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:
Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Producción de platos biodegradables a partir de la cáscara residual del cacao (*Theobroma cacao* l.) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) Lima, Perú** con N° de registro: **454-2019-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Oscar Reategui Arevalo** como asesor para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese.

Documento firmado digitalmente
Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental

Constancia de envío a la revista científica “Ecología Austral”:

