

Biodegradable plates based on Pituca starch and Cocoa shell: Physical-mechanical characteristics and degradability

Jeferson Tantarico, Ing.¹, Meliza Lindsay Rojas, Dr.², Sandra Pagador, M.Sc.³, Alexander Vega, Dr.⁴, Leslie Lescano, M.Sc.⁵, Jesús Sanchez-Gonzalez, M.Sc.⁵, Guillermo Linares, Dr.^{5,*}

¹Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Universidad César Vallejo, Perú, jtantarrico@gmail.com

²Dirección de Investigación y Desarrollo, Universidad Privada del Norte, Perú, meliza.rojas@upn.edu.pe

³Instituto de Investigación en Ciencias y Tecnología, Universidad César Vallejo, Perú, spagador@ucv.edu.pe

⁴Departamento de Ingeniería de Materiales, Universidad Nacional de Trujillo, Perú

⁵Departamento de Ciencias Agroindustriales, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, llescano@unitru.edu.pe, jsanchezg@unitru.edu.pe, glinares@unitru.edu.pe

*Corresponding author

Abstract- In the present study, biodegradable plates were made based on pituca starch with partial replacement by cocoa shell flour. The plates were processed using different formulations of cocoa shell (0%-15%, w/w) then their physical-mechanical characteristics (humidity, color, density, water absorption capacity and mechanical resistance) and degradation were evaluated. The substitution of pituca starch for cocoa shell generated a brown color with less luminosity, and water absorption capacity, compared to the control. It was found that, by adding more fiber, the density and humidity decreased. In addition, the formulation with 10% substitution presented higher mechanical resistance. Finally, the plates presented a low rate of degradation by microorganisms and fungi in a period of 40 days, however, using the substitution treatments, an increase of up to 9% in the percentage of degradation was obtained. It is recommended to apply the plates to make trays and study their application in the storage of fruits and/or vegetables.

Keywords—biodegradable plates; Colocasia esculenta; Theobroma cacao L; starch.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.112>

ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

Planchas biodegradables a base de almidón de Pituca y cáscara de Cacao: Características físico-mecánicas y degradabilidad.

Jeferson Tantarico, Ing.¹, Meliza Lindsay Rojas, Dr.², Sandra Pagador, M.Sc.³, Alexander Vega, Dr.⁴, Leslie Lescano, M.Sc.⁵, Jesús Sanchez-Gonzalez, M.Sc.⁵, Guillermo Linares, Dr.^{5,*}

¹Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Universidad César Vallejo, Perú, jtantarrico@gmail.com

²Dirección de Investigación y Desarrollo, Universidad Privada del Norte, Perú, meliza.rojas@upn.edu.pe

³Instituto de Investigación en Ciencias y Tecnología, Universidad César Vallejo, Perú, spagador@ucv.edu.pe

⁴Departamento de Ingeniería de Materiales, Universidad Nacional de Trujillo, Perú

⁵Departamento de Ciencias Agroindustriales, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, llescano@unitru.edu.pe, jsanchezg@unitru.edu.pe, glinares@unitru.edu.pe

*Corresponding author

Resumen- En el presente estudio se elaboró planchas biodegradables a base de almidón de pituca con sustitución parcial por harina de cáscara de cacao. Las planchas se procesaron empleando diferentes formulaciones de cáscara de cacao (0% - 15%, p/p) después se evaluaron sus características físico-mecánicas (humedad, color, densidad, capacidad de absorción de agua y resistencia mecánica) y de degradación. La sustitución de almidón de pituca por cáscara de cacao generó un color marrón con menor luminosidad, y capacidad de absorción de agua, comparados con el control. Se encontró que, al agregar más fibra, disminuye la densidad y humedad. Además, la formulación con 10% de sustitución presentó mayor resistencia mecánica. Finalmente, las planchas presentaron baja tasa de degradación por microorganismos y hongos en un periodo de 40 días, sin embargo, empleando los tratamientos de sustitución se obtuvo un incremento de hasta 9% en el porcentaje de degradación. Se recomienda aplicar las planchas para elaborar bandejas y estudiar su aplicación en el almacenamiento de frutas y/o vegetales.

Palabras Clave-- planchas biodegradables; *Colocasia esculenta*; *Theobroma cacao L*; almidón.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los residuos plásticos se han convertido en un problema de contaminación ambiental, afectando a todos los seres vivos de planeta [1], es así que los materiales biodegradables respetuosos con el medio ambiente están teniendo cada vez mayor aceptación conforme ha ido pasando el tiempo [2]. Esta es la razón por lo que actualmente se está profundizando estudios académicos, como tecnológicos, en el sector de envases y embalajes descubriendo nuevas alternativas de bioplásticos de origen natural y cualidades de biodegradabilidad en condiciones controlables, de las cuales el almidón es el componente comúnmente utilizado [3].

Los biopolímeros son hechos a partir de almidón por su bajo costo de comercialización y biodegradabilidad [4]. La biodegradación es un proceso natural y complejo que es realizado por mecanismos bioquímicos metabolizados por microorganismos como hongos, levaduras y bacterias, para ser transformados en compuesto orgánicos, minerales simples que

serán restituido al medio ambiente a través del ciclo de carbono, nitrógeno y azufre [5].

La pituca (*Colocasia esculenta*) es un tubérculo que se produce en diferentes países. En Perú, se produce mayormente en las regiones de Amazonas, Cajamarca y Puno [6]. Aunque también se encuentra en otras regiones, como es el caso del departamento de San Martín. Los cormos de pituca son utilizados mayormente para consumo humano y alimentación de animales, en Perú aún no existe un aprovechamiento industrial. Este alimento está constituido mayoritariamente por almidón contiene amilopectina 75% y amilosa un 25% [7][8].

La amilosa de la pituca posee propiedades de resistencia y elasticidad estable, en condiciones ambientales a pesar de ello, no se encuentra registros que se haya utilizado almidón de pituca para hacer planchas biodegradables.

Las bandejas hechas a partir de almidón, son débiles por naturaleza en función a la intensidad de interacción entre las cadenas de amilopectina y amilosa [9][10]. Esto conduce a un comportamiento mecánico frágil de las bandejas, limitado su utilización en alimentos de bajo porcentaje de humedad.

La utilización de fibras en polímeros de almidón es importante ya que reduce la rigidez y mejora la biodegradabilidad en espumas elaboradas [11]. La reutilización de los residuos agroindustriales como la celulosa es abundante en todas las regiones del Perú, la caña de azúcar contiene celulosa entre 45-50%, la peladilla de espárrago tiene aproximadamente 20-25% de celulosa [12], así como otros muchos residuos que contienen celulosa como es el caso del cacao (*Theobroma cacao L.*) [13].

El Perú tiene una producción 87,3 mil toneladas de semilla de cacao [14]. El proceso de industrialización del cacao produce grandes cantidades de residuos como la cáscara, 74-86% del peso del fruto fresco [15]. La cáscara de cacao contiene entre sus componentes 27% de celulosa [16], la que podría ser utilizada.

Contribuyendo a la reducción de la contaminación del medio ambiente, se propone esta investigación con el fin de elaborar bandejas biodegradables teniendo como materias primas el almidón de pituca y la fibra de la cáscara de cacao.

[17]. En antecedentes de investigación se demuestra que la utilización de entre 5 y 10% (p/p) de fibras en la elaboración de bandejas biodegradables, se obtienen resultados de aprovechamiento de 100%, mientras las bandejas producidas con el 15 y 20% (p/p) tenían bajo rendimiento de producción con una pérdida de 25% de las bandejas [4, 19-21]. En este contexto la presente investigación se plantea el siguiente problema: ¿Cuál es el efecto de sustitución de almidón de pituca por cáscara de cacao en las características mecánicas, físicas y de degradación de bandejas biodegradables?

Para esto, se elaboró planchas biodegradables con diferentes sustituciones de almidón Pituca por cáscara de cacao. A continuación, se determinaron las características físicas y mecánicas de las planchas biodegradables. Finalmente, se determinó la degradación por microorganismos de las planchas elaboradas, considerando, la norma ASTM D 5488-94.

II. METODOLOGÍA

A. Diseño de investigación

Se desarrolló un diseño experimental completamente al azar, con una muestra control y tres tratamientos, por triplicado. La variable independiente está representada los tres tratamientos de sustitución de almidón de pituca por cáscara de cacao en la elaboración de Planchas biodegradables mediante Termoprensado. Este experimento está diseñado en base a investigaciones previas [18].

B. Flujo del proceso de extracción de almidón de pituca.

El flujo del proceso se describe en la Fig. 1.

Recepción y Selección. Las muestras de Pituca (*Colocasia esculenta*), fueron extraídas del fundo AGRIVERSA, cosechados a 9 meses de la siembra (30 kg), proveniente del distrito de Barranquita, provincia de Lamas, Región de San Martín.

Pelado. Se retiró la cáscara de manera manual, utilizando un cuchillo de acero inoxidable teniendo en cuenta de extraer toda la impureza. Posteriormente se procedió con el **Lavado 1**, empleando abundante agua potable.

Cortado. Se cortó en cubos de un 1 cm por lado, para facilitar el licuado.

Lavado 2. Los cubos son sumergidos en una solución de bisulfito de sodio en una concentración de 2000 ppm en una relación de 1:3 (p/v), dejándolo por un tiempo de 30 minutos, después se desechó el agua.

Triturado. Se trituró por un minuto en la licuadora de marca Oster de 0.25HP, a 250 rpm.

Tamizado. Se tamizó la lechada en una malla de n° 80, repitiendo 3 veces el proceso, mezclando la masa de afrecho obtenida con agua en relación 1:1 (p/v).

Sedimentación 1. La lechada previamente tamizada se dejó sedimentar por 24 horas a 4°C.

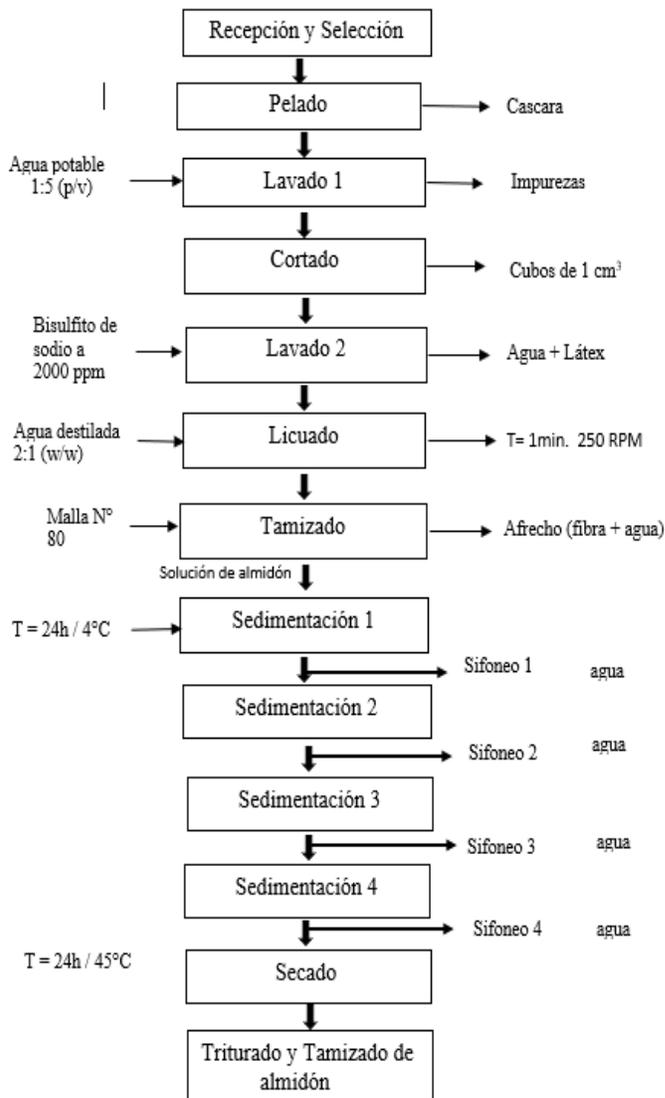


Fig. 1 Flujo del proceso de obtención de almidón de "pituca"

Sedimentación 2,3,4. A partir de la segunda sedimentación el tiempo para sedimentar fue de 12 horas a 4°C.

Sifoneo. Se extrajo el sobre nadante del proceso de la sedimentación, con una manguera transparente de 1m de largo. Luego se lavó lo sedimentado en una relación 1:2 (v/v agua)

Secado. El almidón sedimentado se secó en una estufa a 45°C por 24 horas.

Triturado y Tamizado. Una vez terminado el proceso de secado del almidón, se trituró en un triturador (WARING Commercial Laboratory Blender motor de 0.40 HP), a 22 000 rpm por 30 s. Y se tamizó en malla N° 80 para obtener homogeneidad de partículas.

C. Flujoograma de procesos de extracción de harina de cáscara de cacao

El flujoograma de proceso se describe en la Fig. 2.

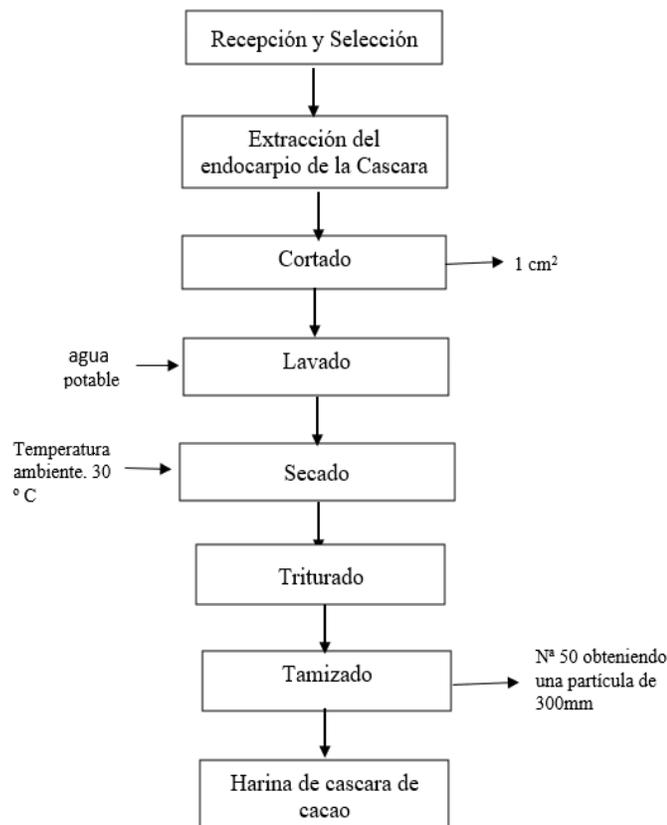


Fig. 2 Flujoograma de Proceso de obtención de harina de cáscara de cacao.

Recepción y Selección. Las cáscaras fueron extraídas del fundo AGRIVERSA, se obtuvieron 15 kilogramos de cáscara de cacao, proveniente del distrito de Barranquita, Provincia de Lamas, Región de San Martín, el proceso de selección fue no mayor a 2 días de la cosecha.

Extracción del endocarpio. De manera manual se extrajo el endocarpio de la cáscara de cacao utilizando una cuchara de acero inoxidable.

Cortado. Se cortó en cuadrados de un 1 cm por lado, para facilitar el secado

Lavado. Los cuadrados son sumergidos en una solución de bisulfito de sodio en una concentración de 50 ppm en una

relación de 1:2(p/v), dejándolo por un tiempo de 10 minutos, después se desechó el agua

Secado. Se dejó secar a temperatura ambiente hasta obtener una humedad de 10 %

Triturado. Se utilizó el mismo triturador a 22 000 rpm por 30 s.

Tamizado. Se tamizó la harina de cacao utilizando una malla de N° 50 con la finalidad de obtener uniformidad en la harina de la cáscara de cacao

D. Flujoograma de procesos de elaboración de planchas biodegradables de almidón de pituca y cáscara de cacao

TABLA I
Diseño experimental de un solo factor

Formula	Almidón Pituca (%)	Cáscara Cacao (%)	Goma guar. (%)	Estearato de Mg (%)	Agua (%)	Glic. (%)	Masa.(g)
Control	100	0	1	1	70	15	20
F. 5	95	5	1	1	70	15	20
F. 10	90	10	1	1	70	15	20
F. 15	85	15	1	1	70	15	20

Fuente. Modelo propuesto por [4]. Adaptado y modificado

El proceso de Elaboración de planchas biodegradables siguió la formulación establecida en la Tabla I, realizando un proceso de mezcla simple, para posteriormente proceder al proceso de termoprensado, como se muestra en la Figura 3.

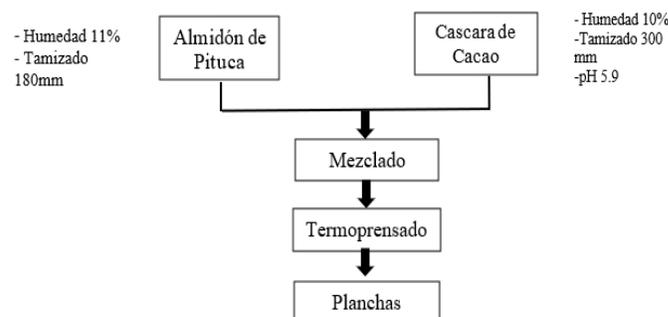


Fig. 3 Flujoograma de elaboración de planchas biodegradables.

La elaboración de las planchas de almidón de pituca se obtuvo con diferentes formulaciones, acoplado el método de investigación de [24]. El nivel de la cáscara de cacao se agregó de 0 a 15 %, todas las formulaciones se muestran en la Tabla I. Las espumas se hicieron mezclando las cantidades

indicadas de almidón, cáscara de cacao, agua, goma guar, estearato de magnesio. Se mezcló el almidón, fibra y el agua por 5 min, pasado este tiempo se agregó la glicerina y se amasó por 5 min obteniendo una masa homogénea de 35 gramos aproximadamente y humedad de 40%, se llevó a una laminadora de hierro fundido 16 cm de diámetro de fabricación Vitoria. Obteniendo una lámina de 2.028 mm a 2.131 mm de espesor, a continuación, se colocaron en un horno Binder (mufla) a una temperatura de 250 °C por 8 min.

E. Métodos y Técnica de Recolección de datos

1) Determinación de densidad

Se calculó utilizando la metodología propuesta por [19] y modificada por [5]. Las pruebas de la densidad se realizaron cortando 10 tiras rectangulares de 100 mm por 25 mm se pesó cada muestra (g) y el volumen (cm³) se calculó multiplicando el largo, ancho y el espesor. La densidad reportada es el promedio de las 10 muestras de cada tratamiento.

2) Determinación de humedad

La humedad se determinó utilizando el método por secado en estufa [20] se pesó la placa Petri (pp), luego se pesó 5 gramos de muestra (M), dejando 3 h en la estufa a 105 °C luego se retiró y se pesó la muestra seca (ps). La humedad reportada es el promedio de tres repeticiones de cada tratamiento.

$$\% \text{ humedad} = \frac{P1 - P2}{M} \quad (1)$$

Donde:

pp + M = P1

pp + ps = P2

M = Muestra

ps. = Peso de la Muestra seca

pp = Peso de placa Petri

3) Determinación de capacidad de absorción de agua

La capacidad de absorción de agua se determinó de acuerdo a la norma [21], corregida por [22]. Los análisis de absorción de agua se determinaron cortando rectángulos de (25 mm x 50 mm) se pesaron y se sumergieron en agua destilada durante 30 s. La cantidad de agua absorbida se calculó como la diferencia de peso y se expresó como masa de agua absorbida por masa de la muestra inicial. Los valores reportados es el promedio de las cinco muestras obtenidas para cada formulación.

4) Determinación de Solubilidad en agua

La solubilidad en agua se determinó con la metodología utilizada por [23] modificada por [24]. Las muestras se cortaron en forma rectangular de 40 mm x 20 mm, se pesaron, luego fueron acondicionadas en vasos de precipitación de 100 ml agregando 50 ml de agua destilada. Las muestras fueron agitadas lentamente a 20 °C por 24h, se eliminó el agua y las muestras fueron secados en una estufa a 105 °C por 24 horas,

luego se pesó obteniendo el peso final no solubilizado, la solubilidad se determinó con la siguiente formula (2).

$$\% \text{Solubilidad} = \left(1 - \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \right) \times 100 \quad (2)$$

5) Determinación de Color

Para determinar el color de las planchas, se utilizó el colorímetro (CR-400 Measuring Head, konica Minolta) mediante la escala de color CIE Lab (L*, a*, b*). Los resultados de color de las planchas se obtuvieron sobre una superficie blanca con coordenadas. Se realizaron 8 mediciones por formulación. Para definir la diferencia de color total, se empleó la siguiente formula.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (3)$$

Donde:

L* = 0 (negro) y 100 (blanco)

a* = -80 a 0 = verde → 0 a 100 = rojo

b* = -100 a 0 = azul → 0 a 100 = amarillo

ΔE = diferencia de color de la formulación

6) Determinación de dureza

La textura instrumental se evaluó aplicando un test de compresibilidad utilizando un texturómetro (TA-HDplus, UK). Un probe esférico de acero inoxidable (P/0.25S) se utilizó para provocar la ruptura de la muestra a una velocidad de 1 mm/s y a una distancia de 3mm hasta provocar la ruptura de la muestra. La dureza se obtuvo determinando el valor del máximo pico de la curva de fuerza de compresión (N) vs el tiempo (s). Se realizaron al menos 3 repeticiones para cada tratamiento.

7) Determinación de degradación en planchas.

La degradación de las planchas se realizó de acuerdo [25], modificada por [24]. Las planchas se cortaron de 60 mm por 40 mm, luego se excavo un hoyo de 20 x 20 cm y 15 cm profundidad, se tomaron fotos para la cuantificación del área utilizando el programa de ImageJ v1.8.0, luego cada muestra se dejó al fondo del hoyo. La caracterización fisicoquímica del suelo, como humedad, pH, materia orgánica, textura, se realizaron en el laboratorio de suelos de la universidad Cesar Vallejo.

El tiempo de degradación se determinó por (American society for Testing and Material ASTM D 5488-944), los resultados climatológicos de temperatura, humedad relativa, índices ultravioletas (UV) y precipitación, se monitoreo con el servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, de manera conjunta con el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), durante 40 días. Se recopiló los análisis a través de imágenes fotográficas cada 5 días con el objetivo de que no se vea interrumpido el proceso de degradación de las planchas.

E. Métodos de análisis de datos

El análisis de varianza (ANOVA), y la prueba de Tukey para comparar la proporción de fibra que se añadió a cada formulación de las bandejas ($p \leq 0.05$) se realizaron mediante el software Statistica v.16.0 (Statsoft®, EE.UU). Se analizó estadísticamente los resultados de las variables dependientes: características físico-mecánicas (dureza, densidad, color, Humedad, absorción de agua) y degradación de planchas biodegradables.

III. RESULTADOS

A. Espesor y densidad de plancha de almidón de pituca y cáscara de cacao.

Los resultados de espesor de las planchas de almidón de pituca y cáscara de cacao se presentan en la Tabla II. Todos los tratamientos tienen un promedio de espesor de 2.028 a 2.131 mm, en paralelo se presenta el promedio de la densidad 0.078 a 0.083 $g \cdot cm^{-3}$.

TABLA II

Espesor y densidad en planchas biodegradables de almidón de pituca y cáscara de cacao.

Formulación	Almidón (%)	Espesor (mm)	Densidad ($g \cdot cm^{-3}$)
Control	100	1.936 ± 0.030a	0.092 ± 0.006a
F 5	95	1.939 ± 0.057a	0.086 ± 0.003a
F 10	90	1.981 ± 0.089a	0.086 ± 0.006a
F 15	85	2.105 ± 0.039b	0.077 ± 0.004b

Los resultados son el promedio de 5 repeticiones ± desviación estándar. Nota. Las letras minúsculas iguales en la columna indican que no hay diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las medias de la prueba de Tukey.

B. Humedad y capacidad de absorción de agua (WAC) de las Planchas

La humedad y la capacidad de absorción de agua de las planchas elaboradas con almidón de pituca y cáscara de cacao se muestran en la Tabla III. Las planchas tuvieron en promedio de 9.215 a 11.302 % de humedad, mientras que la absorción de agua varió de 0.312 a 0.372 (g agua/g m.s).

TABLA III

Determinación de humedad y WAC (g agua/g m.s)

Formulación	Almidón (%)	Humedad (%)	WAC (g agua/g m.s)
Control	100	11.302 ± 0.70a	0.372 ± 0.07a
F 5	95	10.116 ± 0.78a	0.350 ± 0.03a
F 10	90	9.422 ± 3.41a	0.312 ± 0.05a
F 15	85	9.215 ± 0.64a	0.314 ± 0.06a

Nota. Los resultados obtenidos es el promedio de 3 repeticiones para humedad y 5 para absorción de agua WAC realizadas a cada formulación ± desviación estándar. Las letras minúsculas iguales en la columna indican que no hay diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las medias de la prueba de Tukey.

C. Color de las planchas biodegradables.

La Tabla IV muestra los resultados de Colorimetría de las planchas elaborados con almidón de pituca y cáscara de cacao.

TABLA IV
Resultados de color

Formulación	L*	a*	b*	ΔE
Control	61.58 ± 0.984a	5.71 ± 0.315a	15.42 ± 0.773a	20.189 ± 1.10
F 5	54.76 ± 1.878 b	7.35 ± 0.834ac	17.69 ± 0.602b	26.181 ± 2.926
F 10	48.35 ± 1.398 c	8.11 ± 0.346b	17.06 ± 0.481bcd	33.693 ± 1.816
F 15	42.93 ± 1.889d	9.21 ± 0.494c	16.33 ± 0.702d	36.111 ± 1.596

Los resultados de color es el promedio de 8 repeticiones ± desviación estándar. Nota. Letras iguales en las columnas indican que no hay diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las medias de la prueba de Tukey.

D. Dureza en las planchas de almidón de pituca y cáscara de cacao.

Los resultados presentados en la Tabla V, muestran la dureza de las planchas elaborados con almidón de pituca y cáscara de cacao, varían de 33.034 a 22.027 N.

TABLA V
Propiedades mecánicas

Formulación	Almidón %	Dureza (N)
Control	100	22.027 ± 6.505a
F 5	95	33.148 ± 9.526b
F 10	90	36.034 ± 1.796b
F 15	85	23.054 ± 2.078a

Los resultados de color es el promedio de 4 repeticiones ± desviación estándar. Nota. Letras iguales en las columnas indican que no hay diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las medias de la prueba de Tukey.

E. Determinación de la degradación de planchas elaboradas con almidón de pituca y cáscara de cacao.

Los resultados presentados en la Fig. 4 muestran el porcentaje del área degradada con respecto al área inicial, durante los 40 días de evaluación. Se muestra los resultados de área degradada como el promedio de 3 repeticiones ± desviación estándar (barras verticales).

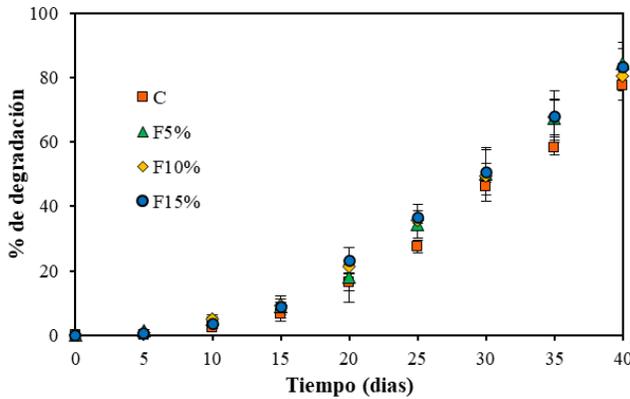


Fig. 4 Evolución del porcentaje de degradación del área inicial a lo largo del tiempo de estudio (40 días).

IV. DISCUSIÓN

La extracción del almidón de la pituca se dió por vía húmeda obteniendo un rendimiento 36 % de almidón de *Colocasia esculenta*, mayor al obtenido por [8], quienes obtuvieron 32% de rendimiento.

Los resultados estadísticos de la Tabla II, demuestran que, al aumentar la cáscara de cacao en la formulación, se incrementa el espesor de las planchas. El incremento del espesor es similar a lo reportado por [24], en la prueba de Tukey ≤ 0.05 , encontramos que existe diferencia significativa entre la (F5% y F10%) con respecto a la F15% de las planchas. Adicionalmente, en la misma tabla se observa una disminución de la densidad con respecto al incremento de la cáscara de cacao, las planchas elaboradas con el 100% de almidón de pituca presentan mayor densidad (0.092 g/cm^3) con respecto a la formulación del 15% que presenta 0.077 g/cm^3 . Esto fue similar a la investigación realizada por [5] quienes reportaron una disminución de la densidad al incrementar hasta un 20% de fibra en la elaboración de espumas.

En la Tabla III, se muestran los porcentajes de humedad obtenidos al incrementarse la cáscara de cacao. Otros autores afirmaron que el incremento de la humedad en espumas elaboradas al 100% de almidón tiene propiedades hidrofílicas, confirmando los resultados obtenidos en el porcentaje de humedad de la muestra control al 100% de almidón de pituca. En cuanto a la capacidad de absorción de agua (WAC), las planchas elaboradas al 100% de almidón de pituca absorbieron más agua ($0.37 \text{ g. agua/gm.s}$) que las planchas que fueron elaboradas con cáscara de cacao al 5%, 10%, 15%. Esto tiene relación con lo reportado previamente, donde la formulación que contiene mayor cantidad de almidón absorbe más agua [26]. Por lo que, es esperado que el porcentaje de humedad de las muestras vaya disminuyendo con el incremento de la cáscara de cacao en la formulación. Por otro lado, también fue reportado una disminución WAC de las formulaciones con 20 %, 30%, 40%, de incremento de fibra de peladilla de esparrago [23]. El mismo efecto fue observado con las

sustituciones de cáscara de cacao debido al mayor contenido de fibra.

La Tabla IV presenta los resultados de color (L^* , a^* y b^*), se observó que existe variación significativa al incrementar el porcentaje de la cáscara de cacao. La adición de fibra en la formulación generó una reducción del valor L^* , paralelamente se produce un incremento de ΔE . En estudios previos se ha reportado que al agregarse fibra en formulaciones de sustituciones de almidón disminuyó la luminosidad de los compositos y aumentó el índice a^* y b^* [27][28]. Probablemente, el compuesto de lignina que se encuentra en la fibra de cacao genera el color marrón a las planchas de almidón de pituca, lo cual disminuye el valor L^* del tratamiento control. Por otro lado, los valores de a^* y b^* fueron 5.71 y 15.42, respectivamente en la muestra control, los cuales aumentaron al aumentar los porcentajes de sustitución. Esto puede ser explicado por reacciones durante el proceso de elaboración, por ejemplo, los carbohidratos reaccionan a altas temperaturas ($200 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatura del molde) ocasionando un oscurecimiento como la reacción de Maillard y la caramelización. Varios autores han reportados esta reacciones [24][23][5].

La resistencia a la ruptura de las planchas con cáscara de cacao y almidón de pituca se muestra en la Tabla V. La resistencia de la muestra control fue de 22.027 N , la cual con adición de la cáscara de cacao incrementó la resistencia a la ruptura de las planchas en el tratamiento (5% y 10%). Cabe señalar que la adición de fibra abundante en celulosa a la formulación polimérica mejora las propiedades mecánicas por ende el incremento en la dureza de bandejas [29]. Sin embargo, se observó una disminución de la resistencia en el tratamiento F15%, esto puede deberse a que, con este nivel de fibra, las interacciones entre la fibra y almidón fueron débiles.

Respecto al proceso de degradación, en el intervinieron factores como: La temperatura, pH, humedad, índice UV. Los resultados obtenidos del análisis de suelo 8.23% de humedad, 8.10 pH ligeramente alcalino, favoreció al crecimiento de hongos y microorganismos presentes en el suelo que contribuyeron en la biodegradación de las planchas [25]. Los resultados obtenidos SENAMHI del clima durante 40 días de evaluación la temperatura indujo a la reacción química e inhibición de la tasa de crecimiento de microorganismos, el favorable efecto de irradiación UV intervinieron en la demora de oxidación de las moléculas poliméricas y el incremento del tiempo de biodegradación.

El porcentaje de área degradada fue mostrada en la Fig. 4, donde se observó que los primeros 15 días fueron básicamente una etapa de adaptación de los microorganismos y hongos. Mientras que en los siguientes días de evaluación se observó un incremento exponencial en el área degradada. Al aumentar el periodo de degradación, se observó un aumento de oxidación de las planchas tonándose más oscuras. A partir del día 35 se observó también unas leves rajaduras en los costados, especialmente en los tratamientos de 10% y 15%. En general, estos tratamientos fueron los que presentaron

ligeramente un mayor porcentaje de degradación al finalizar el periodo de evaluación, probablemente debido a la presencia de mayor contenido de fibra.

V. CONCLUSIONES

La sustitución de la cáscara de cacao en la elaboración de planchas biodegradables en este estudio tuvo un efecto positivo teniendo buena apariencia física, expansión apropiada y estructura homogénea del almidón de pituca y cáscara de cacao. De todas las formulaciones evaluadas, la F10% es la que presenta adecuadas propiedades físico-mecánicas, como densidad, WAC y especialmente buena resistencia mecánica.

Considerando que al finalizar esta investigación las planchas no quedaron degradadas al cien por ciento, las planchas que presentaron mayor área de degradación en el día 40 fueron las que en su estructura contenían más cáscara de cacao (F10% y F15%), comparadas con la muestra control que fueron 100 % de almidón de pituca. Se recomienda evaluar la aplicación de las planchas biodegradables para elaborar bandejas que sean ensayadas en procesos reales, como en el envasado de frutas.

VI. REFERENCIAS

[1] D. Pimente, Chuquilin, Katherine y Piscocya Valdivieso, "Expectativas del uso de Evases Bioplasticos para incursionar a nuevos mercados por las empresas frutícolas exportadoras," Universidad Nacional de Pedro Ruiz Gallo., 2017.

[2] T. K. Artun Sukan, Ipsita Roy, "Agro-Industrial Waste Materials as Substrates for the Production of Poly(3-Hydroxybutyric Acid)," *J. Biomater. Nanobiotechnol.*, vol. 5, pp. 229–240, 2014.

[3] M. Lopez, Gil Alberto, Belluci, F. S. Ardanuy Raso, Monica y Rodriguez Perez, "Almidon termoplastico celular reforzado con fibras naturales una opcion biodegradable para el envasado de alimentos," *Cienc. y Tecnol. Polim.*, vol. 104, pp. 115-125. 0034-8708., 2012.

[4] . Shirai y M. Grossmann M, Mali S, Yamashita F, Garcia P, Muller C, "Development of biodegradable flexible films of starch and poly(lactic acid) plasticized with adipate or citrate esters.," *ScienceDirect*, vol. 92, pp. 19–22, 2013.

[5] S. Mello y R.P.F. Mali, "Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch.," *ScienceDirect*, vol. 55, pp. 187–193, 2014.

[6] Minagri., *Producción Agrícola Y Ganadera. Sistema Integral de Estadística Agraria*. 2017.

[7] A. Morales, Francisco, "Fitogeografía e Industrialización del Almidón de Pituca (Colocasia Esculenta).," *Rev. PUCP*, vol. 1, pp. 97-117. 1016-9148, 2012.

[8] ramirez R. Rdriiguez, Rivadeneira Rodriguez, "Características fisicoquímicas, funcional y contenido fenólico de harina de malanga," *Cienc. y Mar*, vol. 15, pp. 37–47, 2011.

[9] G. de A. Jacometti, "Utilizacão de residuo fibroso do pseudocaule de bananeira na producao de badejas biodegradaveis deamido de mandioca por processo de termogem.," 2015.

[10] M. de. Beatriz, Marim y Oliveira, "Emprego de Bandejas Biodegradaveis de bagaco de mandioca e alcool polivilico como embalagem de alimentos.," *BBR-Biochemistry Biotechnol. Reports*, vol. 2, pp. 343–346, 2013.

[11] F. M. S. Vercelheze, A. Oliveira, A. Rezende, M. Muller, C. Yamashita, "Physical properties, photo- and biodegradation of baked foams based on cassava starch, sugrcane bagasse fibers and montmorillonite," *ScienceDirect*, vol. 21, pp. 266–274, 2013.

[12] P. Retto-Hernandez, M. L. Rojas, L. Lescano, J. Sanchez-Gonzalez, and G. Linares, "Lignocellulosic agroindustrial waste in Peru: Potential for bioethanol, energy, and reduction of CO2 emission," *Proc. LACCEI Int. Multi-conference Eng. Educ. Technol.*, no. July, pp. 29–31, 2020, doi: 10.18687/LACCEI2020.1.1.463.

[13] P. M. J. Soto, "Desarrollo del proceso de produccion de cascarilla de semillas de cacao en polvo destinado al consumo humano.," Universidad Simon Bolívar, 2012.

[14] Minagri, *Estudio del Cacao en el Peru y en el Mundo un Analisis se la producción y el comercio*. 2016.

[15] L. J. Villamizar, Jaime Arley René y Lopez Giraldo, "Cáscara de cacao fuente de polifenoles y fibra: simulación de una planta piloto para su extacción," *Dialnet*, vol. 22, pp. 75–83, 2017.

[16] L. Y. J. Torres, "Caracterización de biomasa lignocelulósica(Theobroma Cacao L) para su uso en la obtención de etanol por vía fermentativa.," Universidad Santo Tomas, 2016.

[17] S. P. Padron, Gmboa Gabriela y Arias Mrin, Eduardo Manuel. Romero Garcia, Jorge. Benavides Mendoza Adalberto. Zamora Rodriguez, Josefina. Garcia Rodriez, "Efecto de la cáscara de cacao en la obtencion de espumas de poliuretano para uso horticultura propiedades fisicas y de biodegradabilidad.," *J. Mex. Chem. Soc.*, vol. 48, pp. 156–164, 2004.

[18] D. Montgomery, *Diseños y Análisis Experimentos*. México, 2004.

[19] K. F. Shogren, R L Lawton j.w., Doane, w. M., Tiefenbacher, "Structure and morphology of baked starch foams," *Elsevier Sci. Ltd*, vol. 39, 1998.

[20] S. Nielsen, *Food Analysis Laboratory Manual*. Springer., Second. 2003.

[21] A. N. N. I. 535, *Papel e cartão - Determinação da capacidade de absorção de água - Método de Cobb*. Brasil, 1999.

[22] ABNT NBR NM ISO 535, *No*, Associação., vol. 2. 2011.

[23] R. P. E. Beltran, "Propiedades mecánicas, térmicas y físicas de bandejas hechas de almidón de oca (oxilis tuberrosa) incorporando fibra de residuos agroindustriales.," Universidad Nacional de Trujillo, 2017.

[24] C. X. J. Diaz, "Características y optimización de una bandeja biodegradable a partir Maíz, papa, soya y glicerol por el metodo de termoprensado.," Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, 2017.

[25] C. J. A. Chariguaman, "Caracterización de bioplastico de almidon elaborado por el metodo de casting reforzado eon albedo de maracuya (Passiflora edulis spp).," Escuela Agrícola Panamericana, 2015.

[26] S. Matsuda, Daniel K M y Verceheze, Ana E, S.Carvalho, Gizilene M. Yamashita, Fabio. Mali, "Baked foams of cassva starch and organically modified nanoclays," *Sci. Direct*, vol. 44, pp. 705–711, 2013.

[27] G. Assis, Jacometti, "Utizacão de residuo fibroso do pseudocaule de bananeira na produção de bandejas biodegradaveis de amido de mandioca por processo de termoformagem.," Universidade Estadual, 2015.

[28] A. y S. Stevens, E. S, Klamaczynski, "Starch-lignin foams.," *Polym. leetters*, vol. 4, 2010.

[29] J. A. Lopez, Gil Alberto y Rodriguez Perez, M.A. De Saja, "Strategies to improve the mechanical properties of starch- based materials: plasticization and natural fibers reinforcement," *SciELO*, vol. 24, pp. 36–42, 2014.