



# Características de las bandejas biodegradables de almidón de papa (*Solanum phureja*) reforzadas con maíz amarillo (*Zea mays* L.) y tocón de espárrago blanco (*Asparagus officinalis*)

Characteristics of biodegradable trays of potato (*Solanum phureja*) starch reinforced with yellow corn (*Zea mays* L.) and white asparagus (*Asparagus officinalis*) stump

📧 Cabrera-Guevara, Celestino<sup>1</sup>

📧 Diaz-Hidrogo, Yorly<sup>1</sup>

📧 Diaz-Diaz, Elmer<sup>1</sup>

📧 Gamboa-Alarcón, Pedro Wilfredo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Autónoma de Chota, Chota, Perú

**Recibido:** 31 Ago. 2022 | **Aceptado:** 28 Nov. 2022 | **Publicado:** 20 Ene. 2023

**Autor de correspondencia\*:** [pgamboa@unach.edu.pe](mailto:pgamboa@unach.edu.pe)

**Como citar este artículo:** Cabrera-Guevara, C., Diaz-Hidrogo, Y., Diaz-Diaz, E. & Gamboa-Alarcón, P. W. (2023). Características de las bandejas biodegradables de almidón de papa (*Solanum phureja*) reforzadas con maíz amarillo (*Zea mays* L.) y tocón de espárrago blanco (*Asparagus officinalis*). *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(1), e430. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.e430>

## RESUMEN

Las bandejas biodegradables buscan ser alternativas de solución a los problemas medioambientales originados por la acumulación de plásticos. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la adición de fibra de tocón de espárrago blanco y fibra de tusa de maíz amarillo en las propiedades mecánicas de bandejas biodegradables a base de almidón de papa. Se utilizaron tres relaciones de almidón/fibra (95/5; 90/10 y 85/15) y se evaluaron características físicas (espesor y densidad) y propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, elongación, fuerza y fracturamiento). Los resultados mostraron al tratamiento relación almidón/fibra de maíz de 85/15, como aquella que presentó una mejor expansión con fibras, resistencia a la tracción de 0,2132 MPa y elongación 1,58 %, así como resistencia a la prueba de dureza de 17,29 kg y 2,64 mm de fracturabilidad. Estos resultados obtenidos podrían evidenciar la alternativa al uso de bandejas de espuma de poliestireno.

**Palabras clave:** biopolímeros; envases biodegradables; pruebas de compresión, pruebas de tensión

## ABSTRACT

Biodegradable trays seek to be an alternative solution to the environmental problems caused by the accumulation of plastics. The objective of this work was to evaluate the effect of the addition of white asparagus stump fiber and yellow corn stover fiber on the mechanical properties of potato starch-based biodegradable trays. Three starch/fiber ratios (95/5; 90/10 and 85/15) were used and physical characteristics (thickness and density) and mechanical properties (tensile strength, elongation, strength and fracture) were evaluated. The results showed the 85/15 corn starch/fiber ratio treatment as the one that presented the best expansion with fibers, tensile strength of 0.2132 MPa and elongation of 1.58%, as well as resistance to the hardness test of 17.29 kg and 2.64 mm of fracturability. These results obtained could demonstrate the alternative to the use of polystyrene foam trays.

**Keywords:** biopolymers, biodegradable packaging, tensile testing, compression testing



## 1. INTRODUCCIÓN

La producción y uso de envases plásticos en la industria alimentaria ha aumentado significativamente en las últimas décadas, debido al aislamiento térmico que proveen a los productos que contiene. El principal envase utilizado son las bandejas de espuma a base de poliestireno (Chaireh et al., 2020), que tienen como principales ventajas: su bajo costo y fácil procesamiento, amplia aplicabilidad, alta resistencia mecánica, durabilidad, son ligeras, resistentes al agua y proporcionan un buen aislamiento térmico (Cabanillas et al., 2019). Sin embargo, son de material hidrófobo, evitan la rápida proliferación microbiana y tardan cientos de años en descomponerse, lo que hace que se acumule en la naturaleza y constituye un gran problema ambiental (Ferreira et al., 2020), por ser considerados residuos altamente contaminantes (Moghaddam Fard & Alkhansari, 2021).

Por tal motivo, diversas investigaciones buscan desarrollar envases biodegradables a base de biopolímeros, que tengan similares propiedades a los envases de plástico convencionales y puedan sustituirlos (Chaireh et al., 2020). El almidón se considera como un polímero potencial para la producción de bandejas biodegradables en una amplia variedad de condiciones ambientales; siendo su bajo costo, disponibilidad y fácil producción a partir de recursos renovables las principales ventajas para su uso (Aygün et al., 2017). Las bandejas se elaboran mediante la operación de termoformado de una mezcla de almidón, principalmente de yuca, papa, maíz y agua a altas temperaturas; la rápida evaporación del agua permite la expansión del almidón y toma de forma del molde del envase (Cabanillas et al., 2019).

Las bandejas a base de fuentes de almidón en comparación con envases derivados de petróleo poseen debilidades en sus propiedades mecánicas y sensibilidad al agua lo que dificulta su aplicación con fines comerciales (Chaireh et al., 2020). Por lo tanto, es necesario incorporar fibras vegetales que mejoren sus propiedades microestructurales, propiedades fisicoquímicas y mecánicas (Aygün et al., 2017) y permitan reducir la rigidez y capacidad de absorción de agua y aumentar la biodegradabilidad de los composites (Cabanillas et al., 2019). Las fibras con un mayor uso son: fibras obtenidas de Kraft, yute, lino, yuca, trigo, caña de azúcar y espárragos (Kaisangsri et al., 2014; Keya et al., 2019; Nagaraj et al., 2020). Por tal motivo, existe la necesidad de desarrollar investigaciones en la elaboración de bandejas biodegradables a base de almidones de residuos agroindustriales, que podrían ser una opción para la producción a nivel comercial (Cruz-Tirado et al., 2017).

En Perú existen subproductos de la actividad agrícola que tienen en su composición fibras y no tienen valoración agroindustrial; el espárrago (*Asparagus officinalis*), es uno de los principales cultivos agroindustriales (Ramos et al., 2020), tiene como principal subproducto el tocón, que no tiene uso comercial y representa el 13,18 % de merma en su producción (Ruiz Quispe, 2018). De igual forma, el maíz amarillo (*Zea mays* L.) es un cultivo ancestral que tiene entre sus principales residuos las tusas (mazorcas sin granos) a las que no se brinda un tratamiento adecuado y muchas veces son incinerada por no incorporar valor agregado para los agricultores, convirtiéndose en un problema para su manejo ambiental y disposición final (Sari et al., 2021).

Por lo antes mencionado, este trabajo busca desarrollar bandejas de espuma a base de almidón de papa amarilla con dos tipos de fibra, tocón de espárrago (FE) y fibra de tusa de maíz (FM), los cuales podrían ser una opción para mejorar las propiedades mecánicas de este tipo de envase, además de agregar valor y ayudar a ofrecer nuevas alternativas para el tratamiento de residuos en las empresas agroindustriales y las empresas de envasado de alimentos (Machado et al., 2020). En este sentido, se realizó una caracterización y comparación de las propiedades físicas y mecánicas de los envases biodegradables de almidón con fibra de tocón de espárrago y tusa de maíz.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materiales

Para la elaboración de las bandejas biodegradables se utilizó papa variedad amarilla (20% amilosa y 80% amilopectina) obtenida de la provincia de Chota, Cajamarca, la cual fue cortada en trozos de 0,5 cm por 1 cm y triturada en una licuadora industrial (Gastro Corp. Modelo: LAR – 04 de 4 litros de capacidad). La pasta de papa resultante se lavó y se filtró a través de tamices < 710  $\mu\text{m}$ . La suspensión líquida de almidón más agua se mantuvo a 10°C durante 24 horas, para recuperar el almidón.

Se descartó el sobrenadante líquido, la fracción de almidón resultante se lavó 3 veces por resuspensión en agua. Finalmente, se secó a 60°C durante 24 horas en una estufa BINDER, se molió y tamizó en bandeja de malla <500  $\mu\text{m}$  de abertura hasta obtener almidón nativo con tamaño de partícula aproximado (400 - 450  $\mu\text{m}$ ).

Para la obtención de fibras vegetales se utilizaron residuos agroindustriales tales como tocones de espárrago y tusas de maíz. Los tocones de espárrago se obtuvieron de la empresa Santa Sofía del Sur S.A. y las tusas de maíz provienen de descartes de agricultores del centro poblado de Cascajal, ambos de la provincia de Santa departamento de Ancash, los tocones fueron limpiados y cortados antes de ser secados (Secadora de bandejas THORR con capacidad de 20 kilos) a una temperatura de 80°C durante 6 horas. En el caso de las tusas de maíz se secaron naturalmente en campo. Los tocones y tusas secas se molieron por 30 minutos y se tamizaron (molino de martillos marca THORR) hasta obtener fibras con tamaño de partícula < 1000  $\mu\text{m}$ . El almidón y las fibras vegetales se extrajeron en el Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Santa.

### 2.2. Elaboración de las bandejas biodegradables

Las bandejas a base de almidón de papa y fibras vegetales de residuos agroindustriales fueron obtenidas utilizando distintas formulaciones en base a resultados previos (no publicados). El almidón y las fibras vegetales se mezclaron y una vez homogenizada la mezcla, se moldeó (Moldeadora Semi Neumática) utilizando una bandeja de acero inoxidable en forma de plato rectangular con medidas de 3 cm de alto, de largo de boca 21,5 cm, largo de fondo 17,5 cm, ancho 14,5 cm y distancia entre largo de boca y largo de fondo de 2 cm. El termo prensado lo realizamos a una temperatura de 150 °C por un tiempo de 20 minutos a una presión de 24 bar. Finalmente, las bandejas se acondicionaron durante 5 días a temperatura ambiente a una humedad relativa de 85%.

Para cada una de las pruebas se utilizó 5 ml de suero de leche y 2,5 g estearato de magnesio. Se determinaron 3 formulaciones en diferentes relaciones de almidón: fibra de 95:5; 90:10 y 85:15. Se realizaron 6 tratamientos diferentes más un tratamiento control que permitirá comparar el efecto de los porcentajes de fibras naturales añadidas con almidón de papa tal como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Componentes de la mezcla utilizada para elaborar bandejas biodegradables a partir de almidón de papa con fibras vegetales de tocones de espárrago y tusas de maíz*

Trat.	Relación Almidón/Fibra (g/g)	Agua (ml)	Glicerina (ml)	Estereato de Mg (g)	Suero de leche(ml)
Control	100/0	95	5	2,5	5
TE1	95/5	95	5	2,5	5
TE2	90/10	95	5	2,5	5
TE3	85/15	95	5	2,5	5
TM1	95/5	95	5	2,5	5
TM2	90/10	95	5	2,5	5
TM3	85/15	95	5	2,5	5

## 2.3. Caracterización

### Espesor

Para medir el espesor de las bandejas biodegradables utilizamos un vernier digital de acero inoxidable DC051 (0 - 150 mm). Los valores que reportamos fueron el promedio de 5 medidas tomadas a las bandejas construidas.

### Densidad

La densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) de cada muestra lo calculamos a partir de su masa (g) y volumen ( $\text{cm}^3$ ). Pesamos y multiplicamos las muestras (25 mm de ancho y 100 mm de largo) por sus dimensiones (espesor x ancho x largo) para calcular el volumen. Los valores que reportamos fueron el promedio de tres repeticiones para cada tratamiento.

### Propiedades mecánicas

Para el ensayo de tracción, fijamos en la base de la máquina muestras de bandejas regulares (cortadas desde la base de la bandeja) con dimensiones de 25 x 100 mm<sup>2</sup> con una separación de agarre inicial de 80 mm y una velocidad de cruceta de 2 mm s<sup>-1</sup> a simple romper. Registramos los valores de resistencia a la tracción (MPa) y deformación a la rotura (alargamiento, %). Los valores que reportamos fueron las medias de 3 repeticiones por cada tratamiento.

Las pruebas de compresión lo realizamos utilizando muestras cuadradas de 50 mm de lado. La resistencia a la punción y la fracturabilidad de bandejas se midieron utilizando un accesorio HDP/CFS y una sonda esférica de acero inoxidable P/0,25 S (TA. HD Plus analizador de textura). Se reportaron medias de 3 repeticiones por cada tratamiento.

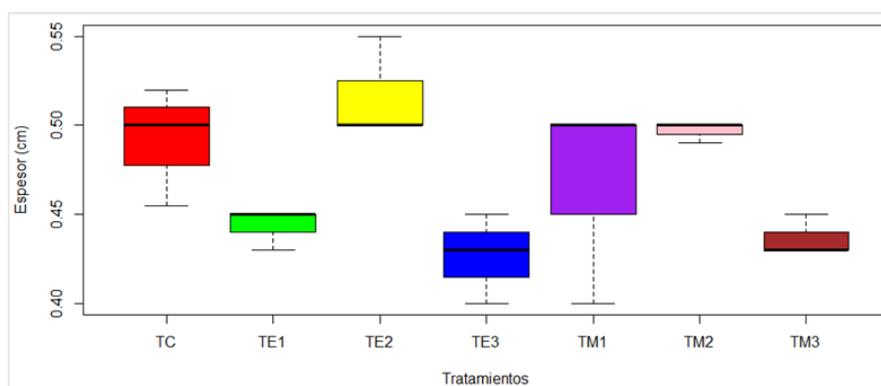
## 2.4. Análisis estadístico

Para determinar diferencias significativas entre los tratamientos, utilizamos el análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente la prueba de Tukey con un nivel de significancia establecido en  $p < 0,05$ . Los análisis lo realizamos en el software estadístico RStudio.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Propiedades físicas de las bandejas

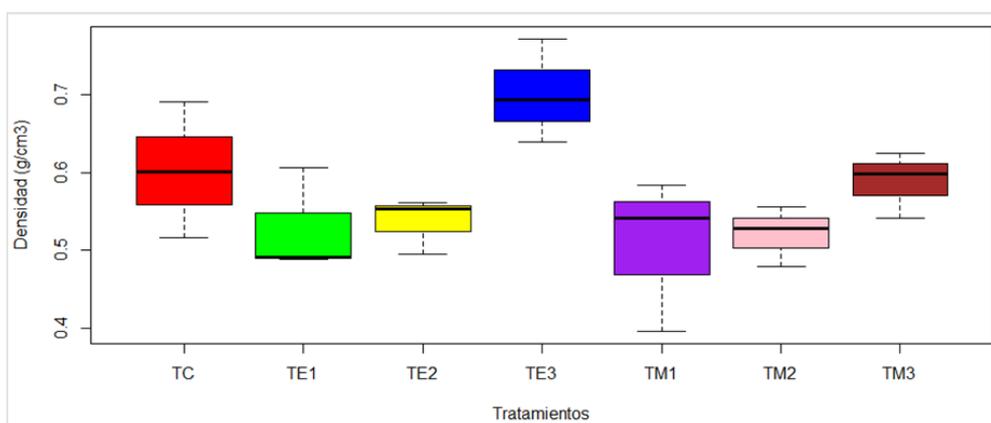
En la Figura 1 se muestra el diagrama del espesor de las bandejas biodegradables de almidón de papa con FM y FE, según corresponda. El espesor promedio de la bandeja de control fue de  $0,4917 \pm 0,0333$  cm; el espesor de las bandejas con FE osciló entre 0,43 y 0,55 cm y las bandejas con FM osciló entre 0,43 y 0,50 cm.



**Figura 1.** Diagrama de cajas del espesor de bandejas de almidón de papa

Según los resultados obtenidos, a pesar de obtener espesores menores a los del tratamiento de control, la incorporación de fibras no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (pruebas de Tukey,  $p < 0,05$ ) entre los diferentes tratamientos, esto concuerda con Ferreira et al. (2020) quienes elaboraron platos biodegradables con residuo agroindustrial bagazo de malta y determinaron que el contenido de fibra no afecta significativamente el espesor de las bandejas. De acuerdo al diagrama de cajas, la relación almidón/fibra de 85/15 presentaron la mejor incorporación de FT y FC, con valores promedio de  $0,4267 \pm 0,0252$  cm y  $0,4367 \pm 0,0115$  cm respectivamente. El tamaño de la fibra influye significativamente en el grosor de la bandeja (Cruz-Tirado et al., 2017), por tal motivo al usar fibra de tamaño 1,0 mm, esto genera disminución de la capacidad de espumación de la mezcla, generando bandejas con menor espesor (Soykeabkaew et al., 2015).

En la Figura 2 se puede observar la relación inversa entre la densidad obtenida y la cantidad de fibra adicionada en la elaboración de bandejas biodegradables a base de almidón de papa. Esta propiedad es una de las propiedades físicas más importantes en relación a la aplicación comercial, debido a que densidades bajas reducen los costos de producción de bandejas (Ferreira et al., 2020).



**Figura 2.** Diagrama de cajas de la densidad de bandejas de almidón de papa

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Figura 2, la menor densidad en la elaboración de bandejas de almidón de papa con FT y FC, lo obtuvimos en la relación almidón/fibra de 95/5, los valores promedio fueron de  $0,6030 \pm 0,0870$  g/cm<sup>3</sup> y  $0,5073 \pm 0,0987$  g/cm<sup>3</sup> respectivamente, lo cual se explica porque al añadir un componente que contenga fibra en su composición, en este caso FM y FE, existirá un punto a partir del cual su incremento podrá interferir en la capacidad de expansión de la mezcla durante el termoprensado (Cruz-Tirado et al., 2017), por lo tanto, se obtendrán bandejas biodegradables con mayor densidad (Kaisangsri et al., 2014).

### 3.2. Propiedades mecánicas

En la Tabla 2 se muestra los valores de las pruebas de tensión y compresión aplicadas a todos los tratamientos, las cuales son consideradas como una de las propiedades mecánicas más importantes al momento de comparar la aplicabilidad comercial de las bandejas de almidón con las bandejas de PE (Salgado et al., 2008).

**Tabla 2.**

Propiedades mecánicas de bandejas a base de almidón de papa con FT y TE

Tratamientos	Resistencia a la tracción (Mpa)	Elongación (%)	Dureza (kg)	Fracturabilidad (mm)
TC	0,1246 <sup>bc</sup>	1,3125 <sup>ab</sup>	22,07 <sup>a</sup>	2,33 <sup>a</sup>
TE1	0,1485 <sup>bc</sup>	1,3125 <sup>ab</sup>	19,5633 <sup>ab</sup>	2,69 <sup>a</sup>
TE2	0,1347 <sup>bc</sup>	1,2667 <sup>ab</sup>	18,5367 <sup>ab</sup>	1,8767 <sup>a</sup>

TE3	0,1173 <sup>c</sup>	1,1042 <sup>b</sup>	18,7533 <sup>ab</sup>	2,3867 <sup>a</sup>
TM1	0,1825 <sup>ab</sup>	1,2333 <sup>ab</sup>	14,4333 <sup>ab</sup>	2,4133 <sup>a</sup>
TM2	0,1870 <sup>ab</sup>	1,5 <sup>ab</sup>	17,1967 <sup>ab</sup>	2,3533 <sup>a</sup>
TM3	0,2132 <sup>a</sup>	1,5792 <sup>b</sup>	17,29 <sup>b</sup>	2,64 <sup>a</sup>

*Nota:* Los valores son la media  $\pm$  desviación estándar de 5 mediciones por muestra. Los diferentes tipos de letras en las mismas columnas indican las diferencias significativas (prueba de Tukey,  $p \leq 0,05$ )

El valor de la resistencia a la tracción para la bandeja de control (relación almidón/fibra de 100/10) de 0,1246 MPa tuvo diferentes tendencias según la fibra añadida en su proceso de elaboración. Para las bandejas elaboradas con FE, la relación almidón/fibra de 95/05 presentó un aumento de la resistencia a la tracción, por la presencia de fibra que proporciona una mayor resistencia del material compuesto (Asim et al., 2015; Hoyos Mireles et al., 2021). Sin embargo, en los tratamientos siguientes, donde se incrementó su porcentaje, se produjo una disminución en los valores de resistencia a la tracción, probablemente debido a la aglomeración y discontinuidad de las fibras en la matriz polimérica dificulta su expansión en el termoprensado debilitando la resistencia a la tracción de las bandejas (Cruz-Tirado et al., 2019; Cabanillas et al., 2019).

En cuanto a la resistencia a la tracción, al añadir un mayor porcentaje de fibra las bandejas con adición de FM tuvieron una disminución, mientras que las bandejas elaboradas a base de maíz presentaron un incremento. Asimismo, del análisis de prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ), se tuvo diferencias significativas entre los tratamientos y tratamiento de control.

La elongación indica la flexibilidad de la bandeja y la capacidad de estiramiento de las bandejas (Ferreira et al., 2019). El porcentaje de elongación de la bandeja de control fue 1,31%; esta propiedad fue mejor en el caso de la bandeja con FM cuyos valores estuvieron entre 1,23% y 1,58%, valores inferiores al poliestireno expandido comercial (2,82%) (Cabanillas et al., 2019). Las bandejas biodegradables añadidas con FE mostraron una disminución en el porcentaje de elongación por la incorporación de algunas fibras en bandejas biodegradables que producen un incremento del módulo de Young, y consecuentemente originan una menor capacidad elástica (Alvarado et al., 2015). En comparación con los resultados de la bandeja de control, los valores de elongación difirieron significativamente de los valores de las otras bandejas con fibra de maíz y del tratamiento TM3 de la bandeja con fibra de espárrago ( $p > 0,05$ ).

En cuanto al análisis de dureza, todas las bandejas elaboradas con FE y FM presentaron valores menores de dureza que la bandeja de control. El valor de dureza del tratamiento TM3 es el único tratamiento que tiene una disminución significativa según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Los envases que utilizaron FE obtuvieron valores superiores a los obtenidos con fibra de maíz. La variación de la resistencia a la dureza podría deberse a que la FM tiende a debilitar la cohesión de las estructuras de almidón, disminuyendo la expandibilidad y produciendo discontinuidad en la matriz polimérica (Cruz-Tirado et al., 2017; Velasquez Barreto & Bello-Pérez, 2021).

La prueba de fracturabilidad (mm) ayuda a evaluar la integridad de las bandejas durante el desplazamiento (Aguar Conya et al., 2020; Espina et al., 2016). En general para todos los tratamientos de bandejas elaboradas con FE y FM desfavorece el desplazamiento. Todas las bandejas de almidón biodegradables no presentan variaciones significativas ( $p \leq 0,05$ ) en las concentraciones determinadas en el presente estudio. El menor desplazamiento (mm) es notorio cuando se le incorpora fibra, lo que conlleva a daños en la integridad de las bandejas (Reis et al., 2018).

#### 4. CONCLUSIONES

La investigación desarrollada ha permitido evaluar la posibilidad de fabricación de bandejas biodegradables de almidón de papa con fibra de tocón de espárrago y fibra de tusa de maíz, ambos subproductos obtenidos de la producción agroindustrial en el Perú. La adición de fibras en diferentes relaciones almidón/fibra (95/5; 90/10; 85/15) ha permitido identificar que las bandejas elaboradas con fibra de tusa de maíz presentan una adecuada expansión con fibras homogéneamente distribuidas, resistencia a la elongación, mayor elongación, perforación y resistencias al fracturamiento, siendo el tratamiento TM3 (relación almidón/fibra de 85/15) la bandeja biodegradable que obtuvo una resistencia a la tracción de 0,2132 MPa y elongación 1,58%, así como resistencia a la prueba de dureza de 17,29 kg y 2,64 mm de fracturabilidad.

Los resultados permiten considerar a estas bandejas como potenciales envases de alimentos secos y alternativa al uso de bandejas de espuma de poliestireno. Para futuros trabajos, se debe ampliar el porcentaje de fibras de tusa de maíz y fibra de tocón de espárrago, y evaluar el comportamiento de las bandejas mediante estudios de vida útil, así como determinar la composición química de las fibras y envases biodegradables obtenidos.

#### FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue financiada por la Universidad Nacional Autónoma de Chota a través del contrato de ejecución de Proyecto de Investigación del V Concurso de Emprendimiento e Innovación Start Up N.º 001-2019-UNACH.

#### CONFLICTO DE INTERESES

El presente artículo no presenta conflicto de intereses.

#### CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Gamboa-Alarcón, P. W.: Conceptualización, curación de datos, metodología, validación.

Díaz-Díaz, E.: Análisis formal, adquisición de fondos, supervisión.

Díaz-Hidrogo, Y.: Investigación, software, visualización.

Cabrera-Guevara, C.: Administración del proyecto, recursos.

Díaz-Díaz, E., Díaz-Hidrogo, Y. & Cabrera-Guevara, C.: Redacción - borrador original, y redacción - revisión y edición.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar Conya, S. A., García Veloz, M. J., & Vallejo Abarca, S. M. (2020). Diseño y elaboración de utensilios biodegradables a partir de la fibra del tallo de banano (*Musa paradisiaca*) como alternativa de uso para mitigar impactos ambientales causados por el plástico. *Ciencia Digital*, 4(1), 373–384. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i1.1118>

Alvarado, S., Sandoval, G., Palos, I., Tellez, S., Aguirre-Loredo, Y., & Velazquez, G. (2015). The effect of relative humidity on tensile strength and water vapor permeability in chitosan, fish gelatin and transglutaminase edible films. *Food Science and Technology*, 35(4), 690–695. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6797>

Asim, M., Abdan, K., Jawaid, M., Nasir, M., Dashtizadeh, Z., Ishak, M. R., & Hoque, M. E. (2015). A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites. *International Journal of Polymer Science*, 2015, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2015/950567>

- Ayğün, A., Uslu, M. K., & Polat, S. (2017). Effects of Starch Sources and Supplementary Materials on Starch Based Foam Trays. *Journal of Polymers and the Environment*, 25(4), 1163–1174. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0886-0>
- Cabanillas, A., Nuñez, J., Cruz-Tirado, J., Vejarano, R., Tapia-Blácido, D. R., Arteaga, H., & Siche, R. (2019). Pineapple shell fiber as reinforcement in cassava starch foam trays. *Polymers and Polymer Composites*, 27(8), 496–506. <https://doi.org/10.1177/0967391119848187>
- Chaireh, S., Ngasatool, P., & Kaewtatip, K. (2020). Novel composite foam made from starch and water hyacinth with beeswax coating for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 1382–1391. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.007>
- Cruz-Tirado, J. P., Tapia-Blácido, D. R., & Siche, R. (2017). Influence of Proportion and Size of Sugarcane Bagasse Fiber on the Properties of Sweet Potato Starch Foams. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 225, 012180. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/225/1/012180>
- Cruz-Tirado, J. P., Vejarano, R., Tapia-Blácido, D. R., Barraza-Jáuregui, G., & Siche, R. (2019). Biodegradable foam tray based on starches isolated from different Peruvian species. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 800–807. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.111>
- Espina, M., Cruz-Tirado, J. P., & Siche, R. (2016). Mechanical properties of trays based on starch of native plant species and fiber of agroindustrial wastes. *Scientia Agropecuaria*, 07(02), 133–143. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.06>
- Ferreira, A., Martins, J., Carvalho, L. H., & Magalhães, F. D. (2019). Biosourced Disposable Trays Made of Brewer's Spent Grain and Potato Starch. *Polymers*, 11(5), 923. <https://doi.org/10.3390/polym11050923>
- Ferreira, D. C. M., Molina, G., & Pelissari, F. M. (2020). Biodegradable trays based on cassava starch blended with agroindustrial residues. *Composites Part B: Engineering*, 183, 107682. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107682>
- Hoyos Mireles, B. J., Cieza Díaz, E. del R., & Castro Medina, R. S. (2021). Ecological trays based on banana (*Musa paradisiaca*) and achira (*Canna indica*) leaf blades: Physical, mechanical and chemical characteristics. *Agroindustrial Science*, 11(1), 87–96. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.11>
- Kaisangsri, N., Kerdchoechuen, O., & Laohakunjit, N. (2014). Characterization of cassava starch based foam blended with plant proteins, kraft fiber, and palm oil. *Carbohydrate Polymers*, 110, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.067>
- Keya, K. N., Kona, N. A., Koly, F. A., Maraz, K. M., Islam, M. N., & Khan, R. A. (2019). Natural fiber reinforced polymer composites: history, types, advantages, and applications. *Materials Engineering Research*, 1(2), 69–87. <https://doi.org/10.25082/MER.2019.02.006>
- Machado, C. M., Benelli, P., & Tessaro, I. C. (2020). Study of interactions between cassava starch and peanut skin on biodegradable foams. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 1343–1353. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.098>
- Moghaddam Fard, P., & Alkhansari, M. G. (2021). Innovative fire and water insulation foam using recycled plastic bags and expanded polystyrene (EPS). *Construction and Building Materials*, 305, 124785. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124785>
- Nagaraj, C., Mishra, D., & Durga Prasad Reddy, J. (2020). Estimation of tensile properties of fabricated multi layered natural jute fiber reinforced E-glass composite material. *Materials Today: Proceedings*, 27, 1443–1448. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.864>

- Ramos, E., Provost, K., Calle, S., & Zavala, K. (2020). The impact of asparagus supply chain quality management: An empirical research from Peru. *International Journal of Supply Chain Management*, 9(1). <http://hdl.handle.net/10757/653827>
- Reis, M. O., Olivato, J. B., Bilck, A. P., Zanela, J., Grossmann, M. V. E., & Yamashita, F. (2018). Biodegradable trays of thermoplastic starch/poly (lactic acid) coated with beeswax. *Industrial Crops and Products*, 112, 481–487. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.045>
- Ruiz Quispe, G. F. (2018). *Propuesta de mejora de métodos de trabajo en el proceso de producción de espárrago verde fresco para incrementar la productividad de la asociación agrícola Comositán Alto* [Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/13349>
- Salgado, P. R., Schmidt, V. C., Molina Ortiz, S. E., Mauri, A. N., & Laurindo, J. B. (2008). Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fibers obtained by a baking process. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 435–443. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.005>
- Sari, R. M., Torres, F. G., Troncoso, O. P., De-la-Torre, G. E., & Gea, S. (2021). Analysis and availability of lignocellulosic wastes: Assessments for Indonesia and Peru. *Environmental Quality Management*, 30(4), 71–82. <https://doi.org/10.1002/tqem.21737>
- Soykeabkaew, N., Thanomsilp, C., & Suwantong, O. (2015). A review: Starch-based composite foams. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 78, 246–263. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.014>
- Velasquez Barreto, F. F., & Bello-Pérez, L. A. (2021). Chemical, Structural, Technological Properties and Applications of Andean Tuber Starches: A Review. *Food Reviews International*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1933022>