



# Bandejas biodegradables de almidón de papa con fibra de tocón de espárrago (*Asparagus officinalis* L.)

Biodegradable potato starch trays with asparagus (*Asparagus officinalis* L.) stump fiber

Diaz-Diaz, Elmer<sup>1</sup>

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

Diaz-Idrogo, Yorly<sup>1</sup>

Chumacero-Acosta, Julio Santiago<sup>1</sup>

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

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

**Recibido:** 31 Ago. 2022 | **Aceptado:** 02 Dic. 2022 | **Publicado:** 20 Ene. 2023

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

**Cómo citar este artículo:** Diaz-Diaz, E., Cabrera-Guevara, C., Diaz-Idrogo, Y., Chumacero-Acosta, J. S. & Gamboa-Alarcón, P. W. (2023). Bandejas biodegradables de almidón de papa con fibra de tocón de espárrago (*Asparagus officinalis* L.). *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 3(1), e429. <https://doi.org/10.51252/raa.v3i1.429>

## RESUMEN

Los envases biodegradables a base de almidón son una alternativa para disminuir la fracción de residuos sólidos urbanos originados por el uso de bandejas de poliestireno expandido, generalmente difíciles de biodegradarse. En el presente trabajo se ha investigado la obtención de una bandeja biodegradable de almidón de papa (A), fibra de tocones de espárrago (F) y glicerina (G), en un proceso de termoformado con presión de 24 bar a 150 °C por un tiempo de 20 minutos. Se empleó el Diseño de Mezclas Simplex Centroide para determinar las cantidades de los componentes en cada tratamiento. Las bandejas fueron caracterizadas mediante pruebas físicas (espesor y densidad) y pruebas mecánicas (fracturabilidad, dureza, resistencia a la tracción y porcentaje de elongación). Finalmente, mediante el uso de la función deseabilidad, se determinó que la mezcla óptima para la obtención de bandejas biodegradables fue la relación F/A de 85/6,89 y % G de 13,11%, que maximizó los valores de dureza (19,19 kg), fracturabilidad (9,09 mm), resistencia a la tracción (0,133 MPa) y porcentaje de elongación (2,998 mm).

**Palabras clave:** diseño de mezclas; envases termoformados; propiedades mecánicas

## ABSTRACT

Starch-based biodegradable containers are an alternative to reduce the fraction of urban solid waste originated by the use of expanded polystyrene trays, which are generally difficult to biodegrade. In the present work, the obtaining of a biodegradable tray made of potato starch (A), asparagus stump fiber (F) and glycerin (G) was investigated in a thermoforming process with a pressure of 24 bar at 150 °C for a time of 20 minutes. Simplex Centroid Mixture Design was used to determine the amounts of the components in each treatment. The trays were characterized by physical tests (thickness and density) and mechanical tests (fracturability, hardness, tensile strength and elongation percentage). Finally, using the desirability function, it was determined that the optimum mixture for obtaining biodegradable trays was the F/A ratio of 85/6.89 and % G of 13.11 %, which maximized the values of hardness (19.19 kg), fracturability (9.09 mm), tensile strength (0.133 MPa) and elongation percentage (2.998 mm).

**Keywords:** mix design; thermoformed trays; mechanical properties



## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el principal envase utilizado para contener productos alimenticios es el poliestireno expandido (PEE), material que tiene como principales propiedades: ser aislante térmico, resistente a la humedad, ligero, moldeable y barato. Sin embargo, al ser un producto derivado de petróleo, genera problemas medioambientales relacionados al deterioro de los paisajes por su resistencia a la biodegradabilidad, generalmente cientos de años. Esto ha originado una grave contaminación ambiental y un efecto negativo en el hábitat de los humanos y de la vida silvestre.

Diversos investigadores buscan desarrollar envases a base de polímeros biodegradables renovables, con alta biodegradabilidad y bajo coste (Ferreira et al., 2019). En el caso de las bandejas para el envasado de alimentos, se han desarrollado envases biodegradables que utilizan como la combinación de diferentes tipos de almidón reforzados con fibras lignocelulósicas (Cruz-Tirado et al., 2017; Kaisangsri et al., 2012). Para ello mediante un proceso de termoformado o prensado a temperaturas altas utilizan temperaturas que oscilan entre los 120 – 220 °C y tiempos entre los 2 a 20 minutos (Bergel et al., 2017; Cinelli et al., 2006; Cruz-Tirado et al., 2019; Espina et al., 2016). La determinación de los parámetros a emplear, depende del tipo y densidad de la mezcla, presión de prensado, entre otros factores

Entre las diversas fuentes de almidón, el obtenido de tubérculos (papa, oca, arracacha, yuca, entre otros) son los que tienen mayor empleo en la elaboración de bandejas biodegradables, principalmente por su fácil proceso de obtención en comparación con los cereales (Waterschoot et al., 2015). Tiene como características principales, tamaño granular grande, alto contenido de fósforo y baja temperatura de gelatinización (Wang et al., 2017).

El almidón de papa es un material que tiene entre sus propiedades: disolución en agua fría, elevada viscosidad, estabilidad de retrogradación y alta claridad en la pasta, las cuales han permitido su uso en la formación de películas, bandejas biodegradables, materiales de relleno y espesantes (Jiang et al., 2021). Posee un volumen de partícula elipsoidal entre 2– 66  $\mu\text{m}$ ; representa el 20% de los compuestos presentes en la papa, además se encuentra conformado por 14% de amilosa y 86% amilopectina (Zhang et al., 2020).

El espárrago es una hortaliza herbácea perenne, baja en calorías, de gran importancia nutricional y comercial, principalmente espárragos blancos y verdes (Sarabi et al., 2010). Es una planta diclina con una flor masculina de color verde y una flor femenina menos conspicua en una planta separada (Sinha, 2011). Desde el punto de vista de consumo, el espárrago se divide en tres partes: parte comestible, tocón y raíces. El tocón representa el 13% de toda la planta (Lee et al., 2014; Ruiz Quispe, 2018). Dentro de su composición contiene más del 90% de agua, 3,8% de Carbohidratos 2,2% de fibra, 0,12% de grasa y 2,2% proteínas. Sin embargo, este subproducto no tiene un manejo adecuado de los residuos de esta industria (Angulo Cueva, 2019).

Por todo lo mencionado, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar una bandeja biodegradable a base de almidón de papa y fibra de tocones de espárrago que tenga las mejores propiedades mecánicas y puedan ser una alternativa de uso como envase de alimentos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la obtención del almidón de papa variedad amarilla, primero el tubérculo se cortó en trozos de 0,5 cm por 1 cm, posterior a ello los trozos obtenidos se licuaron utilizando una licuadora industrial (Gastro Corp. Modelo: LAR – 04 de 4 litros de capacidad) obteniéndose una pasta de papa, la cual se lavó y tamizó (tamiz < 710  $\mu\text{m}$ ). Se dejó sedimentar a 10 °C por 24 horas para lograr obtener el almidón. Se eliminó el sobrenadante y la parte de almidón resultante se lavó 3 veces. Por último, se secó por 24 horas a 60 °C (Estufa BINDER), se molió y tamizó donde se obtuvo almidón nativo con tamaño de partícula aprox. 400 - 450  $\mu\text{m}$ . La papa amarilla utilizada provino de la provincia de Chota, Cajamarca.

En el caso de las fibras vegetales fueran obtenidas de los tocones de espárragos, residuos agroindustriales. Se inició limpiando y cortando, para luego ser secados a 80°C por 6 horas, posterior a ello, se molieron por 30 minutos y tamizaron (tamiz < 1000 µm.). Los tocones fueron residuos agroindustriales provenientes de la Empresa Santa Sofía del Sur S.A.

La extracción de almidón y obtención de las fibras vegetales se realizaron en el Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Santa.

## 2.1. Elaboración de bandejas biodegradables

Para la elaboración de bandejas biodegradables se mezclaron el almidón y las fibras vegetales, posterior a ello en una Moldeadora Semi Neumática y utilizando una bandeja de acero inoxidable se dio forma rectangular a la bandeja (3cm de alto, 21,5 cm de largo de boca, 17,5 cm de largo de fondo, 14,5 cm de ancho y 2 cm de distancia entre largo de boca y largo de fondo). Este proceso se realizó a una presión de 24 bar a 150 °C por un tiempo de 20 minutos. Finalmente, las bandejas se acondicionaron a temperatura ambiente a una humedad relativa de 85% durante 5 días. En cada prueba se utilizó 5ml de suero de leche y 2,5g estearato de magnesio.

Se aplicó un diseño de mezclas Simplex Centroide en donde el almidón, la fibra y la glicerina serán los ingredientes y a cada combinación particular o mezcla se le realizará una evaluación de sus propiedades mecánicas. Luego, a partir del tratamiento óptimo se desarrollará la formulación de las bandejas biodegradables en función a la relación almidón: fibra: glicerina.

Para obtener los parámetros óptimos de las bandejas biodegradables se utilizará un Diseño de Mezclas Simplex Centroide (DMSC), a través del método lineal (ecuación 1) combinando tres componentes e incrementando las cantidades de almidón, fibra y glicerina en función a las proporciones establecidas.

$$E_{(Y)} = \beta_A x_A + \beta_B x_B + \beta_C x_C \dots \text{(ecuación 1)}$$

Dónde:

$E_{(Y)}$  = Valor óptimo de análisis sensorial.

$\beta_A, \beta_B, \beta_C$  = coeficientes que cuantifican el efecto de las mezclas puras.

$x_A, x_B, x_C$  =proporciones de los componentes (almidón, fibra, glicerina).

A = almidón; B = fibra; C= glicerina.

**Tabla 1.**

*Componentes de almidón de papa, fibras vegetales de tocones de espárrago y glicerina obtenidas del DMSC para elaborar bandejas biodegradables*

Trat.	Diseño de Mezclas Componentes						Total
	X1	Almidón	X2	Fibra	X3	Glicerina	
M1	1	95,00	0	5,00	0	5,00	105,00
M2	0	85,00	1	15,00	0	5,00	105,00
M3	0	85,00	0	5,00	1	15,00	105,00
M4	1/2	90,00	1/2	10,00	0	5,00	105,00
M5	1/2	90,00	0	5,00	1/2	10,00	105,00
M6	0	85,00	1/2	10,00	1/2	10,00	105,00
M7	1/3	88,333	1/3	8,333	1/3	8,333	105,00
M8	2/3	91,667	1/6	6,667	1/6	6,667	105,00
M9	1/6	86,667	2/3	11,667	1/6	6,667	105,00
M10	1/6	86,667	1/6	6,667	2/3	11,667	105,00

## 2.2. Caracterización física y mecánica

### Propiedades físicas

El espesor de las bandejas biodegradables se obtuvo del promedio de 5 medidas, utilizando un vernier digital de acero inoxidable DC051 (0 - 150 mm).

A partir de la masa (g) y volumen (cm<sup>3</sup>) de las muestras se calculó la densidad de las mismas. Las muestras median 25mm de ancho y 100 mm de largo, estas se pesaron para determinar su masa y para encontrar su volumen se multiplicaron sus dimensiones.

### Propiedades mecánicas

Para el ensayo de tracción, se fijaron 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. Se registraron los valores de resistencia a la tracción (MPa) y deformación a la rotura (alargamiento, %). Los valores reportados son las medias de 3 repeticiones por cada tratamiento.

Las pruebas de compresión se realizaron 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.HDPlus analizador de textura). Se reportaron medias de 3 repeticiones por cada tratamiento.

## 2.3. Análisis estadístico

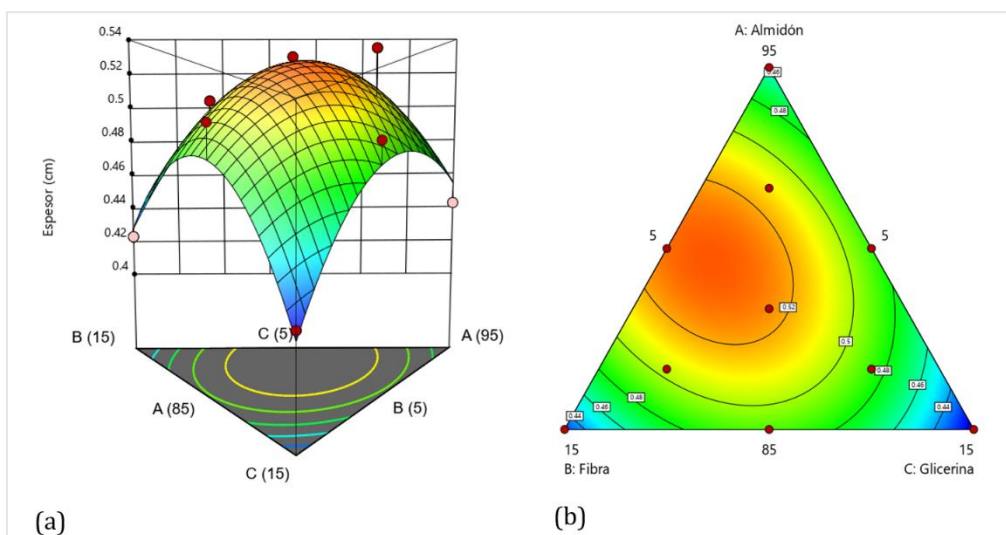
Para determinar diferencias significativas entre los tratamientos, se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente la prueba de Tukey con un nivel de significancia establecido en  $p < 0,05$ . Los análisis se realizaron en el software estadístico Design Expert.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Espesor y densidad

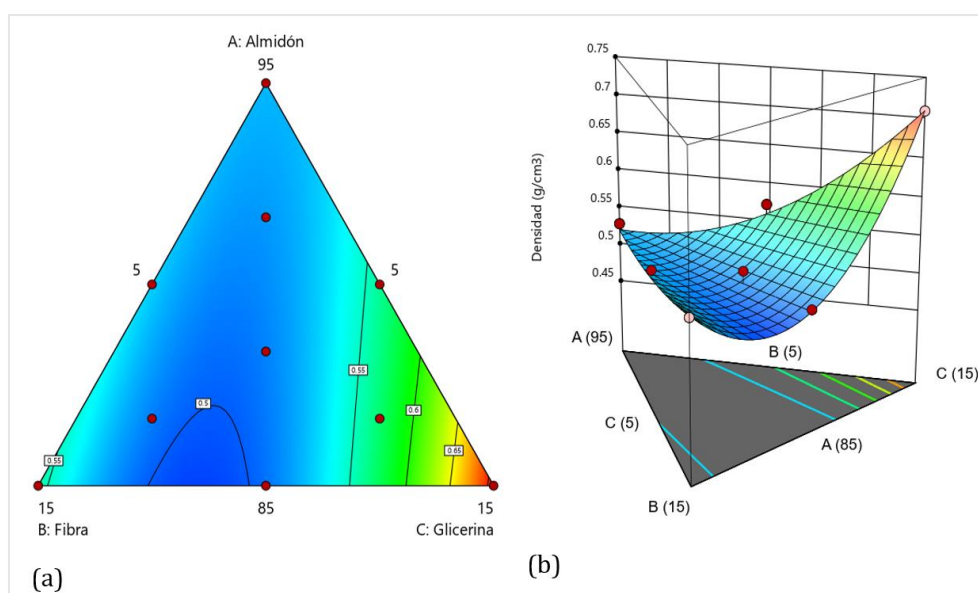
En la Figura 1 se representan el gráfico de contornos y superficie de respuesta del espesor de las bandejas biodegradables en función a la cantidad de almidón de papa, fibra de tocón de espárrago y glicerina utilizada durante su elaboración. El espesor de la bandeja de M4 (A/F de 90/10 y 5% G) y M8 (A/F de 91,67/6,67 y 6,67% G) fueron las que obtuvieron valores más altos con 0,53 y 0,523 cm, respectivamente. Las concentraciones bajas de glicerina favorecen el incremento significativo de espesor de las bandejas (diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey,  $p < 0,05$ ). La bandeja M3 producida con una relación almidón/fibra 85/15 y 5% de glicerina tuvo el menor grosor (0,42 cm).

En cuanto al efecto del contenido de fibra y almidón sobre este parámetro, se observa que los mayores espesores se obtuvieron en las mezclas intermedias de ambos componentes. Probablemente, la adición de glicerina y fibra en la matriz polimérica obstruye la capacidad de expansión del almidón durante el proceso de termoformado, generando bandejas de espuma con mayor densidad (relación inversa entre la capacidad de expansión y la densidad) (Cruz-Tirado et al., 2017). La glicerina, tiene la propiedad de absorber el agua, lo cual evitaría que las bandejas de espuma tengan una baja densidad, debiendo utilizarse concentraciones menores a 5%.



**Figura 1.** Superficie de respuesta (a) y gráfico de contornos (b) para el espesor de las bandejas biodegradables en función a la cantidad de almidón de papa, fibra de tocón de espárrago y glicerina

En la Figura 2, se observa los resultados de gráficos de contorno y superficie para la variable densidad. La densidad de las bandejas osciló entre 0,4789 y 0,7083 g/cm<sup>3</sup>, siendo la bandeja M8 producida con una relación A/F de 91,67/6,67 y 6,67% de G la de menor densidad. De acuerdo a la prueba ANOVA,  $p < 0,05$ , la adición de glicerina tiene un efecto significativo en la densidad final a (prueba de Tukey,  $p < 0,05$ ) de cada muestra, posiblemente, debido a que la glicerina tiene una influencia directa en la absorción de humedad, lo cual en concentraciones considerables evitaría la dispersión homogénea de la mezcla y capacidad de expansión (Bolt, 2005). Los valores de densidad registrados en el presente estudio fueron altos en comparación con el poliestireno expandido (0,041 – a 0,06 g/cm<sup>3</sup>) (Cabanillas et al., 2019; Vercelheze et al., 2012) y superior a la densidad lazos de espumas producidas con almidón con fibra vegetal de hojas de banana y achira (0,144–0,209 g/cm<sup>3</sup>) (Hoyos Mireles et al., 2021) y almidón de oca con fibra de piel de espárrago (0,171 – 0,272 g/cm<sup>3</sup>) (Cruz-Tirado et al., 2017) e inferiores para las bandejas elaboradas con almidón de yuca con fibras de celulosa y aislado de proteína de girasol (0,456–0,587 g/cm<sup>3</sup>) (Salgado et al., 2008).



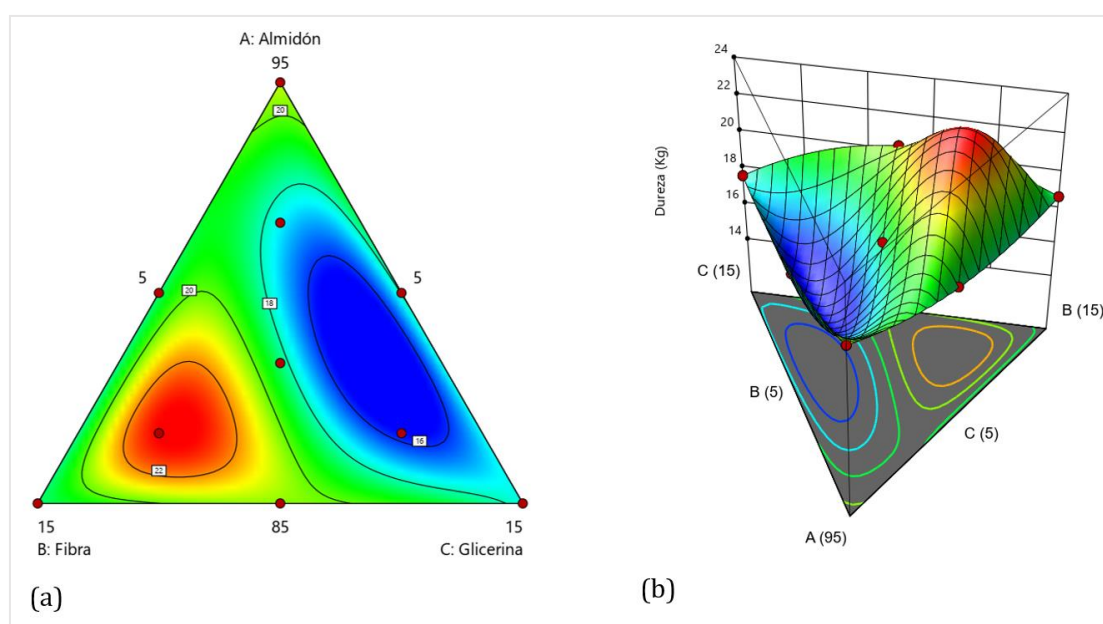
**Figura 2.** Superficie de respuesta (a) y gráfico de contornos (b) para la densidad de las bandejas biodegradables en función a la cantidad de almidón de papa, fibra de tocón de espárrago y glicerina

### 3.2. Optimización propiedades mecánicas de los envases

El análisis de las propiedades mecánicas permite determinar la resistencia del material y posibles alternativas de uso como contenedor de alguna comida.

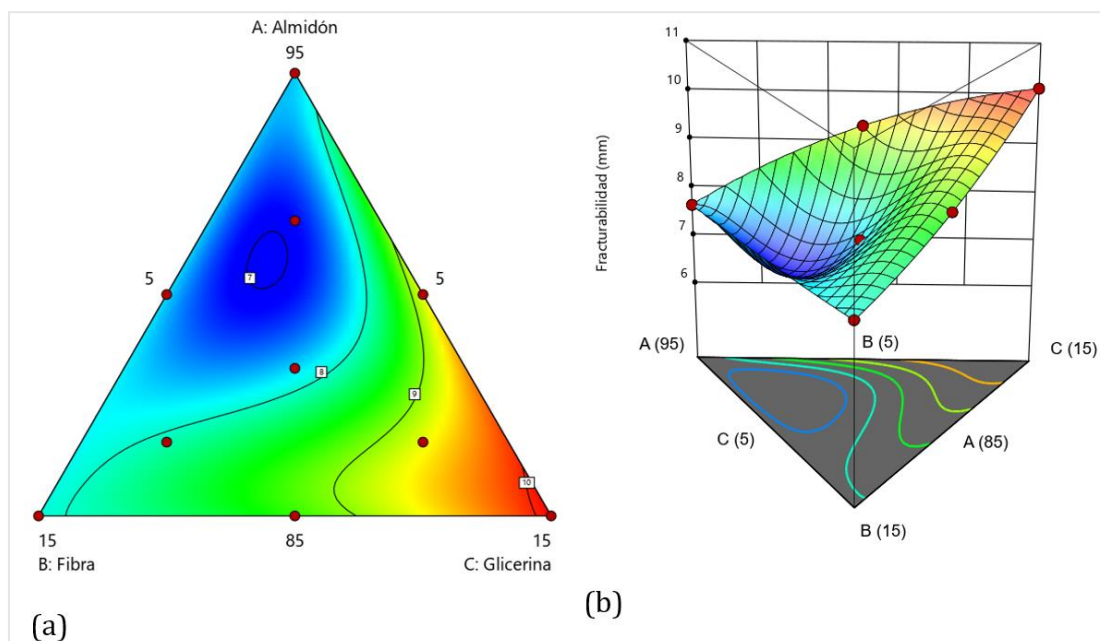
En la Figura 3, se observa el gráfico superficie de respuesta para la dureza por efecto de la interacción almidón, fibra de espárrago y glicerina, los valores de  $R^2$  (0,9984) y valor F (715,78) del modelo implican que el modelo es significativo, solo existiendo un 2,89% de posibilidades de que se produzca un valor por algún ruido. Los resultados obtenidos muestran que la interacción de los 3 factores tiene un efecto significativo sobre la dureza. Mediante el gráfico de superficie de respuesta el tratamiento con relación A/F de 86,667/11/667 y 6,667% de G obtendrá un valor deseado óptimo de 23, 01 kg de fuerza.

El efecto de la fibra, almidón y glicerina tuvo un efecto diferente en la dureza de las bandejas. El incremento de la concentración de fibra de espárrago aumenta la fuerza de bandejas, además su interacción con la glicerina tiene un efecto en la resistencia de las bandejas. Los resultados indican que la mejor incorporación a la matriz de almidón se da en tratamientos con mayor contenido de fibra y concentraciones bajas de glicerina. En tal sentido, según Cruz-Tirado et al. (2019) y Miléo et al. (2016) la adición de fibras con mayor contenido de celulosa a mezclas de almidón, permiten transmitir la fuerza de tracción a las fibras de espárrago, mejorando la resistencia a la tracción e incrementando sus propiedades mecánicas. En el caso de la glicerina, su aplicación en concentraciones adecuadas permite la formación de una estructura compacta, menos porosa (Cinelli et al., 2006), que permite actuar como plastificante en las bandejas, con aumento de deformación a la rotura de estas bandejas (Kaisangsri et al., 2012).



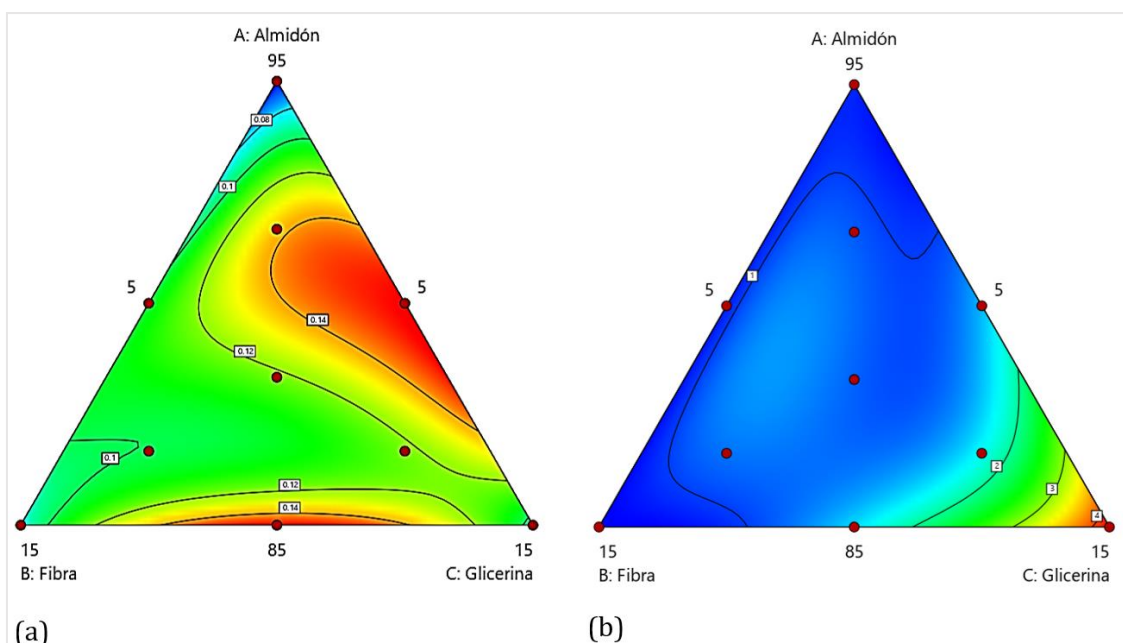
**Figura 3.** Superficie de respuesta (a) y gráfico de contornos (b) para la dureza de las bandejas biodegradables en función a la cantidad de almidón de papa, fibra de tocón de espárrago y glicerina

En la Figura 4, se observa el gráfico superficie de respuesta para la fracturabilidad por efecto de la interacción almidón, fibra de espárrago y glicerina, mediante su aplicación se evalúa la integridad de las bandejas durante el desplazamiento. De acuerdo a los resultados observados, la relación de las variables almidón y glicerina tienen un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) en el desplazamiento, concentraciones de glicerina por encima del 7% optimizan la integridad de las bandejas. En cuanto a la interacción de las variables fibra y almidón, no existe una relación significativa de mejora en cuanto a la incorporación de fibra en reemplazo del almidón.



**Figura 4.** Superficie de respuesta (a) y gráfico de contornos (b) para la fracturabilidad de las bandejas biodegradables en función a la cantidad de almidón de papa, fibra de tocón de espárrago y glicerina

En la Figura 5 la interacción de las variables fibra, almidón y glicerina con respecto a la resistencia a la tracción (a) y elongación (b), los resultados muestran una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos y para la interacción de las variables, lo que indica que resistencia a la tracción y % elongación dependen del nivel de concentración de fibra, almidón y glicerina.



**Figura 5.** Superficie de respuesta de resistencia a la tracción (a) y porcentaje de elongación (b) en bandejas biodegradables de almidón de papa, fibra de tocón de espárrago y glicerina

De la optimización de las variables de estudio obtuvo que el tratamiento con relación A/F de 90/5 y G 10% permite tener un valor deseado de resistencia a la tracción de 0,1548 MPa y un tratamiento de A/F de 85/5 y G 15% permite tener un valor óptimo de % elongación de 4,24%. Las bandejas biodegradables con adición de subproductos agroindustriales constituyen una alternativa emergente medioambiental promisoría para

sustituir el uso de convencional de plásticos (poliestireno expandido) (Bergel et al., 2017; Espina et al., 2016). Los resultados obtenidos muestran resistencias a la tracción y % elongación superiores a envases desarrollados de ase de almidón de yuca reforzado con fibra de cáscara de piña (RT 0,60 -0,83 MPa y E 1,16 y 1,38%) (Cabanillas et al., 2019), bandejas a base de grano de cerveza y fécula de maíz (RT 1,1 -2 MPa y E 0, 89%) (Ferreira et al., 2019).

El porcentaje de elongación de los tratamientos en su mayoría se encontraron por debajo del valor comercial del poliestireno (2,82%) (Cabanillas et al., 2019). Sin embargo, el tratamiento M3 con relación A/F de 85/5 y 10% de G obtuvo un valor óptimo 4,24% de elongación, este aumento de valor en el porcentaje de elongación se da probablemente debido al incremento de la plasticidad por la adición de glicerina y al porcentaje de fibra de espárrago que permite fortalecer la matriz e interacción fibra y almidón en bajas concentraciones que pueden probablemente atribuirse al tamaño de la fibra, obteniendo bandejas con mayor porcentaje de elongación.

En la Tabla 2 se presenta el tratamiento óptimo del diseño de deseabilidad, que permite realizar una optimización simultánea de las diferentes respuestas obtenidas y convertir cada respuesta de la variable dependiente en una función que varía entre 0 y 1, siendo 1 el valor ideal (Barrios Córdova et al. 2020; De Jesus Rahmer et al., 2019). El punto de deseabilidad máximo se obtiene con una relación A/F de 85/6,89 y % G 13,11; encontrando esta combinación de factores con una deseabilidad óptima de 0,6613.

**Tabla 2.**

*Valor óptimo de maximización de múltiples respuestas*

Factor	Temperatura y tiempo			Concentración de ácido cítrico y tiempo		Resist. Tracción (MPa)	% Elong. (mm)
	Almidón	Fibra	Glicerina	Dureza (kg)	Fracturabilidad (mm)		
Óptimo	85,0	6,89	13,11	19,190	9,509	0,133	2,998

#### 4. CONCLUSIONES

Fue posible elaborar bandejas biodegradables a base de almidón de papa y fibra de tocones de espárrago mediante un proceso de termoformado. Se determinó que la bandeja elaborada con la mezcla F/A de 85/6,89 y % G de 13,11% tendrá las propiedades mecánicas adecuadas para utilizarse en el envasado de alimentos.

Asimismo, fue posible establecer que las propiedades físicas analizadas tienen una relación inversamente proporcional a la cantidad glicerina y fibra adicionada en la matriz polimérica, que limita la capacidad de expansión de la mezcla durante el termoformado. En el caso de las propiedades mecánicas, el incremento de la concentración de fibra de espárrago aumenta la fuerza de bandejas, además su interacción con la glicerina tiene un efecto en la resistencia de las bandejas. Los resultados indican que la mejor incorporación a la matriz de almidón se da en tratamientos con mayor contenido de fibra y concentraciones bajas de glicerina.

#### FINANCIAMIENTO

Investigación financiada por la Universidad Nacional Autónoma de Chota mediante contrato de Ejecución de Proyecto de Investigación del V Concurso de Emprendimiento e Innovación Start Up N° 001-2019-UNACH.

#### CONFLICTO DE INTERESES

No existe ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la materia del trabajo.



## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: Gamboa-Alarcón, P. W.

Curación de datos: Gamboa-Alarcón, P. W.

Análisis formal: Díaz-Díaz, E.

Adquisición de fondos: Díaz-Díaz, E.

Investigación: Díaz-Idrogo, Y.

Metodología: Gamboa-Alarcón, P. W. y Chumacero-Acosta, J. S.

Administración del proyecto: Cabrera-Guevara, C.

Recursos: Cabrera-Guevara, C.

Software: Díaz-Idrogo, Y.

Supervisión: Díaz-Díaz, E.

Validación: Gamboa-Alarcón, P. W. y Chumacero-Acosta, J. S.

Visualización: Díaz-Idrogo, Y.

Redacción - borrador original: Díaz-Díaz, E., Díaz-Idrogo, Y. y Cabrera-Guevara, C.

Redacción - revisión y edición: Díaz-Díaz, E., Díaz-Idrogo, Y. y Cabrera-Guevara, C.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angulo Cueva, R. C. (2019). *Potencial alimentario de productos obtenidos a partir de residuos industriales de espárrago* [Universidad Nacional de Trujillo].  
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14875>
- Barrios Córdova, A., Vaquera Huerta, H., Romero Padilla, J. M., Crossa, J., & Burguete Hernández, E. (2020). Estudio comparativo de técnicas de optimización multirespuesta en diseños experimentales. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 21(2), 1–12.  
<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2020.21n2.016>
- Bergel, B. F., da Luz, L. M., & Santana, R. M. C. (2017). Comparative study of the influence of chitosan as coating of thermoplastic starch foam from potato, cassava and corn starch. *Progress in Organic Coatings*, 106, 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2017.02.010>
- Bolt, H. M. (2005). Vinyl Chloride—A Classical Industrial Toxicant of New Interest. *Critical Reviews in Toxicology*, 35(4), 307–323. <https://doi.org/10.1080/10408440490915975>
- 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>
- Cinelli, P., Chiellini, E., Lawton, J. W., & Imam, S. H. (2006). Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly(vinyl alcohol). *Polymer Degradation and Stability*, 91(5), 1147–1155.  
<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2005.07.001>
- Cruz-Tirado, J. P., Siche, R., Cabanillas, A., Díaz-Sánchez, L., Vejarano, R., & Tapia-Blácido, D. R. (2017). Properties of baked foams from oca ( *Oxalis tuberosa* ) starch reinforced with sugarcane bagasse and asparagus peel fiber. *Procedia Engineering*, 200, 178–185.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.026>
- 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>
- De Jesus Rahmer, B., Garzón Saénz, H., & Solana Garzón, J. (2019). Uso de la función de deseabilidad para la optimización de un proceso de producción de poliestireno. *Revista Ingeniería Industrial*, 18(1), 27–

42. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/4132>
- 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. M., 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>
- 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>
- Jiang, J., Gao, H., Zeng, J., Zhang, L., Wang, F., Su, T., & Li, G. (2021). Determination of subfreezing temperature and gel retrogradation characteristics of potato starch gel. *LWT*, 149, 112037. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112037>
- Kaisangsri, N., Kerchoechuen, O., & Laohakunjit, N. (2012). Biodegradable foam tray from cassava starch blended with natural fiber and chitosan. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 542–546. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.07.034>
- Lee, J. W., Lee, J. H., Yu, I. H., Gorinstein, S., Bae, J. H., & Ku, Y. G. (2014). Bioactive Compounds, Antioxidant and Binding Activities and Spear Yield of Asparagus officinalis L. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69(2), 175–181. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0418-9>
- Miléo, P. C., Oliveira, M. F., Luz, S. M., Rocha, G. J. M., & Gonçalves, A. R. (2016). Thermal and chemical characterization of sugarcane bagasse cellulose/lignin-reinforced composites. *Polymer Bulletin*, 73(11), 3163–3174. <https://doi.org/10.1007/s00289-016-1647-x>
- 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 Compositan 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>
- Sarabi, B., Hasandokht, M., Hassani, M., & Masoomi, T. (2010). Evaluation of Morphological Characteristics of Iranian Edible Wild Asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 41(3), 372312. [https://ijhs.ut.ac.ir/article\\_21914.html?lang=en](https://ijhs.ut.ac.ir/article_21914.html?lang=en)
- Sinha, N. K. (2011). *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing* (5th ed.). Blackwell Publishing Ltd.
- Vercelheze, A. E. S., Fakhouri, F. M., Dall'Antônia, L. H., Urbano, A., Youssef, E. Y., Yamashita, F., & Mali, S. (2012). Properties of baked foams based on cassava starch, sugarcane bagasse fibers and montmorillonite. *Carbohydrate Polymers*, 87(2), 1302–1310. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.016>
- Wang, W., Chen, W., Yang, H., & Cui, M. (2017). Textural and rheological properties of potato starch as affected by amino acids. *International Journal of Food Properties*, 20(sup3), S3123–S3134. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1396475>
- Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., & Delcour, J. A. (2015). Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch - Stärke*, 67(1–2), 14–29. <https://doi.org/10.1002/star.201300238>

Zhang, Z., Yao, Y., Shi, Q., Zhao, J., Fu, H., & Wang, Y. (2020). Effects of radio-frequency-assisted blanching on the polyphenol oxidase, microstructure, physical characteristics, and starch content of potato. *LWT*, 125, 109357. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109357>