

**Elaboración y caracterización de un material  
biodegradable utilizando desechos de lechuga  
de la Planta Poscosecha en la Escuela  
Agrícola Panamericana**

**Francisco Isaac Salmerón Herrera**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Honduras**  
Noviembre, 2019

ZAMORANO  
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

# **Elaboración y caracterización de un material biodegradable utilizando desechos de lechuga de la Planta Poscosecha en la Escuela Agrícola Panamericana**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Francisco Isaac Salmerón Herrera**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2019

# **Elaboración y caracterización de un material biodegradable utilizando desechos de lechuga de la Planta Poscosecha en la Escuela Agrícola Panamericana**

**Francisco Isaac Salmerón Herrera**

**Resumen.** El incremento de la población actual afecta en los desechos de comida que no se consume, principalmente en la agroindustria las mermas representan un grave problema. De la misma forma, la producción masiva de plásticos de único uso como las bandejas de poliestireno expandido presentan problemas en el ambiente. Este estudio evaluó el uso del desperdicio de la lechuga de la Planta de Poscosecha de Zamorano como un nuevo ingrediente para la industria y una alternativa de su uso en un material biodegradable. Se realizó una comparación de dos métodos de secado, en deshidratador solar o un horno de convección forzada. El polvo de lechuga con las mejores propiedades se obtuvo del horno de convección con un 43% de fibra y 18% de humedad. Este polvo se utilizó en la elaboración de un material biodegradable con la metodología de superficie de respuesta en el cuál, las variables fueron el polvo de lechuga, almidón de maíz y quitosano. Se evaluó espesor, densidad inicial y final, fuerza de penetración, color e índices de solubilidad y absorción de agua de las bandejas desarrolladas con el material. Se determinó que una proporción de 29.4% de polvo de lechuga, 15.7% quitosano y 54.9% de almidón en base seca de la formulación optimiza los valores de fuerza perforación, espesor y densidad final del material biodegradable. Se probó la bandeja optimizada en la vida de anaquel del melón, brócoli y maíz y se identificó un daño a los productos por una transferencia de color del material.

**Palabras clave:** Bandeja de espuma, biopolímeros, *Lactuca sativa L.*, quitosano, superficie de respuesta.

**Abstract.** Currently the population increase affects food waste that is not consumed, mainly in agribusiness, this waste represents a serious problem. In the same way, the mass production of single-consumption plastics such as expanded polystyrene trays presents problems in the environment. The aim of this study was to evaluate the use of lettuce waste from the Zamorano post-harvest plant as a new ingredient for the industry and an alternative for its use in a biodegradable material. A comparison of two drying methods was performed, a solar dehydrator and a forced convection oven. The lettuce powder with the best properties was obtained from the convection oven with 43% fiber and 18% moisture. This powder was used in the preparation of a biodegradable material with the response surface methodology in the variables that were lettuce powder, cornstarch and chitosan. The thickness, initial and final density, penetration force, color and water solubility and absorption indices of the develop trays with the material were evaluated. It was determined that a proportion of 29.4% of lettuce powder, 15.7% chitosan and 54.9% corn-starch in dry-based of the formulation optimizes the values of perforation force, thickness and final density in the biodegradable material. The optimized tray was tested in the shelf life of melon, broccoli and corn and damage was identified to the products because color transfer of the material.

**Key words:** Biopolymers, chitosan, foam tray, *Lactuca sativa L.*, response surface method.

## CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>3</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>38</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>7. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>40</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>45</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Resumen de equipos utilizados en el estudio.....	3
2. Diseño experimental del estudio en Fase II. ....	11
3. Efecto del método de secado en el contenido de fibra cruda, características de color y humedad del polvo de lechuga.....	13
4. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción de la fuerza de perforación del material biodegradable.....	18
5. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción del espesor del material biodegradable.....	19
6. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción de la densidad inicial de la mezcla.....	21
7. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción de la densidad final del material biodegradable.....	22
8. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción de la luminosidad del material biodegradable. ....	24
9. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción de la tonalidad (Hue) del material biodegradable.....	25
10. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción de la saturación del color o croma del material biodegradable.....	26
11. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción del porcentaje de absorción de agua del material biodegradable. ....	28
12. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción del porcentaje de solubilidad en agua del material biodegradable.....	29
13. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción del porcentaje de expansión del material biodegradable.....	30
14. Efecto del tipo de empaque en los parámetros de color del melón después de dos semanas de almacenamiento.....	36
15. Efecto del contenido de la bandeja en los parámetros de perforación y absorción de agua en la bandeja de material biodegradable después de dos semanas de almacenamiento.....	36
16. Comparación entre una bandeja del material biodegradable elaborado y una de poliestireno expandido en diferentes parámetros.....	37

Figuras	Página
1. Degradación de la celulosa por efecto del calor, tomado de (Golova 1975)....	14
2. Degradación estructural de la clorofila. ....	15
3. Porcentaje de retención de partículas según los métodos de secado utilizados. .....	15
4. Efecto de la tasa de evaporación sobre la estructura de la pared celular vegetal. .....	16
5. Imagen en estereoscopio a 3x de un corte transversal de una bandeja elaborada con el material biodegradable.....	17
6. Efecto del porcentaje de polvo de lechuga, quitosano y almidón de maíz en base seca sobre la fuerza de perforación del material biodegradable. ....	18
7. Protonización del quitosano en presencia de ácido acético (Laaraibi <i>et al.</i> 2018). ....	20
8. Efecto del porcentaje de polvo de lechuga, quitosano y almidón de maíz en base seca sobre el espesor del material biodegradable. ....	20
9. Efecto de la cantidad de quitosano sobre la densidad inicial de la mezcla. ....	22
10. Efecto del porcentaje de polvo de lechuga, quitosano y almidón de maíz en base seca sobre la densidad final del material biodegradable.....	23
11. Efecto de la cantidad de quitosano sobre la luminosidad del material biodegradable. ....	24
12. Efecto de la cantidad de quitosano y polvo de lechuga sobre la tonalidad (Hue) del material biodegradable. ....	26
13. Efecto del porcentaje de polvo de lechuga, quitosano y almidón de maíz en base seca sobre la saturación del color o croma del material biodegradable. ..	27
14. Efecto de la cantidad de quitosano sobre la capacidad de absorción de agua del material biodegradable. ....	28
15. Efecto de la cantidad de polvo de lechuga sobre la capacidad de solubilidad en agua del material biodegradable.....	30
16. Efecto de la cantidad de quitosano sobre el porcentaje de expansión del material biodegradable. ....	31
17. Valores óptimos de la función de deseabilidad en base al espesor, la perforación y la densidad final del material biodegradable. ....	32
18. Efecto de la degradación a 30 días en el área superficial de un experimental.	33
19. Fotografía de gusanos encontrados en la matriz interna del material evaluado a los 30 días de degradación en compostaje. ....	33
20. Efecto de la degradación en compostaje durante 0 y 30 días en los experimentales evaluados. ....	34
21. Fotografía comparativa entre el melón en el material biodegradable a los 2 días (A) y 15 días (B) de almacenamiento. ....	35

Anexos	Página
1. Cámara para la toma de fotografías del análisis de color de la fase 1.....	45
2. Deshidratador utilizado en el estudio.....	45
3. Resumen de los datos climatológicos en los días de los experimentos de la fase 1 para el deshidratador solar.....	46
4. Consolidado de las fotos del análisis de vida de anaquel en la fase 3 para las dos semanas de evaluación, set de tres filas equivalen a un día, fotos cada dos días.....	49
5. Resumen de los resultados para cada uno de los tratamientos del experimento.....	50

## 1. INTRODUCCIÓN

En la producción de alimentos para consumo humano se estima que, alrededor del 30% se convertirá en residuo o desecho, del cual, aproximadamente el 50% son frutas y vegetales debido a su corta vida útil en los centros de ventas (Food and Agriculture Organization, FAO 2015). El incremento de la población que se espera para el 2050, afectará los desechos por comida que no se consume y la basura que se genera. En América Latina las mayores pérdidas de comida se dan principalmente en campo y en la etapa de poscosecha y procesamiento (Rezaei y Liu 2017). Actualmente se desconocen datos de las pérdidas en los hogares, pero acorde Recabarren (2017) se deben a las prácticas culturales, el mal manejo de los productos y por realizar las compras de consumo sin una planificación previa.

La producción de lechuga en América Central es de unas quinientas mil toneladas en los últimos tres años, según los datos de la (FAO 2017). En Zamorano en los últimos tres años se han producido alrededor de 230,000 kg de lechuga, sin embargo, esta producción no incluye las pérdidas en campo.

La lechuga representa uno de los mayores desechos en la planta poscosecha de Zamorano. La tasa de transpiración de esta hortaliza es una de las más altas, así como su área superficial expuesta al ambiente (Schmitz *et al.* 2017), dando lugar a una rápida pérdida de turgencia en las hojas (Krarup *et al.* 2010). Los desechos de la planta poscosecha dependen del producto final, se estiman mermas del 20 al 47% para lechuga deshojada Christine y Versai y alrededor del 30% al 40% para lechuga entera Romana y Escarola (Acosta-Valverde, ED. 2019. Pérdidas en la Planta Poscosecha. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. Comunicación personal). Durante los últimos tres años el costo promedio de la planta poscosecha para el transporte de desechos es de USD 1,000.00 por año. Es un gasto que se podría recuperar o reducir al usar el descarte de la lechuga como ingrediente para otro subproducto.

El uso de bioplásticos y biopolímeros como alternativa a los plásticos convencionales cada día es más real. Debido a los beneficios que presenta de ser degradable en el corto tiempo y sobretodo de su producción a base de fuentes renovables, como el ácido poliláctico a partir del ácido láctico de fermentaciones (Nature 2018). Se espera que para el 2022 la tasa de retorno de los bioplásticos aumente en un 15.4% por ser amigable con el ambiente (Grand View Research 2016). Una de las bases para su elaboración pueden ser los residuos de los alimentos ya que son una fuente de compuestos que no se utilizarán y que conservan las características aprovechables. Además de ser una alternativa para el uso de los residuos, también evitan generar otros a partir de los plásticos que se dejan de utilizar en algunos casos (Perotto *et al.* 2018).

El descarte de la lechuga no tiene mayor uso ya que es de fácil degradación y alrededor del 95% del peso es agua. Sin embargo, su contenido de fibra y carbohidratos es considerablemente alto (United States Department of Agriculture, USDA 2018). La celulosa y otros carbohidratos se pueden extraer para usar en la elaboración de un bioplástico a base de almidón, ya que, aumenta sus cualidades reológicas, como lo son la elasticidad o la dureza de los mismos dependiendo de las proporciones del biopolímero (Chariguaman 2015). El uso de almidón se debe principalmente a su capacidad de generar una matriz biodegradable, es de bajo costo y es abundante para la producción de nuevos biopolímeros (Thomas MSara *et al.* 2019).

Se conoce que el uso de bandejas de poliestireno expandido es enfocado en las industrias de frutas, vegetales, cárnicas y en restaurantes de comidas rápidas (Andrady y Neal 2009). Aunque se reconoce que el poliestireno es uno de los plásticos menos dañinos para el ambiente, Ingrao, Gallego-Schmid y colaboradores (2015; 2019) reportaron emisiones de gases, así como, considerables volúmenes de desperdicio generados (1.24 kg de petróleo y 1.25 m<sup>3</sup> de gas que libera al ambiente 1 kg de bandejas de poliestireno expandido o EPS) debido a su uso. Kaisangsri y colaboradores (2014) lograron un compuesto con el uso de almidón de yuca, fibra kraft y quitosano, que pudo simular las características de una bandeja de EPS.

La tendencia del uso de materiales degradables en empaques está en aumento, debido a su bajo costo y la flexibilidad de sus beneficios, de los cuales la mayoría son desechos o residuos de las industrias (Pan *et al.* 2016). Actualmente se espera que un empaque no sólo logre proteger al alimento sino aportar algún beneficio extra al mismo o al consumidor (Medina-Jaramillo *et al.* 2017). Derivado de la desacetilación de la quitina, se obtiene el polímero (1,4)-2-Amino-2-desoxy- beta-D-glucano o quitosano, este presenta un alto peso molecular, es insoluble en agua y posee características antimicrobianas, así como, físicas (capacidad absorción de agua en la molécula) de interés para su uso en la elaboración de empaques biodegradables (Mármol *et al.* 2011).

Este estudio busca evaluar las características mecánicas como tensión y dureza, en comparación a una bandeja normal de poliestireno. Identificar la necesidad de otros componentes para la formulación de la bandeja en base a los desechos producidos en la planta poscosecha en Zamorano. El enfoque es evaluar un proceso factible para convertir el descarte de la lechuga en un material biodegradable y utilizarlo como bandeja, para lo cual, se plantearon los siguientes objetivos:

- Caracterizar un polvo de lechuga deshidratada como nuevo ingrediente de la industria.
- Determinar las concentraciones de polvo de lechuga, quitosano y almidón de maíz que brinden las mejores propiedades mecánicas al material biodegradable.
- Comparar las características mecánicas de una bandeja elaborada con el desecho de la lechuga con una bandeja comercial de poliestireno.
- Evaluar el comportamiento en vida de anaquel del melón, brócoli y el maíz en la bandeja desarrollada, comparándola con una bandeja convencional.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del estudio.

El estudio se realizó en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; ubicada en el departamento de Francisco Morazán, Honduras. Las muestras de lechuga fueron obtenidas de la Planta de Poscosecha. El desarrollo de la bandeja se realizó en el Laboratorio de Química y los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ).

### Materias primas.

Para la elaboración del material y del polvo de lechuga se utilizó descarte de la lechuga de la planta poscosecha (compuesto por las variedades Maximus, Kristine, Versai, Tropicana, New Red Five e Isabella). Se utilizó como otros ingredientes en la formulación el almidón de maíz (*Zea mays L.*) de la marca Maizena, quitosano (grado de desacetilación >95%) de la marca BulkSupplements, glicerol (1,2,3-trihidroxipropano), colorante alimenticio negro y ácido acético (también conocido como ácido etanoico) del grado absoluto de la marca Fisher Scientific.

### Material para realizar la medición del comportamiento en la vida de anaquel de las bandejas.

Como comparación se utilizaron bandejas de poliestireno expandido (EPS por sus siglas en ingles) de 10 × 10 cm de área y 3 mm de grosor. Para evaluar el desempeño en la vida de anaquel se utilizó trozos de melón (*Cucumis melo* var. cantalupo), de maíz dulce (*Zea mays L.* var. rugosa.) y de brócoli (*Brassica oleracea* var. italica). En el cuadro 1 se describen los equipos utilizados en el estudio sin tomar en cuenta los equipos para análisis de fibra cruda, color, grasa y textura.

Cuadro 1. Resumen de equipos utilizados en el estudio.

Equipo	Marca/Modelo
Horno de convección forzada	Marca Quincy Lab. Inc., 40AF
Horno de convección forzada	Napco, 630
Molino de Martillo	Thomas-Wiley, #4
Balanza analítica	OHAUS, máximo 110g y d = 0.1 mg
Batidora de inmersión	Imusa, DD1601CO;300W
Evaporador Rotativo	BUCHI; Rotavapor R II.
Texturómetro	Instron, 4444

El estudio se dividió en tres fases para lograr una mejor investigación y establecer los parámetros óptimos para las siguientes etapas, por lo tanto, se definieron las siguientes divisiones:

Fase 1. Caracterización del polvo de lechuga.

Fase 2. Caracterización de la bandeja (elaborada a partir del material biodegradable).

Fase 3. Evaluación de vida de anaquel.

### **Obtención de muestras.**

En la fase inicial para las muestras de la lechuga de la planta poscosecha se obtuvo una cesta representativa del descarte de las áreas más importantes (mínimo proceso y lavado). Este muestreo se realizó en la mañana que corresponde de 6:30 am a 10:30 pm y en la tarde de 12:30 pm a 4:00 pm. Obteniendo un total de cuatro cestas por día, se tomaron las cestas de los descartes de las lechugas procesadas ese día. Para evitar más sesgos el muestreo se realizó los días miércoles y los días jueves se recolectaron las cestas (luego de un acondicionamiento durante la noche en el cuarto frío a 4 °C). Estas cestas se homogenizarán para obtener 2 lb para secado en horno de convección y 2 lb para deshidratado.

Para la fase dos y tres se modificaron algunos parámetros de muestreo para la reducción de la variabilidad y obtención de muestras más homogéneas. Se utilizó el descarte de mínimo proceso solamente (variedades de lechuga Versai, Escarola y Cristine). Se modificaron los días de muestreo para los días lunes y la recolección los días martes de cada semana y se aumentó la cantidad de muestra para un total de 8 lb de descarte para secado por horno de convección forzada.

### **Pruebas preliminares.**

Con el objetivo de identificar los parámetros a utilizar se determinaron dos curvas de secado para las lechugas en ambos ambientes explicados en el proceso de secado, se realizaron pruebas de peso de una muestra de lechuga a cada 25 minutos durante aproximadamente cuatro horas (realizado por dos experimentos de seis muestras cada uno). Con el fin de obtener tiempos y temperaturas óptimas para la humedad deseada del 5% en ambos métodos.

### **Proceso de secado.**

Para la fase inicial se dividió en dos métodos, el primero fue el secado en horno de convección forzada la cual consistió en secar 2 lb del descarte en el horno especificado anteriormente durante tres horas a 110 °C (parámetros establecidos en base a pruebas preliminares) en conjunto con una muestra de peso conocido para luego analizar la disminución de humedad. Debido a que la lechuga seca presentó una alta higroscopicidad se realizó un segundo secado en el LAAZ durante 30 minutos a 50 °C de manera que se aseguró un molido de la muestra. Para la muestra de deshidratado solar se pesaron 2 lb, que es la capacidad de secado de la máquina, fueron colocadas en la cámara de secado y todas las muestras como mínimo cumplieron 10 horas luz a  $48 \pm 8$  °C para considerarlas secas

(obtenido de evaluaciones preliminares), sin embargo, depende del registro de las condiciones si se otorgó más tiempo a alguna muestra específica.

Luego, estas fueron llevadas al LAAZ para ser secadas durante 30 minutos a 50 °C de manera que se aseguró un molido de la muestra.

Para la fase dos se realizó solamente el secado por horno de convección por la facilidad que presentó el método y debido a que no presentó diferencias en base a la fase uno. El único cambio que se realizó fue que se secaron 8 lb por semana en tandas de 2 lb.

### **Caracterización del polvo de lechuga.**

**Humedad.** Se determinó mediante el método de la AOAC 934.01. Que evalúa el peso constante de la muestra después de 24 horas a 105 °C. Se calculó con la ecuación 1.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

m1: Peso del crisol.

m2: Peso del crisol más la muestra húmeda.

m3: Peso del crisol más la muestra seca.

**Índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA).** Metodología modificada de Díaz (2017), en la cual se realizó el análisis por cuadruplicado a cada tratamiento. Se toman  $1 \pm 0.001$  g de muestra en base húmeda más 30 mL de agua que se colocan en tubos de centrifugación tarados. Estos se agitan en el Vórtex® múltiple durante un minuto para homogenizar. Posteriormente las muestras se almacenaron durante 24 horas a 25 °C. Luego los tubos con las muestras se centrifugan a 3000 r/min (revoluciones por minuto) durante 15 minutos. El gel sedimentado se separa por decantación y lo floculado se drena en un plato Petri previamente secado por 12 horas a 105 °C. Se registran los datos del peso del tubo con el gel y lo floculado se evapora durante cuatro horas a 105 °C. Los platos Petri se enfriaron por media hora en un desecador con sílice para luego pesar los sólidos disueltos. Los índices se calculan mediante el uso de las ecuaciones 2 y 3.

$$\text{ISA (\%)} = \frac{\text{Peso de los sólidos disueltos}}{\text{Peso seco de la muestra}} \times 100 \quad [2]$$

$$\text{IAA (\%)} = \frac{\text{Peso del gel}}{\text{Peso seco de la muestra}} \times 100 \quad [3]$$

**Fibra cruda.** Se analizó mediante el método AOAC 962.09 para granos, alimento para animales, forrajes y semillas oleaginosas. Los análisis se realizaron por triplicado, se pesó  $1 \pm 0.001$  g de muestra y una prueba en blanco, las muestras se agregaron a una bolsa de filtro que fue sellada con calor, adicionando 11 mL de ácido clorhídrico al 1% (HCl) y 1500 mL de agua destilada.

La extracción se realizó en el equipo ANKOM<sup>220</sup> a una presión de 10 psi a 25 psi durante 40 minutos. Luego de 24 horas, se lavaron las muestras con agua destilada a 60 °C con una agitación constante de 65 r/min durante cinco minutos, por tres lavados.

Las muestras resultantes se colocaron en crisoles previamente secados y adicionados a una mufla por 24 horas a 550 °C. El porcentaje de fibra cruda se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{Fibra cruda} = \frac{(P_t - (P_i \times P_b))}{P_m} \times 100 \quad [4]$$

Donde:

P<sub>t</sub>: peso total de la muestra.

P<sub>i</sub>: peso de la bolsa.

P<sub>b</sub>: peso de la bolsa utilizada como blanco.

P<sub>m</sub>: peso de la muestra inicial.

**Color.** Se evaluó mediante la aplicación Color Assist Lite desarrollada por © 2011-2018 FTLLapps, Inc para iPhone 8 plus. En la cual se midieron los valores de RGB para luego convertirlos a L\*, a\* y b\* por una platilla de Excel creada por Susana Lissette Andrade Segura. Las muestras se colocaron en la parte interna de un plato Petri con un diámetro de nueve centímetros y se utilizó la cantidad necesaria de muestra para alcanzar un centímetro de altura.

La placa de vidrio se analizó en el interior de una caja de cartón con paredes blancas de la cual se tomaron diez fotos, con el flash del teléfono activada a una altura de nueve centímetros entre la cámara y la superficie del polvo, para determinar el promedio de los valores del color en cada muestra. Para cuantificar una diferencia total en cambios de color se realizaron análisis en la luminosidad, el croma y el tono, los últimos dos mediante las siguientes ecuaciones (Sharma 2003):

$$C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad [5]$$

$$h_{ab}^* = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad [6]$$

Donde:

C<sub>ab</sub><sup>\*</sup>: valor de Croma para una misma luminosidad.

h<sub>ab</sub><sup>\*</sup>: valor del Tono para una misma luminosidad.

a\*: valor rojo de cero a 100 y verde de -80 a cero.

b\*: valor amarillo de cero a 100 y azul de -100 a cero.

**Granulometría.** Se evaluó mediante el método AOAC 965.22 de clasificación de partículas por tamaño. Se tomaron 50 gramos de cada muestra previamente secada por 24 horas a 65 °C y se colocaron en agitación constantemente durante cinco minutos en el equipo Ro-Tap.

Se utilizó un conjunto de cinco tamices con aberturas de malla equivalentes a 850, 600, 425, 250 y 150  $\mu\text{m}$ , con un fondo de 20 cm de diámetro.

Los tamices se pesaron antes y después para que por medio de la siguiente ecuación se calculó el porcentaje de retención de cada uno:

$$\% \text{ de retención} = \frac{P_{tm}-P_t}{P_m} \times 100 \quad [7]$$

Donde:

$P_{tm}$ : peso del tamiz con la muestra.

$P_t$ : peso del tamiz.

$P_m$ : peso de la muestra.

### **Caracterización de la bandeja.**

**Elaboración de bandejas.** Se elaboró la bandeja por el método de termoprensado mezclando almidón, quitosano y el polvo de lechuga que conforman la base seca (BS); los ingredientes líquidos siendo el agua relación 135% v/p de BS, glicerol 2.9% v/p de BS y ácido acético 6.25% v/p del quitosano se mezclaron por aparte para formar la base húmeda (BH). Ambas mezclas se les adiciona 2.05% de colorante negro y se unen con la ayuda de la batidora de inmersión durante 1 min hasta obtener una pasta espesa (Carvalho 2015; Kaisangsri *et al.* 2012).

El horneado se realizó con el uso de dos moldes de acero de 37.3 cm  $\times$  26.9 cm y 3 cm de altura, con 12 cavidades de 7.11 cm de diámetro superior y 5 cm de diámetro inferior, se traslaparon uno encima del otro para obtener un ancho de bandeja de 3.2 mm. Se aplicó una presión de 3.5 kPa además de la presión atmosférica al momento del horneado.

Se pesaron 25 g de la pasta obtenida y se colocó en cada una de las cavidades, se situó el molde superior y la presión encima del inferior, el conjunto se horneó en dos etapas: la primera de 10 min a 232  $^{\circ}\text{C}$  y luego por dos horas a 125  $^{\circ}\text{C}$ . Las bandejas obtenidas se mantuvieron en condiciones de 75% HR (humedad relativa) en un desecador con una solución saturada de NaCl durante 24 horas antes y después de realizar los análisis descritos a continuación.

**Fuerza de perforación.** Se utilizó un análisis de puntura por medio del equipo Instron 4444, en el cual se usaron muestras con una dimensión de 5 cm de diámetro con una sonda cilíndrica de 5.60 mm de diámetro para determinar la fuerza de quiebre, con los siguientes parámetros del test: velocidad de 120 mm/min, aceleración de 1 kN/min, carga inicial del 0.5 kN y una frecuencia de muestreo de 6.66 puntos por segundo. El análisis se realizó hasta que se logró la ruptura de los materiales con tres repeticiones por muestra (Schmidt y Laurindo 2010).

**Espesor.** Se determinó mediante el uso de un micrómetro digital Thomas Scientific Traceable<sup>®</sup> en muestras de 5 cm de diámetro, se tomó como valor el promedio de cinco lecturas.

**Densidad aparente.** La densidad aparente de la mezcla a utilizar para la formación de las bandejas se evaluó mediante el uso de un crisol que puede mantener 10 mL de agua como referencia. Se pesó el crisol vacío y luego se colocó la mezcla hasta que lo llenara al ras del borde, se reportó el peso de la mezcla en relación al volumen conocido de retención del crisol. La densidad aparente de las bandejas se evaluó con un método modificado de Kaisangsri *et al.* (2014) en el cual considera los poros superficiales en el análisis, en una probeta con 15 mL de agua se sumergieron muestras de 2 g de la bandeja y durante un minuto se agitó la probeta de manera que se acomodaran por los poros toda el agua posible sin que sea absorbida. Se calculó la densidad con la ayuda de la ecuación 8.

$$\text{Densidad} \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{Pb}}{(1\text{cm}^3 \times (V_f - V_c)) / 1\text{mL}} \quad [8]$$

Donde:

Pb: peso de la bandeja en gramos.

$V_f$ : volumen final en mL.

$V_c$ : volumen conocido en mL.

**Color.** Se midió en el colorímetro HunterLab® Colorflex, utilizando bandejas con un diámetro de  $50 \pm 3$  mm sobre el lente. Se realizaron tres mediciones por muestra, se realizó el análisis de los datos con ayuda de las ecuaciones 5 y 6.

**Índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA).** Se toman  $2 \pm 0.01$  g de bandeja más 50 mL de agua que se colocan en un beaker. Las muestras se agitaron a 400 r/min con ayuda de un imán durante 24 horas a 25 °C. El gel sedimentado se separa por extracción con pinzas y lo floculado se drena en un balón previamente secado y pesado para remover el agua en un roto evaporador. Se registran los datos de peso del gel y lo floculado se evapora durante 20 minutos a 60 °C y una velocidad de 650 r/min. Se registró el peso del residuo en el balón como peso de sólidos disueltos. Los índices se calculan mediante las ecuaciones 2 y 3.

**Porcentaje de expansión.** Se tomó el peso de la mezcla inicial antes del horneado y luego el peso final de la bandeja formada con la mezcla anterior. En conjunto con el análisis de densidad aparente se relacionó volumen final de la bandeja entre el volumen teórico final en base al agua que se evaporó en el horneado y la densidad inicial. Definido por la ecuación 9.

$$\text{Expansión (\%)} = \frac{P_f \times (\rho_f)^{-1}}{(P_0 \times (\rho_0)^{-1}) - (P_0 - P_f)} \times 100 \quad [9]$$

Donde:

$P_f$ : Peso final de la bandeja.

$\rho_f$ : Densidad final de la bandeja.

$P_0$ : Peso inicial de la mezcla.

$\rho_0$ : Densidad inicial de la mezcla.

**Degradación en compostaje.** Se determinó mediante el método modificado de Ketkaew *et al.* (2018) en el cual, se colocan muestras de la bandeja con un diámetro de  $50 \pm 3$  mm en bandejas de acrílico con 4.8 cm de altura, 76 cm de largo, 50.5 cm de ancho y un grosor de un centímetro una profundidad de 2 cm lleno con 4 cm de compostaje. Se controló la temperatura para que oscile en  $30 \pm 2$  °C y con una humedad del  $50 \pm 10\%$  (controlada mediante un sensor de humedad Delta-T Devices Ltd.; SM150T), luego de 30 días se retiran las muestras. Se analizaron con el programa ImageJ (Schneider *et al.* 2012) para obtener el área superficial, se lavaron con agua destilada y se secaron las muestras en un horno por cuatro horas a 105 °C. Se reportó el peso después del secado en relación al área superficial en g/cm<sup>2</sup>.

### **Evaluación de vida de anaquel.**

La formulación que se optimizó como la mejor en la etapa anterior se caracterizó con los mismos análisis que en la fase 1 exceptuando granulometría, además de análisis para comprobar los valores obtenidos en la optimización y un análisis de migración. Este último definido como la capacidad de absorber grasa o aceite en la matriz, se determinó el peso inicial, luego se sumergió el material en aceite de girasol durante 24 horas a 25 °C, se extrajo y se limpió el exceso de aceite superficial para obtener el peso final (ecuación 10).

$$\text{Absorción de Aceite (\%)} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad [10]$$

También, se secó el material final durante cuatro horas a 104 °C en un horno de convección forzada. Se molió lo obtenido y se realizó un análisis de grasa mediante un Soxhlet con ayuda de hexano realizando la ecuación 11.

$$\text{Migración de Aceite (\%)} = \frac{(\text{Peso final} - \text{Peso inicial del balón})}{\text{Peso inicial de la muestra}} \times 100 \quad [11]$$

Se realizaron análisis comparativos entre la vida de anaquel del maíz dulce, brócoli y melón en una bandeja comercial y la bandeja elaborada en este estudio. Estas se cubrieron con los alimentos al 100% de su superficie disponible intentando que no toquen las paredes de las bandejas y con una cobertura de plástico tipo film. Las comparaciones se realizaron con base en las observaciones visuales realizadas cada dos días durante dos semanas, También, se determinó la posible absorción de agua de la bandeja mediante la diferencia de pesos al iniciar el experimento y al finalizar.

### **Diseño experimental.**

#### **Fase I.**

Se usó un diseño de muestras pareadas con bloqueo de los días de recepción de la muestra, en dos ambientes de secado (deshidratador solar y horno de convección), siendo estos los tratamientos para una misma muestra de lechuga, con tres replicas para un total de seis unidades experimentales.

## Fase II.

Se usó un diseño Box-Behnken (Ferreira SL. C. *et al.* 2007; USDA 2018) para la metodología de superficie de respuesta (MSR) para tres factores: porcentaje de almidón de maíz, porcentaje de polvo de lechuga y porcentaje de quitosano. Los cuales fueron codificados mediante el uso de la ecuación 12.

$$X_i = \left( \frac{x_i \times Z}{\Delta x_i} \right) \quad [12]$$

Donde:

$X_i$ : Valor real de la variable.

$x_i$ : Valor codificado de la variable.

$Z$ : Valor real de la variable en el punto central.

$\Delta x_i$ : Intervalo de la variable  $x_i$ .

El modelo presenta dos variables axiales codificadas como  $+\alpha$  y  $-\alpha$ . El valor de alfa depende del número factorial del diseño y del número de variables independientes (ecuación 13).

$$\pm\alpha = (F)^{1/4} = (2^k)^{1/4} = (2^3)^{1/4} = 1.682 \quad [13]$$

El número de tratamientos del experimento se basó en un diseño factorial completo expresado por la ecuación 14.

$$n = 2^k + 2k + m \quad [14]$$

Para  $k=3$  factores, dando un total de 20 unidades experimentales, con 6 puntos centrales ( $m$ ), 8 puntos factoriales ( $2^k$ ) y 6 puntos axiales ( $2k$ ). Se tomaron como control las bandejas que no posean quitosano o polvo de lechuga y una bandeja comercial de EPS como prueba comparativa de la cual se realizaran tres repeticiones de los análisis. Obteniendo así un total completo de 23 unidades experimentales (cuadro 2). La amplitud del rango de las variables se determinó con las pruebas preliminares y datos para obtener experimentales sin polvo de lechuga o quitosano. El punto central fue obtenido con pruebas preliminares de una formulación inicial tomada de Kaisangsri *et al.* 2012) modificando la fibra y los parámetros de formación de la bandeja. Para el análisis de los resultados del estudio el método describe el comportamiento de la combinación de variables independientes, la variable dependiente o de la respuesta con la siguiente ecuación:

$$Y_i = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \varepsilon \quad [15]$$

Cada respuesta se ajustó a través de un análisis de regresión lineal con un polinomio cuadrático son las variables ( $X_k$ ) para cada respuesta ( $Y$ ).

Cuadro 2. Diseño experimental del estudio en Fase II.

Tratamientos	Niveles de codificación			Total en base seca (%)		
	Polvo de Lechuga	Quitosano	Almidón de Maíz	Polvo de Lechuga	Quitosano	Almidón de Maíz
1	-1	-1	-1	16.00	6.00	78.00
2	1	-1	-1	43.00	4.00	53.00
3	-1	1	-1	13.00	21.19	65.35
4	1	1	-1	38.00	15.19	46.85
5	-1	-1	1	10.00	3.86	86.49
6	1	-1	1	30.00	3.01	67.40
7	-1	1	1	9.00	13.65	77.68
8	1	1	1	27.00	10.88	61.93
9(a)	-1.682	0	0	0.00	5.47	94.53
10	1.682	0	0	40.00	3.26	56.43
11(b)	0	-1.682	0	26.00	0.00	73.69
12	0	1.682	0	22.00	17.40	60.87
13	0	0	-1.682	35.71	14.28	50.01
14	0	0	1.682	17.86	7.14	75.00
15©	0	0	0	23.81	9.52	66.67
16©	0	0	0	23.81	9.52	66.67
17©	0	0	0	23.81	9.52	66.67
18©	0	0	0	23.81	9.52	66.67
19©	0	0	0	23.81	9.52	66.67
20©	0	0	0	23.81	9.52	66.67

(a): Control sin polvo de lechuga. (b): Control sin quitosano. ©: Punto central del experimento.

La ecuación general que se utilizó para predecir el comportamiento de cada respuesta se describe en la ecuación 16.

$$Y_i = B_0 + \sum_{i=1}^k B_i X_i + \sum_{i=1}^k B_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k B_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad [16]$$

Donde:

Y<sub>i</sub>: Función respuesta.

k: Numero de variables independientes evaluadas.

X<sub>i</sub>: Valores de las variables independientes.

B<sub>0</sub>: Coeficiente relativo a la interpretación del plan con la respuesta en el eje.

B<sub>i</sub>: Coeficientes lineales estimados por el mínimo cuadrado.

B<sub>ii</sub>: Coeficientes de variables cuadráticas.

B<sub>ij</sub>: Coeficientes de interacción entre las variables independientes.

ε: Error experimental.

Para el análisis de la degradación en el suelo se utilizó un diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA) para determinar si existe diferencia en los grados de degradación presentados por cada tratamiento siendo los bloques la bandeja con compostaje en la cual se coloquen todos los tratamientos, con tres replicas por bandeja.

### **Fase III.**

Se usó un Diseño Completamente al Azar con medidas repetidas en el tiempo (DCA) con las variables de las frutas utilizadas y los tratamientos (bandeja elaborada y comercial de EPS), se colocó la fruta para almacenarla a 4 °C durante dos semanas. Se realizaron tres repeticiones para obtener un total de 18 unidades experimentales.

### **Análisis estadístico.**

Se realizaron los análisis mediante el programa estadístico SAS<sup>®</sup> University Edition versión 3.5.0 y STATISTICA<sup>®</sup> versión 8.0. Para la fase inicial se realizó una prueba t-student para encontrar similitud o diferencia en las muestras y la probabilidad de ocurrencia en futuras replicas, con un valor de significancia de  $P < 0.05$ .

En la segunda fase la metodología de superficie de respuesta RSM (por sus siglas en inglés) determinó modelos matemáticos con ayuda de STATISTICA<sup>®</sup> que respondieran al comportamiento del material según los parámetros evaluados y determinar un óptimo para las mejores variables de predicción. En la predicción se utilizó un análisis de varianza, así como un análisis de regresión para las ecuaciones de los parámetros. Para la evaluación de la degradación en suelo se realizó un análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre los bloques y entre los tratamientos con un nivel de significancia de  $P < 0.05$  y una separación de medias Duncan.

Por último, para la tercera fase se realizó un análisis de varianzas ANDEVA entre las variables y los tratamientos para determinar si existían diferencias significativas en el uso de cualquiera de las dos bandejas en la vida de anaquel de las frutas analizadas. Se utilizó un nivel de significancia de  $P < 0.05$  y una separación de medias Duncan.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Caracterización del polvo de lechuga.

Como parte del desarrollo de nuevos ingredientes en polvo, la caracterización del comportamiento de sus componentes es fundamental para el entendimiento de los posibles usos del mismo (Ribeiro *et al.* 2016). En el cuadro 3 se muestra el resumen de los análisis realizados para el polvo de lechuga en ambos métodos.

No se encontraron diferencias significativas entre los métodos de secado utilizados en el parámetro de humedad. Ninguno de los métodos logró alcanzar una humedad de almacenamiento ideal para hojas secas menor al 10% (United Nations Industrial Development Organization y FAO 2005).

Cuadro 3. Efecto del método de secado en el contenido de fibra cruda, características de color y humedad del polvo de lechuga.

Análisis	Método de Secado		
	Deshidratado Solar	Horno de Convección	C.V. (%)
Humedad (%)	18.45 ± 4.54	18.30 ± 2.38	13.01
IAA (%)	60.43 ± 4.16	51.71 ± 10.58	14.30
ISA (%)*	19.00 ± 2.71	23.89 ± 4.56	17.50
Fibra Cruda (%)	35.15 ± 7.27	43.38 ± 7.60	17.52
Luminosidad (0-100)	46.39 ± 2.56	45.62 ± 3.11	6.82
Croma (0-60)	40.86 ± 1.74	39.71 ± 1.74	4.37
Hue <sup>o</sup> * (0-360)	102.42 ± 1.79	92.61 ± 4.82	5.21

C.V.: Coeficiente de variación.

IAA: Índice de absorción de agua. ISA: Índice de solubilidad de agua.

Valores de la misma fila con \* poseen diferencia significativa prueba T Student  $P < 0.05$ .

Esto se puede deber a la carga de agua que las hojas mantuvieron del almacenamiento previo que se dio en la planta. También, el alto contenido de estomas en la lechuga y el contenido de celulosa, por ser un material higroscópico, puede generar una rehidratación después del secado (Ribeiro *et al.* 2016; Schmitz *et al.* 2017).

El índice de absorción de agua y la capacidad de solubilizarse en agua del polvo de lechuga o ISA, son parámetros que indican la calidad de los polvos para su reconstitución o uso en soluciones acuosas. La diferencia de la capacidad de solubilizarse de los métodos puede deberse al daño estructural causado principalmente en la celulosa. La convección forzada utilizó mayor temperatura de secado, posibilitando la ruptura de los enlaces glucosídicos, pudiendo generar oligosacáridos, polisacáridos o monómeros más solubles en agua como la glucosa (Rojas 2016), algunos de los cambios de la estructura de la celulosa con el calor pueden ser reagrupación, oxidación y descomposición (figura 1).

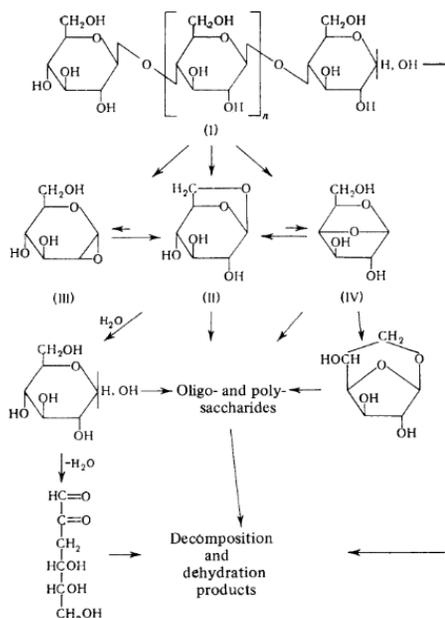


Figura 1. Degradación de la celulosa por efecto del calor, tomado de (Golova 1975).

Los métodos utilizados no alteraron el porcentaje de fibra en el polvo. A una humedad del 18% la cantidad encontrada de fibra fue superior comparada con el estudio de Stagnari y colaboradores (2015). En el cual determinaron el porcentaje de fibra cruda en materia seca con un valor máximo de 24.5% para la lechuga romana.

Diaz en el 2017, determino un porcentaje del 32% en fibra cruda para un rastrojo de maíz utilizable en una bandeja biodegradable, así mismo, se puede comparar el polvo elaborado con el salvado de trigo que tiene un 42% en contraste al encontrado del 43% (USDA 2019) para un posible uso como aditivo de fibra en otras matrices.

El tono (hue) fue el único parámetro de color afectado por el método de secado utilizado. El deshidratado solar daña menos los pigmentos de color, teniendo un valor de tono de 102° más cercano al verde puro (180°), en comparación al método por horno de convección que se acerca al amarillo (90°). Castillo y colaboradores en el 2018, encontraron un cambio en tono a 55 °C de verde hacia amarillo, esto se puede deber a la reacción de maillard posible por la temperatura utilizada en el horno de convección forzada de 125 °C.

La temperatura utilizada generó una degradación térmica en la clorofila (responsable del color verde) para pasar a su sucesor feofitina o pirofeofitina (ambas responsables de colores amarillos y cafés respectivamente). Este cambio de molécula es debido a la pérdida de magnesio causado por el daño de enlaces iónicos que se expresan en la figura 2 (Indrasti *et al.* 2018).

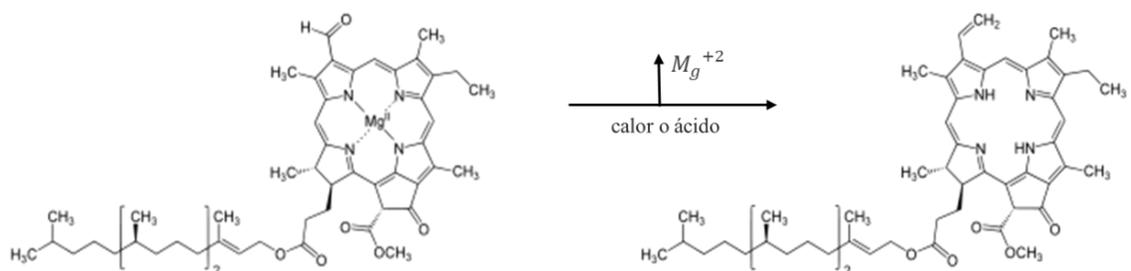


Figura 2. Degradación estructural de la clorofila.

Las partículas del polvo de lechuga elaborado presentaron distintos tamaños en los métodos evaluados de secado. Se logran observar dos patrones diferentes en los cuales para el método de horno de convección la población se encuentra más homogénea en partículas grandes (>850  $\mu\text{m}$ ) en comparación a las partículas heterogéneas del deshidratado (figura 3) similar a la distribución encontrada por Quintanilla Portillo y Mejía Salguero en el 2018.

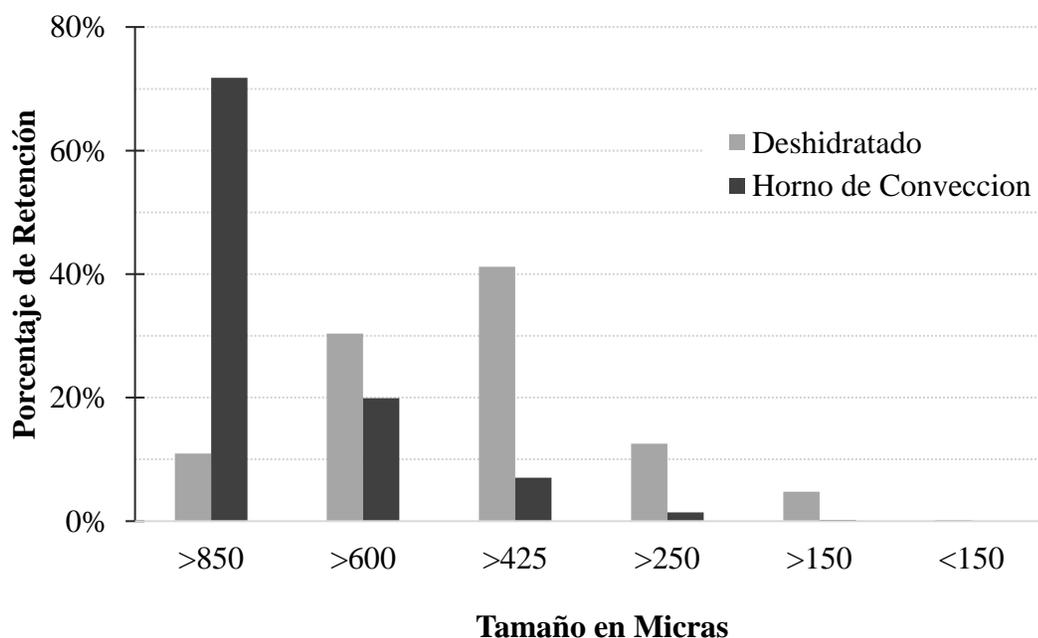


Figura 3. Porcentaje de retención de partículas según los métodos de secado utilizados.

La diferencia en la distribución de partículas puede deberse principalmente a la tasa de calentamiento empleada en los dos métodos, esto debido al proceso de evaporación de agua interna en las hojas. El secado en horno de convección forzada permite una reducción en tiempo, generando así una evaporación rápida, por lo que el agua se retira rápidamente de la matriz dejando casi intacta la estructura celular. Por el otro lado la evaporación es parcial permitiendo la reagrupación de células y la falta de calor evita el endurecimiento de la estructura (Montoya 2014), lo anterior se ilustra en la figura 4 para ambos métodos.

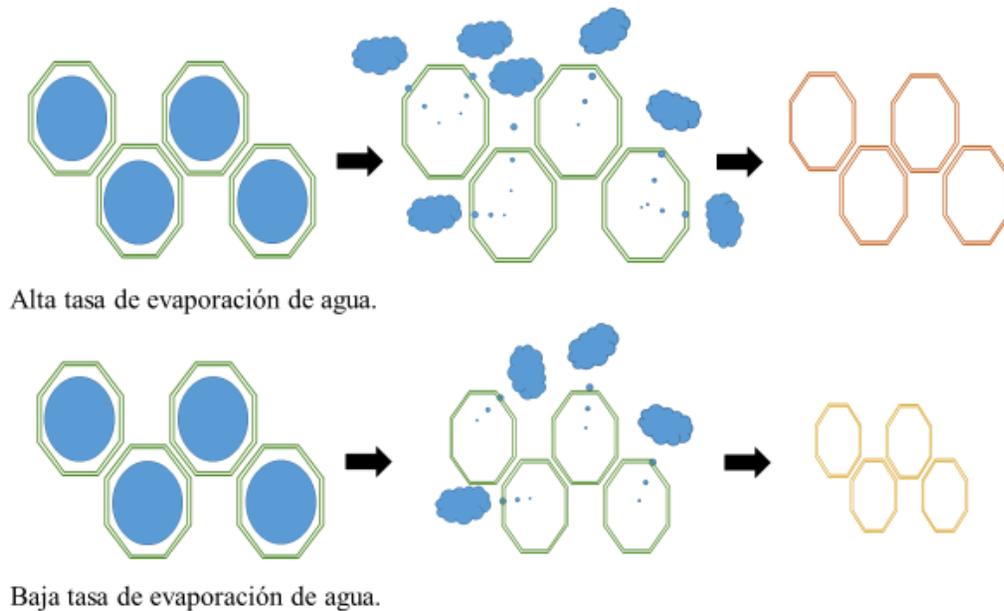


Figura 4. Efecto de la tasa de evaporación sobre la estructura de la pared celular vegetal.

El ISA, IAA, el contenido total de fibra cruda y la homogeneidad de las partículas hacen al polvo de lechuga por secado en convección forzada una opción para aportar fibra en nuevas matrices o como un suplemento alimentario. El polvo de lechuga se puede considerar un nuevo ingrediente para la industria con una excelente absorción de agua en comparación a otras fuentes de fibra como el salvado de trigo, la cebada y la harina de soya (Raghavendra *et al.* 2004). De esta forma se puede utilizar como un aditivo de fibra considerando que puede afectar las características de color y sabor de los productos.

### **Caracterización de la bandeja.**

Se evaluaron 20 tratamientos para predecir el comportamiento del material generado, por lo cual, cada uno de los resultados es representado por la media de tres repeticiones para los tratamientos del 1 al 14. Los tratamientos del 15 al 20 son el punto central del experimento por lo que solo se consideró una medición para cada uno de ellos. Estos se analizaron para evaluar la regresión del parámetro y la influencia de cada una de las variables en el mismo.

**Fuerza de perforación.** Se le denomina a la fuerza de carga necesaria para atravesar por completo un material en el máximo punto de deformación (Jones 2009). Es un parámetro de característica física altamente relacionado con el espesor de la muestra y el porcentaje de expansión. Se reconoce que las fibras son el principal componente que brindan una mayor resistencia a la fuerza de perforación en los biopolímeros (Kaisangsri *et al.* 2014). Esto se debe a la interconexión que generan las fibras con la matriz del biopolímero en este caso partículas se encontraron agrupaciones de polvo de lechuga en la matriz que generó el almidón de maíz y el quitosano (figura 5). El contenido de fibra, los tamaños de partícula y la expansión del almidón en el termopresado alteran este parámetro. Cruz-Tirado y colaboradores en el 2017 encontraron que a una menor densidad, un bajo espesor y una expansión moderada de los gránulos de almidón se disminuye significativamente el efecto de la adición de un 30% de fibra.

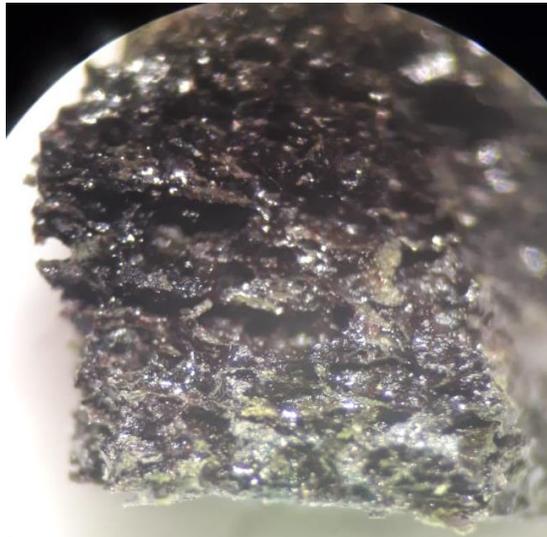


Figura 5. Imagen en estereoscopio a 3x de un corte transversal de una bandeja elaborada con el material biodegradable.

La variable con mayor influencia significativamente positiva en la fuerza de perforación es el polvo de lechuga, seguido del quitosano en menor proporción y por ultimo está el almidón de maíz que afecta negativamente disminuyendo la resistencia a una mayor concentración de este.

Con base en las significancias del análisis de regresión (cuadro 4) se determinó la ecuación 17 para predecir los valores de la fuerza de perforación para las bandejas elaboradas:

$$\text{Fuerza de Perforación (N)} = 158.93 + 4.33L + 0.46Q - 7.52A \quad [17]$$

Cuadro 4. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción de la fuerza de perforación del material biodegradable.

<b>Factor</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Valor P</b>
Intercepto	158.9391	0.0328*
Polvo de lechuga	4.3311	0.0003*
Polvo de lechuga <sup>2</sup>	-0.0806	0.5042
Qitosano	0.4645	0.0069*
Qitosano <sup>2</sup>	-0.0298	0.9682
Almidón	-7.5242	0.0245*
Almidón <sup>2</sup>	0.0849	0.1660
L × Q	-0.1115	0.7238
L × A	0.0576	0.5970
Q × A	0.2303	0.3993
R <sup>2</sup>		86.09%
C.V.		14.73%

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

C.V.: Coeficiente de variación.

L: Polvo de lechuga. Q: Qitosano. A: Almidón de maíz.

Valor con \* posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05).

La figura 6 representa de manera gráfica la relación entre las proporciones de las variables y el efecto que estas poseen sobre la fuerza de perforación. Cabe resaltar que el experimento de superficie de respuesta solo analiza una proporción de la gráfica elaborada.

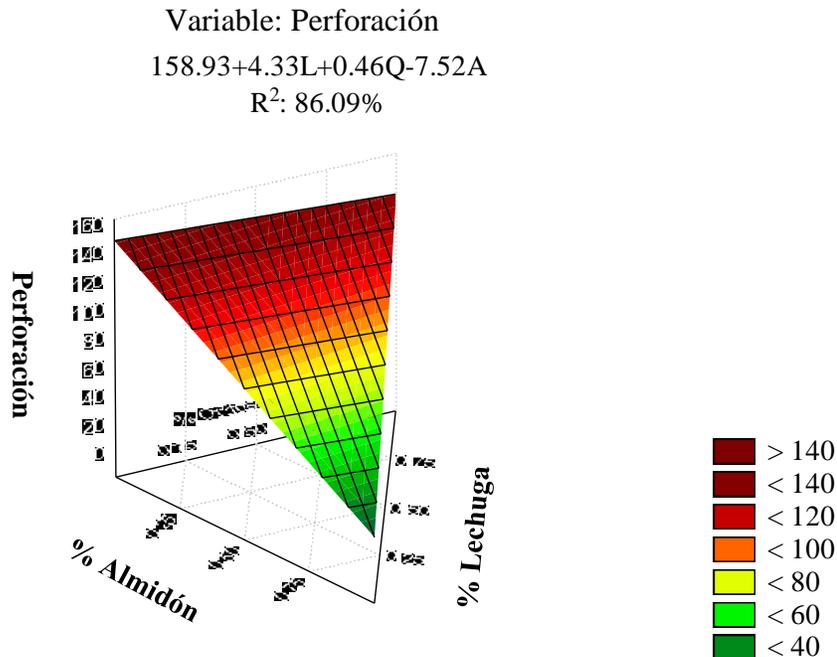


Figura 6. Efecto del porcentaje de polvo de lechuga, quitosano y almidón de maíz en base seca sobre la fuerza de perforación del material biodegradable.

**Espesor.** Definido como la distancia perpendicular entre dos superficies opuestas, es una medida de compra definida para las bandejas comerciales de EPS. Así como la densidad del plástico también el espesor es calibrado y específico según las necesidades de cada cliente por lo que representa un parámetro importante a simular (Nova Chemicals 2005).

Debido al procedimiento utilizado para la elaboración de las bandejas, se deben considerar las grietas que se generaban aleatoriamente en la superficie; estas pudieron sobreestimar los valores obtenidos para ciertos experimentales. A este efecto causado por el método de formado se puede atribuir el alto coeficiente de variación que presenta el análisis de regresión (cuadro 5).

Cuadro 5. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción del espesor del material biodegradable.

<b>Factor</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Valor P</b>
Intercepto	4.5886	0.0074*
Polvo de lechuga	0.1287	0.0087*
Polvo de lechuga <sup>2</sup>	-0.0010	0.7099
Quitosano	0.2212	0.0000*
Quitosano <sup>2</sup>	0.0144	0.3784
Almidón	-0.1141	0.0006*
Almidón <sup>2</sup>	0.0009	0.4705
L × Q	-0.0173	0.0250*
L × A	0.0004	0.8694
Q × A	0.0024	0.6725
R <sup>2</sup>		91.26 %
C.V.		31.49 %

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

C.V.: Coeficiente de variación.

L: Polvo de lechuga. Q: Quitosano. A: Almidón de maíz.

Valor con \* posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05).

Con base en las significancias del análisis de regresión (cuadro 5) se determinó la siguiente ecuación para predecir los valores del espesor en las bandejas elaboradas:

$$\text{Espesor (mm)} = 4.58 + 0.12L + 0.22Q - 0.11A - 0.017(L \times Q) \quad [18]$$

El quitosano es la variable de mayor influencia en el incremento del espesor (figura 8). Esto se puede deber a la expansión del mismo causado por la evaporación de las moléculas de agua al momento del horneado. Este al protonarse con la presencia del ácido acético (figura 7) ayuda a mejorar sus cadenas de carbono en una malla en la cual se atrapa agua que luego deja los espacios vacíos al evaporarse y expandir el quitosano (Wang M *et al.* 2017).

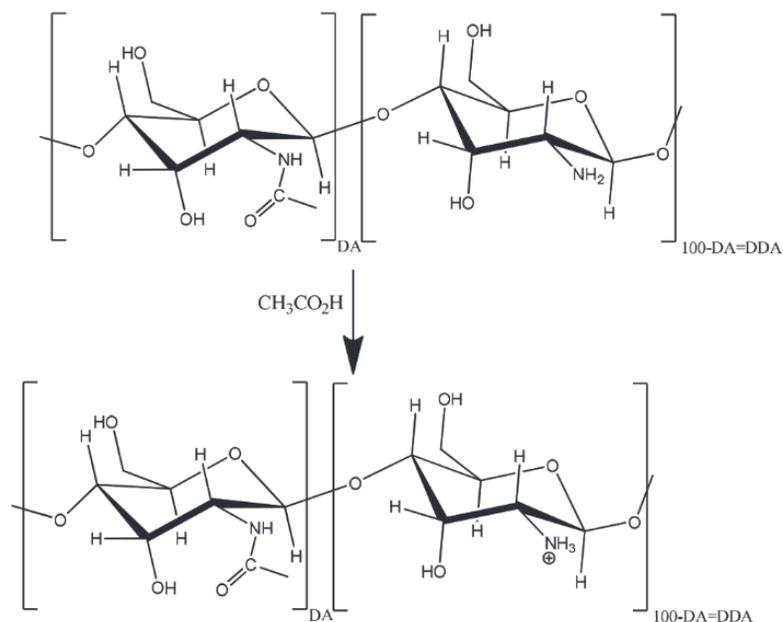


Figura 7. Protonización del quitosano en presencia de ácido acético (Laaraibi *et al.* 2018).

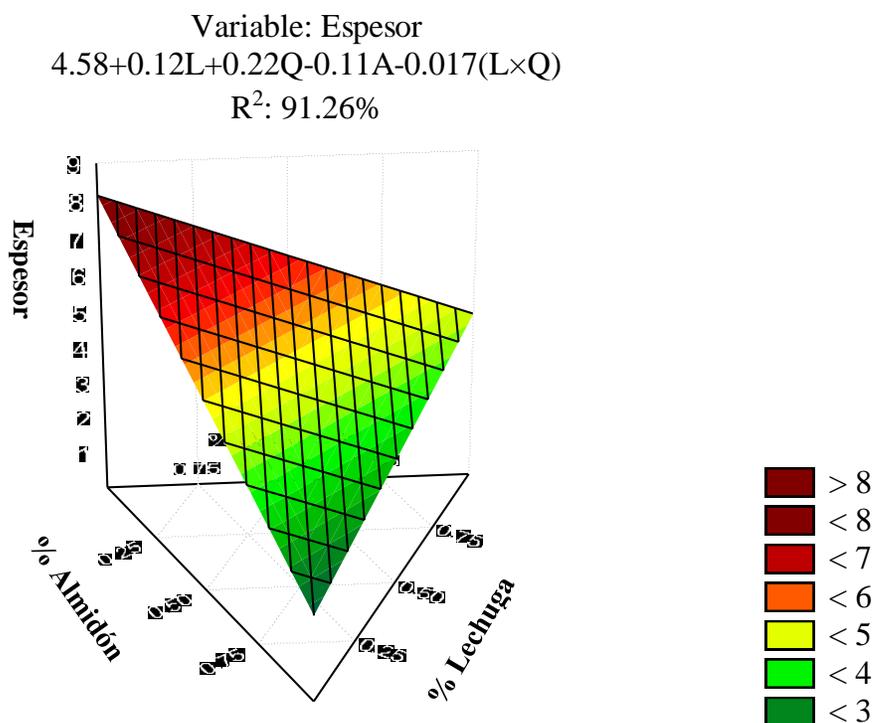


Figura 8. Efecto del porcentaje de polvo de lechuga, quitosano y almidón de maíz en base seca sobre el espesor del material biodegradable.

**Densidad inicial.** Medición tomada a la mezcla inicial del material con el fin de comprender el comportamiento del material al inicio del horneado y contrastar o comparar con la densidad final del mismo. El parámetro presentó un coeficiente de variación muy bajo sin embargo no presentó un coeficiente de determinación de alta predicción arriba del 80% (cuadro 6).

Cuadro 6. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción de la densidad inicial de la mezcla.

<b>Factor</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Valor P</b>
Intercepto	1.2335	0.0000*
Polvo de lechuga	-0.0110	0.3001
Polvo de lechuga <sup>2</sup>	0.0003	0.2126
Quitosano	0.0117	0.0309*
Quitosano <sup>2</sup>	0.0003	0.8018
Almidón	-0.0074	0.9653
Almidón <sup>2</sup>	0.0002	0.0878
L × Q	0.0006	0.2992
L × A	0.0000	0.8051
Q × A	-0.0010	0.0621
	R <sup>2</sup>	68.85%
	C.V.	2.69%

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

C.V.: Coeficiente de variación.

L: Polvo de lechuga. Q: Quitosano. A: Almidón de maíz.

Valor con \* posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05).

Con base en las significancias del análisis de regresión (cuadro 6) se determinó la siguiente ecuación para predecir los valores de la densidad inicial de la mezcla elaborada para el material:

$$\text{Densidad Inicial } \left(\frac{\text{g}}{\text{ml}}\right) = 1.23 + 0.011Q \quad [19]$$

La única variable significativa en la predicción de la densidad inicial es la cantidad de quitosano, sin embargo, no presenta un gran cambio debido al bajo coeficiente de determinación (figura 9).

Todas las densidades iniciales son > 1 por lo cual es una mezcla de material que se puede hundir en el agua y de una alta densidad en comparación a cada uno de sus componentes. Esto puede significar que los ingredientes se mezclaron molecularmente al disminuir su volumen aparente utilizado.

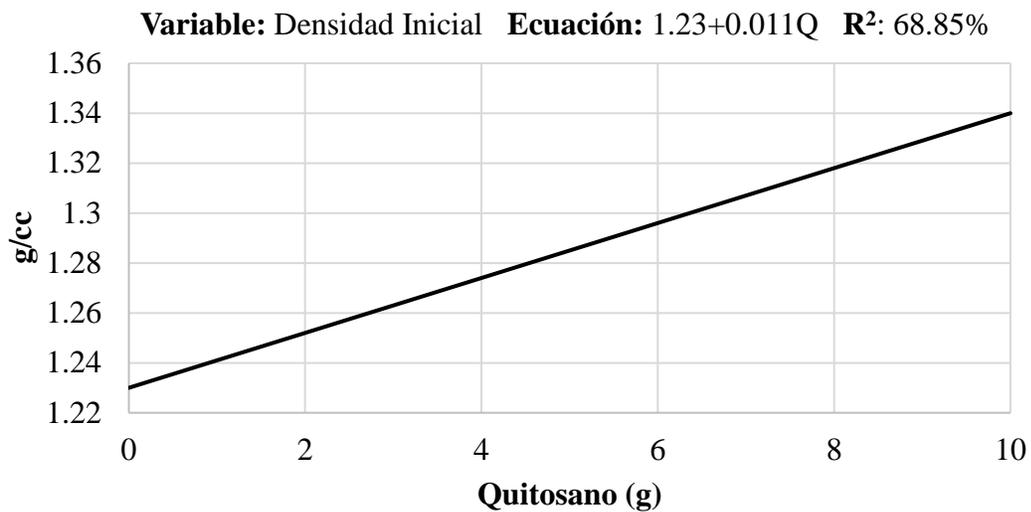


Figura 9. Efecto de la cantidad de quitosano sobre la densidad inicial de la mezcla.

**Densidad final.** Definido como la masa que posee un material en un determinado volumen. En el caso de los materiales porosos existen dos variables importantes de medición que son la densidad real sin poros y aparente con los poros, para este estudio todas las mediciones fueron de densidad aparente. En el cuadro 7 se muestran los resultados de los factores o variables analizadas.

Cuadro 7. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción de la densidad final del material biodegradable.

<b>Factor</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Valor P</b>
Intercepto	1.5105	0.0000*
Polvo de lechuga	-0.0282	0.6446
Polvo de lechuga <sup>2</sup>	0.0000	0.9910
Quitosano	-0.0475	0.0000*
Quitosano <sup>2</sup>	0.0024	0.3085
Almidón	-0.0299	0.0897
Almidón <sup>2</sup>	0.0006	0.0067*
L × Q	0.0027	0.0147*
L × A	0.0006	0.0993
Q × A	-0.0014	0.0970
R <sup>2</sup>		91.48%
C.V.		4.44%

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

C.V.: Coeficiente de variación.

L: Polvo de lechuga. Q: Quitosano. A: Almidón de maíz.

Valores con \* posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05).

Con base en las significancias del análisis de regresión (cuadro 7) se determinó la siguiente ecuación para predecir los valores del espesor en las bandejas elaboradas:

$$\text{Densidad final } \left(\frac{\text{g}}{\text{ml}}\right) = 1.51 - 0.04Q + 0.0006A^2 + 0.0027(L \times Q) \quad [20]$$

En este parámetro el quitosano y le contenido de fibra (polvo de lechuga) presentaron una interacción al igual que lo encontrado por Kaisangsri y colaboradores en el 2012. Ellos explican que la interacción es debido a la influencia que posee la fibra en medio de la matriz del biopolímero, mayor contenido de fibra resulta en un mayor peso final en un mismo volumen (figura 10). El quitosano por si solo reduce la densidad del material, esto es debido a que en comparación a los demás componentes presentes en la matriz este presenta la menor densidad aparente (de 0.15 a 0.3 g/cm<sup>3</sup> acorde a Sigma Aldrich<sup>®</sup>).

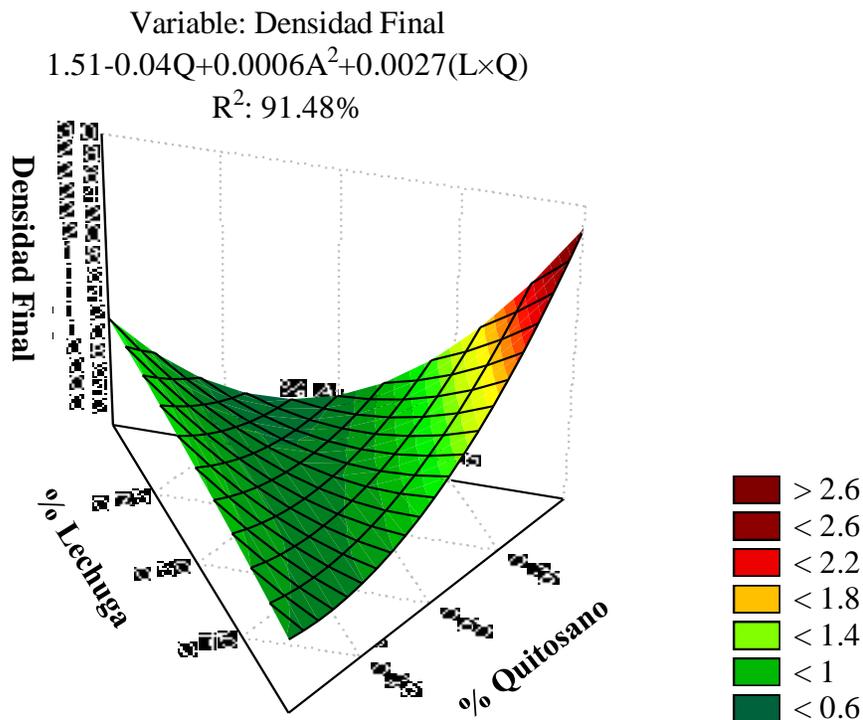


Figura 10. Efecto del porcentaje de polvo de lechuga, quitosano y almidón de maíz en base seca sobre la densidad final del material biodegradable.

**Luminosidad.** Es el primer parámetro de medición del color en el que se enfocó el estudio. Descrita como la luz total reflejada de un objeto y tomando en cuenta el modelo de color CIELAB se encuentra en una escala de 0 a 100. En el estudio la luminosidad fue un parámetro evaluado que no posee una relación verdadera con las variables estudiadas, esto se puede ver reflejado por el alto coeficiente de variación resultante en los análisis (cuadro 8). Esta variación se puede deber al aceite utilizado en el termoprensado, el cual pudo formar una capa delgada sobre la superficie de la bandeja e interferir por completo en la medición de luminosidad (D'Anna y Corridoni 2015).

Cuadro 8. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción de la luminosidad del material biodegradable.

<b>Factor</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Valor P</b>
Intercepto	17.8916	0.0039*
Polvo de lechuga	-0.1515	0.5916
Polvo de lechuga <sup>2</sup>	0.0157	0.1018
Quitosano	1.0034	0.0045*
Quitosano <sup>2</sup>	0.0168	0.7648
Almidón	0.0050	0.8991
Almidón <sup>2</sup>	0.0008	0.8551
L × Q	-0.0322	0.1912
L × A	-0.0002	0.9851
Q × A	-0.0132	0.5156
	R <sup>2</sup>	64.71%
	C.V.	110.15%

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

C.V.: Coeficiente de variación.

L: Polvo de lechuga. Q: Quitosano. A: Almidón de maíz.

Valor con \* posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05).

Con base en las significancias del análisis de regresión (cuadro 8) se determinó la siguiente ecuación para predecir los valores de luminosidad en las bandejas elaboradas:

$$\text{Luminosidad (L}^*) = 17.89 + 1.0034Q \quad [21]$$

El efecto del quitosano sobre la luminosidad en cuestión de apreciación visual es bajo (figura 11), el libro de diferenciación de color en imagen digital (Zhenliang 2003) nos explica que cambios en la luminosidad solo se diferencian por el ojo humano después de tres puntos en la escala. Por lo tanto, entre las 20 bandejas evaluadas solo se encuentran cuatro diferencias significativas para las diferentes cantidades de quitosano utilizadas en el estudio.

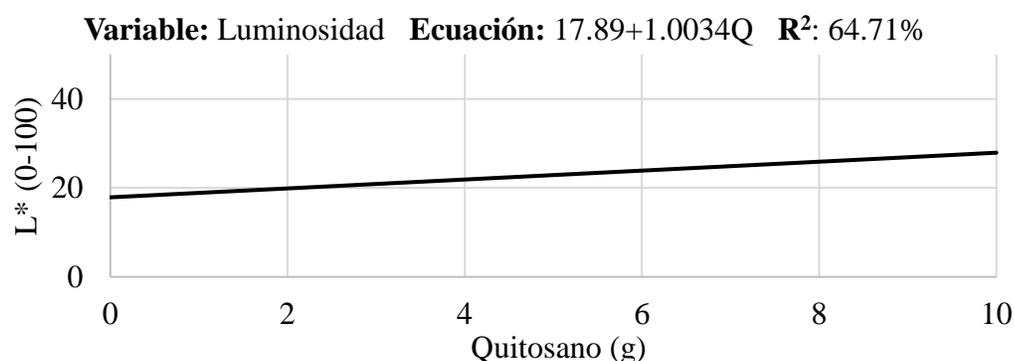


Figura 11. Efecto de la cantidad de quitosano sobre la luminosidad del material biodegradable.

**Tonalidad (Hue).** Definido como un atributo de sensación visual sobre el área de color a la cual se asemeja más entre rojo, amarillo, verde o azul. El hue presenta características que dificultan su evaluación al momento de variar la luminosidad, en este estudio debido a la variación de la luminosidad y por la baja magnitud en la escala (<30) se considera que no representa un parámetro significativo y debería evaluarse en diferentes condiciones (Sharma 2003).

Cuadro 9. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción de la tonalidad (Hue) del material biodegradable.

<b>Factor</b>	<b>Coeficiente</b>	<b>Valor P</b>
Intercepto	-88.8355	0.7089
Polvo de lechuga	-21.1897	0.1651
Polvo de lechuga <sup>2</sup>	1.2945	0.0114*
Quitosano	20.8430	0.3560
Quitosano <sup>2</sup>	0.5272	0.8449
Almidón	15.3125	0.3921
Almidón <sup>2</sup>	0.0373	0.8589
L × Q	2.6379	0.0380*
L × A	-0.7635	0.0722
Q × A	-2.0460	0.0549
	R <sup>2</sup>	80.91%
	C.V.	53.05%

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

C.V.: Coeficiente de variación.

L: Polvo de lechuga. Q: Quitosano. A: Almidón de maíz.

Valor con \* posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05).

Con base en las significancias del análisis de regresión (cuadro 9) se determinó la siguiente ecuación para predecir los valores de la tonalidad o Hue en las bandejas elaboradas:

$$\text{Matiz o Tonalidad (Hue}^\circ) = 1.29L^2 + 2.63(L \times Q) \quad [22]$$

Se considera que debido a que todas las formulaciones se estandarizaron con un 2.05 % de colorante la única fuente de variación de color debería ser el contenido de pirofeofitina y feofitina en el polvo de lechuga, así como el porcentaje de este en la formulación.

Debido a esto podemos relacionar la significancia encontrada en el modelo y su interacción con el quitosano es también descrita por Soni y colaboradores en el 2016; los cuales, encontraron que al aumentar la fibra de celulosa disminuía la transparencia o falta de color en los films elaborados (figura 12).

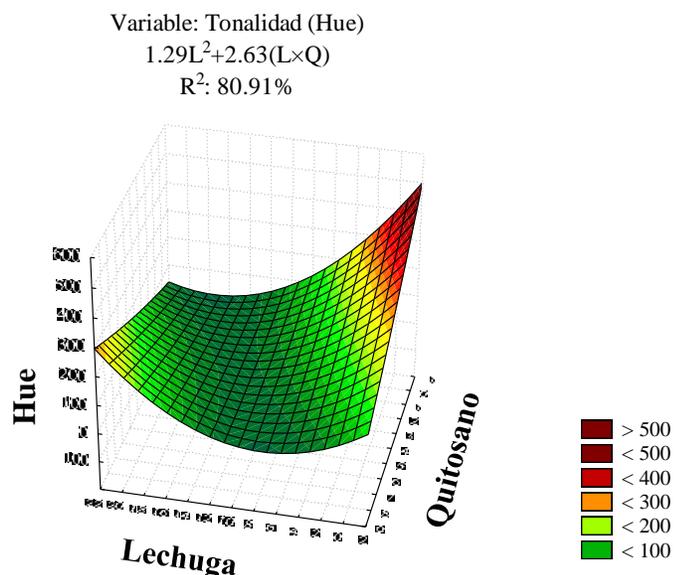


Figura 12. Efecto de la cantidad de quitosano y polvo de lechuga sobre la tonalidad (Hue) del material biodegradable.

**Croma (C\*).** Es el color relativo de un objeto en comparación al color blanco bajo la misma luminosidad (Sharma 2003). Al ser otro parámetro relacionado con los últimos dos, se considera irrelevante el valor obtenido debido a la dificultad en la medición, posibles variables no consideradas como el aceite utilizado en el termoformado y alto coeficiente de variación (cuadro 10).

Cuadro 10. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción de la saturación del color o croma del material biodegradable.

Factor	Coefficiente	Valor P
Intercepto	1.9492	0.5332
Polvo de lechuga	0.2861	0.0055*
Polvo de lechuga <sup>2</sup>	0.0053	0.3526
Quitosano	0.1073	0.0190*
Quitosano <sup>2</sup>	0.0396	0.2747
Almidón	-0.0985	0.0017*
Almidón <sup>2</sup>	0.0023	0.4030
L × Q	0.0002	0.9914
L × A	-0.0097	0.0786
Q × A	-0.0075	0.5545
R <sup>2</sup>		82.56%
C.V.		69.28%

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

C.V.: Coeficiente de variación.

PL: Polvo de lechuga. Q: Quitosano. A: Almidón de maíz.

Valor con \* posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05).

Con base en las significancias del análisis de regresión (cuadro 10) se determinó la siguiente ecuación para predecir los valores de croma o saturación del color en las bandejas elaboradas:

$$\text{Saturación o Croma} = 0.28L + 0.107Q - 0.098A \quad [23]$$

En el cual se puede denotar un incremento en la saturación del color al adicionar polvo de lechuga y quitosano en la matriz, debido a que son las variables que presentan mayor coloración en polvo en comparación al almidón que forma un gel incoloro u opaco (figura 13).

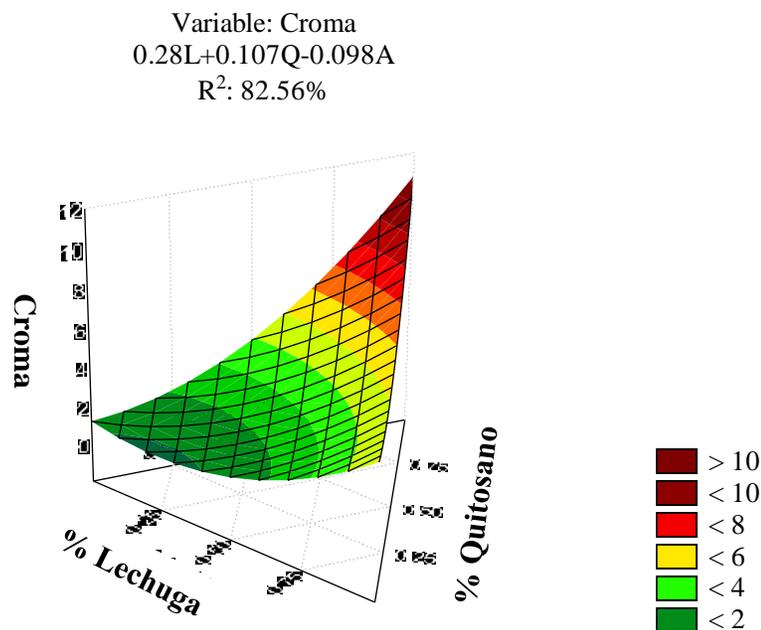


Figura 13. Efecto del porcentaje de polvo de lechuga, quitosano y almidón de maíz en base seca sobre la saturación del color o croma del material biodegradable.

**Índice de absorción de agua.** Es la medición de la cantidad de agua que puede ingresar a la matriz el material, esta puede estar influenciada por la cantidad de poros desarrollados en el termoprensado. Relacionada con la humedad del material (que debería ser igual pero no se realizó una medición para comprobar) que puede afectar la cantidad de absorción. El almidón puede ser la fuente principal de absorción de agua por ser una molécula hidrofílica (Thomas *et al.* 2019).

Con base en las significancias del análisis de regresión (cuadro 11) se determinó la siguiente ecuación para predecir los valores de absorción de agua en las bandejas elaboradas:

$$\text{Absorción de Agua} = 2.93 - 0.273Q \quad [24]$$

Cuadro 11. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción del porcentaje de absorción de agua del material biodegradable.

<b>Factor</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Valor P</b>
Intercepto	2.9351	0.0000*
Polvo de lechuga	0.0835	0.9646
Polvo de lechuga <sup>2</sup>	-0.0046	0.0994
Quitosano	-0.2736	0.0119*
Quitosano <sup>2</sup>	-0.0046	0.7760
Almidón	0.0506	0.4609
Almidón <sup>2</sup>	-0.0010	0.4539
L × Q	0.0073	0.2940
L × A	-0.0007	0.7560
Q × A	0.0046	0.4374
	R <sup>2</sup>	58.84%
	C.V.	31.84%

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

C.V.: Coeficiente de variación.

L: Polvo de lechuga. Q: Quitosano. A: Almidón de maíz.

Valor con \* posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05).

En los diferentes artículos publicados y citados en esta investigación uno de los enfoques principales es la absorción de agua debido a que es la característica más difícil de controlar al momento de comparar las bandejas con una de EPS que es hidrofóbico. Cabanillas y colaboradores en el 2019 obtuvieron valores del 6% que son bajos en comparación a este estudio, Díaz (2017) reporto valores entre el 75 y 80%, comparando con los valores obtenidos en el estudio, los valores encontrados son los más altos. La diferencia radica en la expresión de los resultados debido a que este estudio considera el peso intrínseco de la bandeja como parte del porcentaje de absorción total (figura 14).

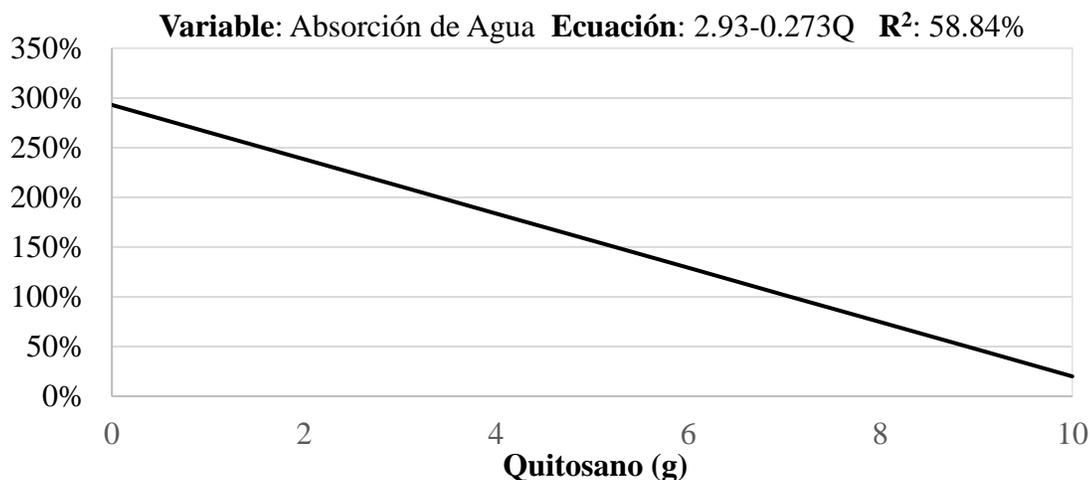


Figura 14. Efecto de la cantidad de quitosano sobre la capacidad de absorción de agua del material biodegradable.

El incremento del quitosano afecta a la absorción de agua debido a que este no presenta una solubilidad ni absorción de agua después de la protonación causada en el termoprensado.

**Índice de solubilidad en agua.** Parámetro evaluado con el fin de proporcionar información que ayude a degradar el material en el caso de disponerse en una fuente de agua. En el cual solo la cantidad de polvo de lechuga presenta una influencia en el índice de solubilidad en agua (cuadro 12).

Cuadro 12. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción del porcentaje de solubilidad en agua del material biodegradable.

<b>Factor</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Valor P</b>
Intercepto	1.4063	0.009*
Polvo de lechuga	-0.0285	0.0193*
Polvo de lechuga <sup>2</sup>	0.0000	0.9523
Quitosano	-0.1053	0.6434
Quitosano <sup>2</sup>	0.0052	0.3192
Almidón	-0.0628	0.0871
Almidón <sup>2</sup>	0.0007	0.0892
L × Q	0.0030	0.1740
L × A	0.0010	0.1756
Q × A	0.0014	0.4566
	R <sup>2</sup>	65.17%
	C.V.	9.99%

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

C.V.: Coeficiente de variación.

L: Polvo de lechuga. Q: Quitosano. A: Almidón de maíz.

Valor con \* posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05).

Con base en las significancias del análisis de regresión (cuadro 12) se determinó la siguiente ecuación para predecir los valores del espesor en las bandejas elaboradas:

$$\text{Solubilidad en Agua} = 1.40 - 0.028L \quad [25]$$

El incremento del polvo de lechuga presenta una disminución de la solubilidad en agua de las bandejas elaboradas (figura 15). Esto se debe a que aumentar el contenido de fibra genera una mayor resistencia en la matriz que puede impedir el ingreso de agua para solubilizar la estructura. De la misma manera, las fibras presentes en el polvo de lechuga no presentan una alta solubilidad en agua (ISA del 23% en base a los resultados de la primera fase) en comparación con los demás ingredientes que poseen alta solubilidad, incluyendo el quitosano después de protonarse.

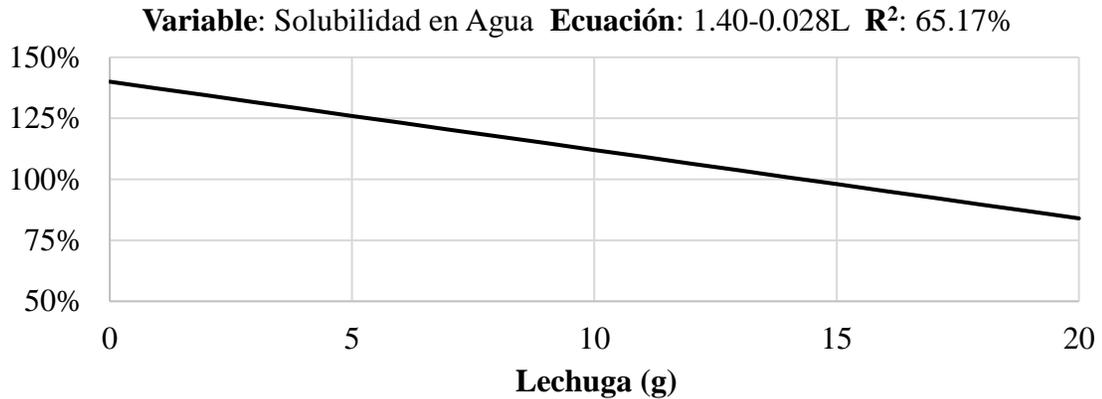


Figura 15. Efecto de la cantidad de polvo de lechuga sobre la capacidad de solubilidad en agua del material biodegradable.

**Porcentaje de expansión.** Parámetro estimado utilizando la relación del volumen real que obtuvo cada bandeja con el volumen teórico por diferencia de pesos. El poliestireno expandido de acuerdo a la Organización Australiana del Poliestireno Expandido (EPSA Organisation en inglés) debe lograr expandirse entre 40 a 50 veces su tamaño original. Por lo cual se consideró que la posible expansión del material elaborado puede aportar a un desarrollo similar al EPS. El quitosano es la variable que determina principalmente el porcentaje de expansión (cuadro 13). Este efecto puede deberse al mismo fenómeno explicado para la variable del espesor.

Cuadro 13. Coeficientes de los factores y su significancia en la predicción del porcentaje de expansión del material biodegradable.

Factor	Coefficiente	Valor P
Intercepto	0.8587	0.1106
Polvo de lechuga	0.0147	0.4293
Polvo de lechuga <sup>2</sup>	0.0010	0.2784
Quitosano	0.1041	0.0048*
Quitosano <sup>2</sup>	0.0002	0.9700
Almidón	0.0240	0.3477
Almidón <sup>2</sup>	-0.0002	0.6261
L × Q	-0.0026	0.2857
L × A	-0.0010	0.2246
Q × A	-0.0012	0.5549
	R <sup>2</sup>	63.72%
	C.V.	11.26%

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

C.V.: Coeficiente de variación.

L: Polvo de lechuga. Q: Quitosano. A: Almidón de maíz.

Valor con \* posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05).

Con base en las significancias del análisis de regresión (cuadro 13) se determinó la siguiente fórmula para predecir los valores del porcentaje de expansión en las bandejas elaboradas:

$$\text{Coeficiente de Expansión} = 0.1041Q \quad [26]$$

En la figura 16 se puede observar el crecimiento de la expansión teórica causada por el incremento del quitosano.

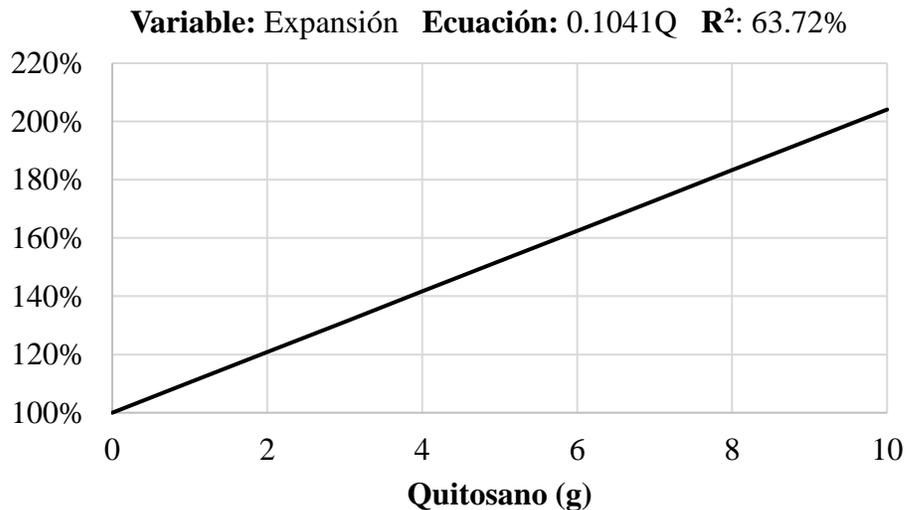


Figura 16. Efecto de la cantidad de quitosano sobre el porcentaje de expansión del material biodegradable.

Al evaluar cada una de los parámetros anteriores y tomando en cuenta los lineamientos para la selección de los modelos a utilizar en la función de deseabilidad descritos por Gutiérrez Pulido *et al.* (2008). Se eligieron los parámetros de Espesor, Densidad Final y Fuerza de Perforación como los mejores predictores del comportamiento del material biodegradable. También se debe reconocer que el quitosano es la variable de mayor influencia en los parámetros evaluados exceptuando la solubilidad en agua.

Tomando en consideración los parámetros seleccionados para predecir el comportamiento del material, se desarrolló la función de deseabilidad (figura 17). Para el espesor se consideró deseable un valor por encima de la media del experimento, esto debido a que, en conjunto con la densidad final (con una alta deseabilidad a un nivel inferior a la media del experimento) indican una buena expansión del material que es lo deseado. Para la fuerza de perforación se consideró deseable un valor por encima de la media con el fin de obtener un material liviano, pero con la mayor resistencia posible.

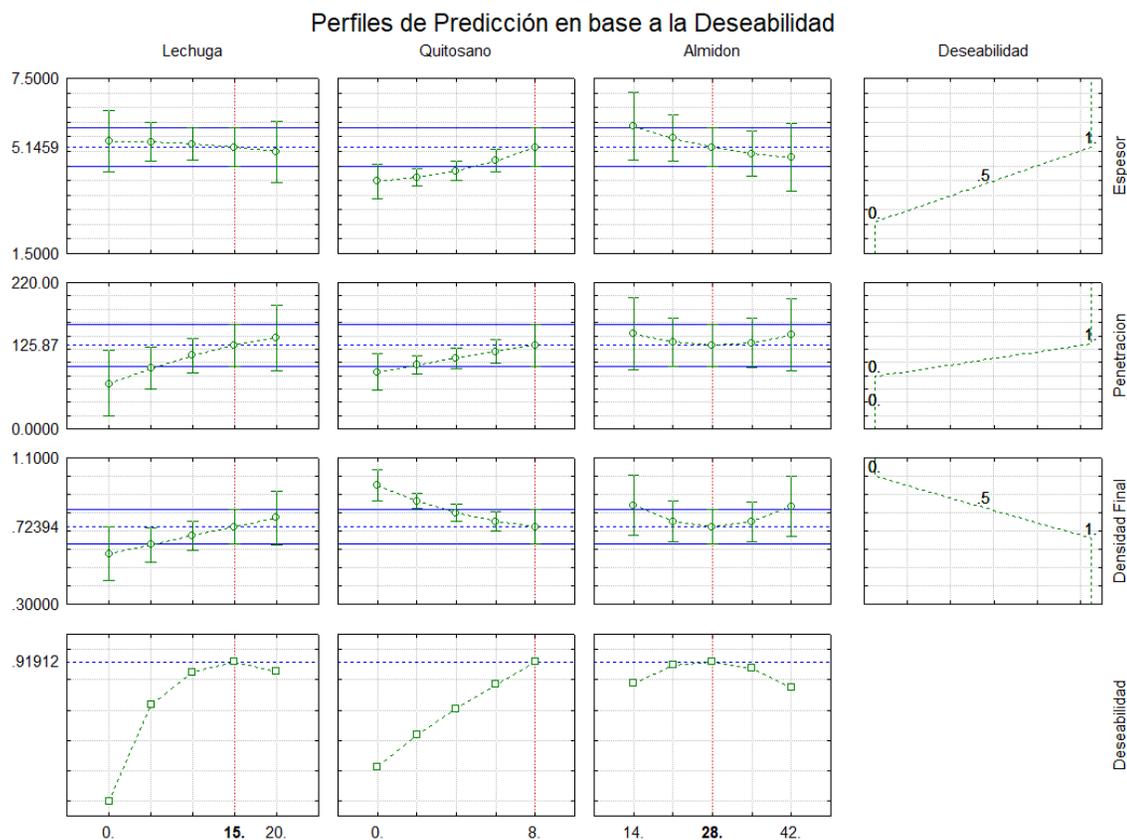


Figura 17. Valores óptimos de la función de deseabilidad en base al espesor, la perforación y la densidad final del material biodegradable.

**Análisis de degradación.** Todos los experimentales se sometieron al análisis de degradación en compostaje exceptuando el experimental 15 debido a que se considera una repetición del punto central (que ya cuenta con cinco repeticiones) y fue con el objetivo de optimizar espacio, así como, introducir al análisis el control o comparación siendo con el EPS. Según la norma europea EN13432 se considera un material “biodegradable” cuando en un ambiente rico en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se degrada al menos el 90% de este en menos de seis meses. Se considera un material degradado aquel con un tamaño de partícula menor a 2 mm. Conforme al análisis del laboratorio de suelos el compostaje en el cual se desarrolló el análisis de degradación contenía 11.85% de carbono orgánico lo cual se considera de una cantidad muy alta (Arévalo y Gauggel 2017) por lo cual ayuda de forma rápida y abundante a las reacciones de descomposición de los materiales presentes.

Las formulaciones del material están compuestas por agua, almidón de maíz, polvo de lechuga, quitosano, glicerol, colorante alimenticio y ácido acético; ingredientes que se consideran biodegradables cada uno por separado. Se podría inferir que el compuesto elaborado como tal debería ser biodegradable y en efecto lo fue.

Las fotos iniciales se tomaron para cuantificar el área superficial que podía afectarse en el estudio, sin embargo, al finalizar los 30 días del análisis no se logró determinar el área final (figura 20). Esto debido a que el compostaje se encontraba mezclado con la bandeja como uno solo (figura 18), incluso se encontraron gusanos creciendo en medio de la matriz de la bandeja (figura 19).



Figura 18. Efecto de la degradación a 30 días en el área superficial de un experimental.

La materia orgánica (MO) del suelo viene de diferentes fuentes de descomposición, al determinarse que el material desarrollado es biodegradable este puede contribuir a mejorar la cantidad de MO presente en el mismo. En el contenido de la bandeja elaborada existen tres fuentes de carbohidratos (polvo de lechuga, almidón y quitosano) por lo cual presentan un potencial desarrollo en alimento para micro y macro organismos (FAO 2017).



Figura 19. Fotografía de gusanos encontrados en la matriz interna del material evaluado a los 30 días de degradación en compostaje.



Figura 20. Efecto de la degradación en compostaje durante 0 y 30 días en los experimentales evaluados.

El potencial peligro identificado con los análisis del estudio es el colorante en el medio ambiente, como por ejemplo en fuentes de agua subterránea. También se consideró evaluar que otro efecto dañino potencial podría tener la degradación en suelo del material. Debido a que el material es ácido por el uso de ácido acético se puede considerar que este tendría un efecto en el pH del suelo. El cual es de gran importancia para el desarrollo de microorganismos (Zhalnina 2014), así como la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Arévalo y Gauggel 2017).

### **Evaluación de vida de anaquel.**

Se conoce como vida de anaquel al tiempo en el cual, el producto es apto para consumo y mantiene sus características de calidad después de ser empacado y distribuido (Corradini 2018). El enfoque del estudio es el material biodegradable desarrollado por lo que la evaluación en la vida de anaquel se analizó como el producto contenido en la bandeja afecto al material.

En frutas y verduras la alta humedad de los mismos es un factor importante para la estabilidad en la vida de anaquel. El melón tiene uno de los valores más altos de humedad en comparación al brócoli y el maíz (de acuerdo a la USDA en su base de datos de alimentos). Al final del análisis de vida útil se observó que el melón absorbió el color negro añadido por el colorante (Figura 21) y aporó humedad hacia la bandeja, pero comparando olor entre las dos bandejas no se identificaron diferencias.

Los materiales de almidón de maíz y quitosano presentan este problema de absorción de humedad, en este caso absorbió alrededor del 35% otros autores como Kaisangsri (2012, 2014), Cabanillas (2019) y Cruz-Tirado (2017) que obtuvieron valores similares o mayores. Esto debido a que los carbohidratos presentan una alta solubilidad debido a la polaridad de la molécula (Cardoso *et al.* 2012) por lo tanto es posible absorber humedad del ambiente al momento de vida de anaquel en refrigeración (con humedades del 80%) o del alimento como tal.

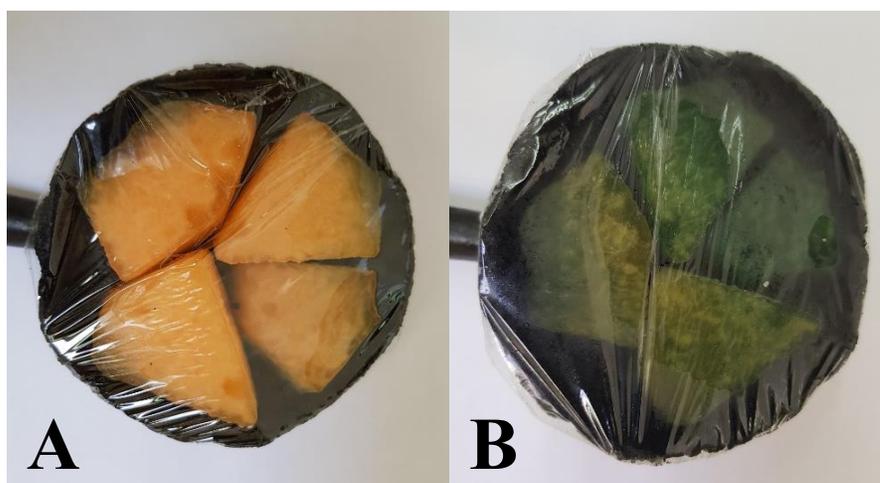


Figura 21. Fotografía comparativa entre el melón en el material biodegradable a los 2 días (A) y 15 días (B) de almacenamiento.

El colorante al ser una partícula pequeña puede transmitirse fácilmente por capilaridad en el producto. Debido al comportamiento observado, se evaluó el color (además de visual en cada tratamiento) como un analítico para el melón con el fin de cuantificar las diferencias en los parámetros de luminosidad, croma y hue (cuadro 14).

Cuadro 14. Efecto del tipo de empaque en los parámetros de color del melón después de dos semanas de almacenamiento.

<b>Parámetro</b>	<b>Material Biodegradable</b>	<b>Poliestireno Expandido</b>	<b>C.V.%</b>
Luminosidad* (0-100)	20.93±3.75	49.10±0.93	3.80
Croma* (0-60)	11.11±3.94	47.37±1.34	4.09
Hue <sup>o</sup> * (0-360)	93.12±10.7	55.93±0.29	10.70

C.V.: Coeficiente de variación.

Valores de la misma fila con \* poseen diferencia significativa prueba T Student  $P < 0.05$ .

La fuerza de perforación es un parámetro que se buscó optimizar con el fin de desarrollar un material duradero y mejor que el EPS. Este se vio afectado durante la vida de anaquel debido a la absorción de agua y al poseer componentes solubles en la misma, por ende, los poros internos de la estructura se debilitan presentando una reducción en la fuerza necesaria para perforación. En comparación sin utilizar el material presenta una mejor fuerza al EPS sin embargo al final de la vida de anaquel este no varía su fuerza (cuadro 15).

Cuadro 15. Efecto del contenido de la bandeja en los parámetros de perforación y absorción de agua en la bandeja de material biodegradable después de dos semanas de almacenamiento.

<b>Bandeja</b>	<b>Fuerza de perforación (N)</b>	<b>Absorción de agua (g)</b>
EPS 0 días	43.5±3.8 <sup>B</sup>	N/A
EPS 15 días	43.1±4.2 <sup>B</sup>	N/A
Biodegradable c/Nada	96.0±10 <sup>A</sup>	10.82±0.03 <sup>A</sup>
Biodegradable c/Maíz	27.9±2.9 <sup>C</sup>	14.64±0.65 <sup>B</sup>
Biodegradable c/Brócoli	25.7±1.8 <sup>C</sup>	15.57±0.14 <sup>C</sup>
Biodegradable c/Melón	25.4±2.1 <sup>C</sup>	16.21±0.45 <sup>C</sup>
C.V.%	8.68	2.80

EPS: Poliestireno expandido. N/A: Sin datos.

C.V.: Coeficiente de variación.

<sup>A-C</sup> Valores de la misma columna con letras diferentes poseen diferencia significativa prueba Duncan  $P < 0.05$ .

### **Características finales del material biodegradable desarrollado.**

El material biodegradable desarrollado es mejor en cuando a la fuerza de perforación en comparación a una bandeja de EPS (cuadro 16). Sin embargo, presenta características de absorción de agua y aceites no deseables para los empaques.

Cuadro 16. Comparación entre una bandeja del material biodegradable elaborado y una de poliestireno expandido en diferentes parámetros.

<b>Parámetro</b>	<b>Material Biodegradable</b>	<b>EPS</b>
Espesor*	4.78 ± 0.2	3.48 ± 0.3
Densidad Inicial (g/ml)*	1.2 ± 0.01	0.01 ± 0.001
Densidad Final (g/ml)*	1.0 ± 0.01	0.01 ± 0.001
Perforación (N)*	96.5 ± 5.3	43.47 ± 3.8
Humedad (%)	8.0 ± 0.09	N/A
IAA (%)	236.7 ± 8.5	N/A
ISA (%)	31.3 ± 16	N/A
Grasa Externa (%)	12.11 ± 0.19	N/A
Migración (%)	20.71 ± 1.9	N/A

EPS: Poliestireno expandido. N/A: Sin datos.

IAA: Índice de absorción de agua. ISA: Índice de solubilidad de agua.

Valores de la misma fila con \* poseen diferencia significativa prueba T Student  $P < 0.05$ .

## 4. CONCLUSIONES

- Se elaboró un polvo de lechuga utilizando un secado de convección forzada y se obtuvo una humedad del 18%, un contenido de fibra del 30 al 40% y un índice de absorción de agua del 60%.
- Se determinó que una proporción de 29.4% de polvo de lechuga, 15.7% quitosano y 54.9% de almidón en base seca de la formulación optimiza los valores de fuerza de perforación, espesor y densidad final del material biodegradable.
- El material biodegradable desarrollado tiene una fuerza de perforación mayor al EPS analizado y es completamente degradable, sin embargo, presenta características de absorción de agua no favorables en comparación a las bandejas convencionales.
- Durante la vida de anaquel del melón, brócoli y maíz no se observaron diferencias olfativas y táctiles en las bandejas, solamente se visualizó un daño por transmisión de color por parte del material biodegradable elaborado en comparación a las bandejas convencionales.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Realizar un estudio de factibilidad de la producción industrial del material biodegradable.
- Generar la formulación sin el uso de colorante o recubrir el material con alguna goma que no permita el paso de color y agua de la bandeja.
- Realizar el experimento con un diseño de mezclas o simplex para comparar con los resultados obtenidos en la metodología de superficie de respuesta y considerar evaluar diferentes proporciones de glicerol en la mezcla.
- Evaluar el impacto ambiental que posee la degradación del material realizado.
- Evaluar otro tipo de uso al material desarrollado en diferentes matrices en comparación al plástico convencional.

## 6. LITERATURA CITADA

- Andrady AL, Neal MA. 2009. Applications and societal benefits of plastics. *Philos Trans R Soc Lond, B, Biol Sci.* 364(1526):1977–1984. eng. doi:10.1098/rstb.2008.0304.
- Arévalo G, Gauggel C. 2017. Manual de laboratorio: Manejo de suelos y aguas. 3ª ed. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Cabanillas A, Nuñez J, Cruz-Tirado JP, Vejarano R, Tapia-Blácido DR, Arteaga H, Siche R. 2019. Pineapple shell fiber as reinforcement in cassava starch foam trays. *Polymers and Polymer Composites.* 27(8):496–506. doi:10.1177/0967391119848187.
- Cardoso MVC, Carvalho LVC, Sabadini E. 2012. Solubility of carbohydrates in heavy water. *Carbohydr Res.* 353:57–61. eng. doi:10.1016/j.carres.2012.03.005.
- Carvalho FA. 2015. Desenvolvimento de revestimentos biodegradáveis à base de álcool polivinílico para bandejas de amido de mandioca [Tesis]. Londrina: Universidade estadual de londrina. 155 p.
- Castillo Téllez M, Pilatowsky Figueroa I, Castillo Téllez B, López Vidaña EC, López Ortiz A. 2018. Solar drying of Stevia (*Rebaudiana Bertoni*) leaves using direct and indirect technologies. *Solar Energy.* 159:898–907. doi:10.1016/j.solener.2017.11.031.
- Chariguaman JA. 2015. Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.) [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 68 p.
- Corradini MG. 2018. Shelf Life of Food Products: From Open Labeling to Real-Time Measurements. *Annu Rev Food Sci Technol.* 9:251–269. eng. doi:10.1146/annurev-food-030117-012433.
- Cruz-Tirado JP, Siche R, Cabanillas A, Díaz-Sánchez L, Vejarano R, Tapia-Blácido DR. 2017. Properties of baked foams from oca (*Oxalis tuberosa*) starch reinforced with sugarcane bagasse and asparagus peel fiber. *Procedia Engineering.* 200:178–185. doi:10.1016/j.proeng.2017.07.026.
- D'Anna M, Corridoni T. 2015. Thin Film Interference: An Experiment with Microwaves and Paraffin Oil. *The Physics Teacher.* 53(8):475–477. doi:10.1119/1.4933149.
- Díaz XJ. 2017. Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir maíz, papa, soya y glicerol por el método de termoprensado [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Departamento de Agroindustria Alimentaria. 53 p.

- FAO, United Nations Industrial Development Organization. 2005. Herbs, spices and essential oils: Post-harvest operations in developing countries. Roma: FAO. 70 p. tesis. <http://www.fao.org/3/a-ad420e.pdf>.
- FAO, United Nations Industrial Development Organization. 2015. Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction. USA: FAO. 8 p.
- FAO, United Nations Industrial Development Organization. 2017. Producción de Lechuga en Centroamérica en los años 2014 - 2016. Internet: FAO; [actualizado el 19 de sep. de 2018; tes. <http://www.fao.org/faostat/en/>].
- Ferreira SLC, Bruns RE, Ferreira HS, Matos GD, David JM, Brandão GC, da Silva EGP, Portugal LA, dos Reis PS, Souza AS, et al. 2007. Box-Behnken design: an alternative for the optimization of analytical methods. *Anal Chim Acta*. 597(2):179–186. eng. doi:10.1016/j.aca.2007.07.011.
- Gallego-Schmid A, Mendoza JMF, Azapagic A. 2019. Environmental impacts of takeaway food containers. *Journal of Cleaner Production*. 211: 417 – 427. doi: 10.1016/j.jclepro. 2018.11.220.
- Golova OP. 1975. Chemical effects of heat on cellulose. *Russian Chemical Reviews*. 44(8):687–697. <http://iopscience.iop.org/0036-021X/44/8/R05>).
- Grand View Research. 2016. Flexible Packaging Market Analysis by Raw Material (Paper, Aluminum Foil, Plastics, Bioplastics), By Application (Food & Beverages, Pharmaceutical, Cosmetic) and Segment Forecasts to 2022. USA: Grand View Research. [consultado 2018 feb 07]. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-flexible-packaging-market/toc>.
- Gutiérrez Pulido H, La Vara Salazar Rd, Cano Carrasco A, Osorio Sánchez M. 2008. Análisis y diseño de experimentos. 2a ed. México: Mc Graw-Hill. xvi, 545. ISBN: 978-970-10-6526-6.
- Indrasti D, Andarwulan N, Purnomo E, Harik O, Wulandari N. 2018. Stability of Chlorophyll as Natural Colorant: A Review for Suji (*Dracaena angustifolia* (Medik.) Roxb.) Leaves' Case. *Curr Res Nutr Food Sci*. 6(3):609–625. doi:10.12944/CRNFSJ.6.3.04.
- Ingrao C, Lo Giudice A, Bacenetti J, Mousavi Khaneghah A, Sant'Ana AS, Rana R, Siracusa V. 2015. Foamy polystyrene trays for fresh-meat packaging: Life-cycle inventory data collection and environmental impact assessment. *Food Res Int*. 76(3):418–426. eng. doi:10.1016/j.foodres.2015.07.028.
- Jones RM. 2009. Deformation theory of plasticity. Blacksburg, Va.: Bull Ridge Pub. xviii, 622. ISBN: 9780978722319.
- Kaisangsri N, Kerdchoechuen O, Laohakunjit N. 2012. Biodegradable foam tray from *cassava* starch blended with natural fiber and chitosan. *Industrial Crops and Products*. 37(1):542–546. doi:10.1016/j.indcrop.2011.07.034.

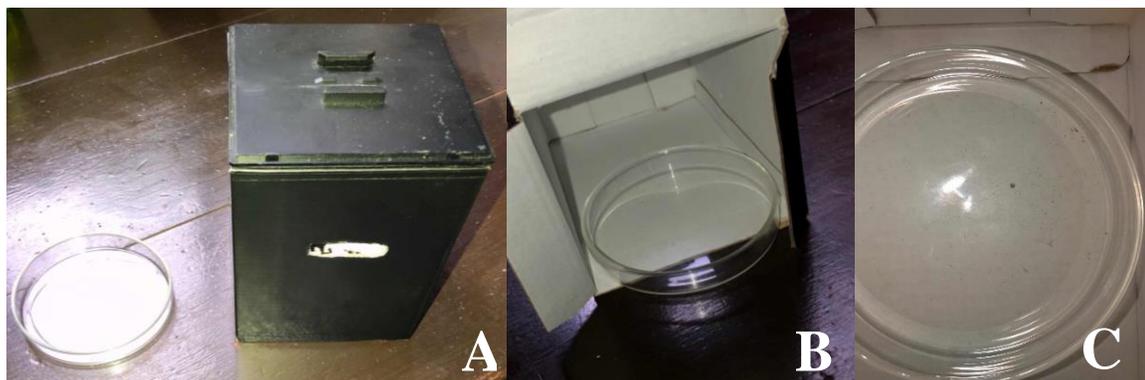
- Kaisangsri N, Kerdchoechuen O, Laohakunjit N, B. Matta F. 2014. Cassava Starch-Based Biodegradable Foam Composited with Plant Fibers and Proteins. *J. Compos. Biodegradable*. 2(2):71–79. doi:10.12974/2311-8717.2014.02.02.3.
- Ketkaew S, Kasemsiri P, Hiziroglu S, Mongkolthanasarak W, Wannasutta R, Pongsa U, Chindaprasirt P. 2018. Effect of Oregano Essential Oil Content on Properties of Green Biocomposites Based on Cassava Starch and Sugarcane Bagasse for Bioactive Packaging. *J Polym Environ*. 26(1):311–318. doi:10.1007/s10924-017-0957-x.
- Krarup C, Fernández C, Nakashima K. sep. 2010. Manual Electrónico de Poscosecha de Hortalizas [Manual Electronico]. Chile: Universidad Católica de Chile, Vicerrectoría Académica, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal; [consultado el 8 de oct. de 2018]. [http://www.puc.cl/sw\\_educ/poscosecha/index.html](http://www.puc.cl/sw_educ/poscosecha/index.html).
- Laaraibi A, Moughaoui F, Damiri F, Ouakit A, Charhouf I, Hamdouch S, Jaafari A, Abourriche A, Knouzi N, Bennamara A, et al. 2018. Chitosan-Clay Based (CS-NaBNT) Biodegradable Nanocomposite Films for Potential Utility in Food and Environment. doi:10.5772/intechopen.76498.
- Mármol Z, Páez G, Rincón M, Araujo K, Aiello C, Chandler C, Gutiérrez E. 2011. Quitina y quitosano polímeros amigables. Una revision de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientífica URU*. (1):53–58.
- Medina-Jaramillo C, Ochoa-Yepes O, Bernal C, Famá L. 2017. Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. *Carbohydr Polym*. 176:187–194. doi:10.1016/j.carbpol.2017.08.079.
- Montoya Arbeláez JI. 2014. Pirólisis rápida de biomasa. 1ª ed. Medellín: Instituto Colombiano del Petróleo-Ecopetrol. 199 p. ISBN: 978-958-761-774-0.
- Nature. 2018. The future of plastic. *Nat Commun*. 9(1):2157. eng. doi:10.1038/s41467-018-04565-2.
- Nova Chemicals. 2005. Expandable Polystyrene: Storage and handling safety guide.
- Pan Y, Farmahini-Farmahani M, O'Hearn P, Xiao H, Ocampo H. 2016. An overview of bio-based polymers for packaging materials. *Journal of Bioresources and Bioproducts*. 1(3):106–113. <http://www.bioresources-bioproducts.com/index.php/bb/article/view/49/34>.
- Perotto G, Ceseracciu L, Simonutti R, Paul UC, Guzman-Puyol S, Tran T-N, Bayer IS, Athanassiou A. 2018. Bioplastics from vegetable waste via an eco-friendly water-based process. *Green Chem*. 20(4):894–902. doi:10.1039/C7GC03368K.
- Quintanilla Portillo JF, Mejía Salguero RI. 2018. Desarrollo de pasta elaborada a base de harina de trigo y lechuga (*Lactuca sativa*) deshidratada en polvo o harina de cáscara de zanahoria (*Daucus carota*). [fao]. Escuela Agrícola Panamericana. 46 p.
- Raghavendra SN, Rastogi NK, Raghavarao KSMS, Tharanathan RN. 2004. Dietary fiber from coconut residue: effects of different treatments and particle size on the hydration properties. *European Food Research and Technology*. 218(6):563–567. doi:10.1007/s00217-004-0889-2.

- Recabarren PE. 2017. Pérdida y desperdicios de alimentos: Prevención y reducción; pérdida y desperdicio de alimentos. Chile. 14 p. [consultado 2018 dic 14]. <http://www.fao.org/3/a-i7248s.pdf>.
- Rezaei M, Liu B. 2017. Food loss and waste in the food supply chain. International Nut and Dried Fruit Council. 26–27. [consultado 2018 sep 02]. <http://www.fao.org/3/a-bt300e.pdf>.
- Ribeiro LC, Costa JMCd, Afonso MRA. 2016. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp powder. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* 20(3):269–274. doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p269-274.
- Rojas OJ, editor. 2016. *Cellulose Chemistry and Properties: Fibers, Nanocelluloses and Advanced Materials*. Cham: Springer International Publishing. 341 p. (vol. 271).
- Schmidt VC, Laurindo JB. 2010. Characterization of Foams Obtained from Cassava Starch, Cellulose Fibres and Dolomitic Limestone by a Thermopressing Process. *Brazilian Archives of Biology and Technology.* 53(1):185–192.
- Schmitz FRW, Paulo IdA, Carvalho LF de, Bertoli SL, Souza CK de. 2017. Advanced Methodology for Analysis of Changes in the Storage Lettuce Surface. *MOJFPT.* 5(2). doi:10.15406/mojfpt.2017.05.00121.
- Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods.* 9(7):671–675. eng.
- Sharma G. 2003. *Digital Color Imaging Handbook*. Florida: CRC Press LLC. 764 p. ISBN: 9780849309007; [consultado el 15 de oct. de 2018].
- Soni B, Hassan EB, Schilling MW, Mahmoud B. 2016. Transparent bionanocomposite films based on chitosan and TEMPO-oxidized cellulose nanofibers with enhanced mechanical and barrier properties. *Carbohydr Polym.* 151:779–789. eng. doi:10.1016/j.carbpol.2016.06.022.
- Stagnari F, Galieni A, Pisante M. 2015. Shading and nitrogen management affect quality, safety and yield of greenhouse-grown leaf lettuce. *Scientia Horticulturae.* 192:70–79. doi:10.1016/j.scienta.2015.05.003.
- Thomas MS, Koshy RR, Mary SK, Thomas S, A. Pothan L, editores. 2019. *Starch, Chitin and Chitosan Based Composites and Nanocomposites*. Cham: Springer International Publishing. 65 p. (Biobased Polymers). ISBN: 978-3-030-03158-9.
- USDA, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 2018. National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release: Food Composition Databases Show Foods [Lettuce, green leaf, raw]. USA: NAL; [consultado el 13 de oct. de 2018]. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/>.
- USDA, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 2019. National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release: Food Composition Databases Show Foods [Wheat, Bran, Crude]. USA: NAL; [consultado el 1 de abr. de 2018]. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/>.

- Wang M, Ma Y, Sun Y, Hong SY, Lee SK, Yoon B, Chen L, Ci L, Nam J-D, Chen X, et al. 2017. Hierarchical Porous Chitosan Sponges as Robust and Recyclable Adsorbents for Anionic Dye Adsorption. *Sci Rep.* 7(1):18054. eng. doi:10.1038/s41598-017-18302-0.
- Zhenliang S. 2003. Colour differentiation in digital images. Australia: Victoria University of Technology. 183 p. [consultado 2019 may 17]. <https://core.ac.uk/download/pdf/10834110.pdf>.

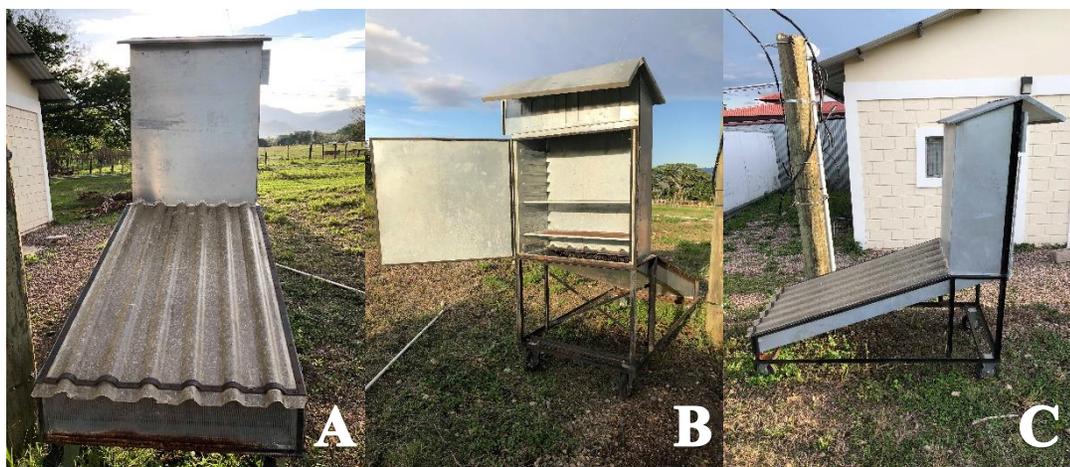
## 7. ANEXOS

**Anexo 1.** Cámara para la toma de fotografías del análisis de color de la fase 1.



Caja de cartón con 10 cm × 10 cm de base y 15 cm de largo, un orificio para el lente del teléfono. En la fotografía “C” se muestra una foto tomada adentro de la caja con el plato Petri colocado sin muestra.

**Anexo 2.** Deshidratador utilizado en el estudio.



Mide 2.20 m desde la base hasta la parte más alta, con un ancho de 1.90 m. La cámara de secado mide de alto 80 cm con una base de 38 cm × 85 cm. La cámara de calentamiento tiene un área de 95 cm × 155 cm con una profundidad de 15.5 cm. Todo elaborado con aluminio y la cámara central con lamina plástica de fibra de vidrio.

**Anexo 3.** Resumen de los datos climatológicos en los días de los experimentos de la fase 1 para el deshidratador solar.

		<i>MONTHLY CLIMATOLOGICAL</i>					<i>SUMMARY for JUN. 20</i>			<i>18</i>		
NAME ELEV	Zorrales	CITY: San Antonio Oriente					STATE: Francisco			Morazán		
	76m	LAT: 14- 00' 11" N LONG:					86- 59' 55" W					
		TEMPERATURE (-C), RAIN					(mm), WIND SPEED (			m/s)		
		HEAT					COOL			AVG		
	MEAN	DEG					DEG			WIND		
DAY	TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	DAYS	DAYS	RAIN	SPEED	HIGH	TIME	DIR
21	22.5	30.5	3:00p	18.9	5:30a	0.0	4.2	4.0	0.3	5.8	4:30p	WSW
22	23.3	29.4	1:10p	19.6	5:40a	0.0	5.0	3.4	0.2	6.7	1:00p	SSW
23	24.4	30.1	3:44p	18.6	12:00m	0.0	6.1	0.4	0.6	8	2:44p	SSE
Max	>=	32.0:	0									
Max	<=	0.0:	0									
Min	<=	0.0:	0									
Min	<= -	18.0:	0									
Max	Rain	: 53.0	1 ON 06/16/18									
Days	of	Rain:	23 (> .2 mm) 11 (> 2 mm) 1 (					> 20 mm)				
Heat	Bas	e: 18	.3 Cool Base: 18.3 Method					: Integration				

Continuación Anexo 3.

		MONTHLY CLIMATOLOGICAL					SUMMARY for JUL. 20			18		
NAME	Zorrales	CITY: San Antonio Oriente					STATE: Francisco			Morazán		
	: 767 m	LAT: 14- 00' 11" N LONG:					86- 59' 55" W					
ELEV		TEMPERATURE (-C), RAIN					(mm), WIND SPEED (			m/s)		
	MEAN	HEAT					COOL			AVG		
	TEMP	DEG					DEG			WIND		
DAY	TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	DAYS	DAYS	RAIN	SPEED	HIGH	TIME	DOM
26	23.3	29.6	2:10p	17.2	4:50a	0.1	5.1	0.0	0.5	6.7	12:10p	NNE
27	24.7	30.1	3:30p	20.5	2:12a	0.0	6.4	1.6	0.7	6.7	2:20p	NNE
28	23.7	29.8	3:10p	20.3	9:20p	0.0	5.4	0.4	1.1	8.9	1:00p	NNE
29	22.8	27.4	12:10p	20.4	1:10a	0.0	4.5	16.4	0.5	8.9	12:40p	NE
30	23.7	29.7	3:10p	19.9	5:50a	0.0	5.4	2.2	0.6	7.2	3:30p	WNW
Max	>=	32.0:	0									
Max	<=	0.0:	0									
Min	<=	0.0:	0									
Min	<= -	18.0:	0									
Max	Rain	: 16.4	1 ON 07/29/18									
Days	of	Rain:	18 (> .2 mm) 6 (> 2 mm) 0 (>					20 mm)				
Heat	Bas	e: 18	.3 Cool Base: 18.3 Method					: Integration				

Continuación Anexo 3.

		<i>MONTHLY CLIMATOLOGICAL</i>					<i>SUMMARY for AUG. 20</i>			<i>18</i>		
		Zorrales	CITY: San Antonio Oriente			STATE: Francisco			Morazán			
		: 767 m	LAT: 14° 00' 11" N LONG:			86° 59' 55" W						
		TEMPERATURE (°C), RAIN					(mm), WIND SPEED (			m/s)		
		HEAT					COOL			AVG		
		MEAN					DEG			WIND		
DAY	TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	DAYS	DAYS	RAIN	SPEED	HIGH	TIME	DOM
2	22	28.9	3:40p	16.3	12:00m	0.3	4.0	2.0	1.5	9.8	12:00p	W
3	20.2	25.6	11:40a	15.9	4:20a	0.6	2.4	4.0	0.5	7.2	11:30a	N
4	20.9	24.2	3:00p	18.9	4:50a	0.0	2.7	0.2	0.2	4.5	7:10p	NE
5	23.1	28.1	1:00p	19.3	2:20a	0.0	4.8	0.0	1.3	8.9	1:43p	NNE
6	22	27.6	1:30p	20.4	4:40a	0.0	3.7	0.0	0.7	12.1	2:10p	N
Max	>=	32.0:	0									
Max	<=	0.0:	0									
Min	<=	0.0:	0									
Min	<= -	18.0:	0									
Max	Rain	: 7.01	ON 08/01/18									
Days	of	Rain:	4 (> .2 mm) 3 (> 2 mm) 0 (>			20 mm)						
Heat	Base	: 18	.3 Cool Base: 18.3 Method			: Integration						

**Anexo 4.** Consolidado de las fotos del análisis de vida de anaquel en la fase 3 para las dos semanas de evaluación, set de tres filas equivalen a un día, fotos cada dos días.



**Anexo 5.** Resumen de los resultados para cada uno de los tratamientos del experimento.

TRT	Valor Codificado			Parámetros Físicos				Parámetros de Color			Parámetros Físico - Químicos		
	Lechuga	Quitosano	Almidón	Densidad Inicial	Espesor	Fuerza de Perforación	Densidad Final	L°	Tono	Croma	IAA (%)	ISA (%)	Expansión (%)
1	-1	-1	-1	1.17	3.36	70.73	1.0	18.81	27.34	1.22	334.84	29.82	152.89
2	1	-1	-1	1.07	4.67	119.33	0.9	20.83	65.75	3.88	323.60	25.83	131.61
3	-1	1	-1	1.10	5.09	90.00	0.8	22.39	78.41	2.72	237.27	17.82	159.12
4	1	1	-1	1.13	5.15	128.00	0.8	21.89	64.60	5.06	258.64	27.18	171.95
5	-1	-1	1	1.15	2.58	34.00	1.0	20.04	329.89	0.65	373.68	17.93	148.87
6	1	-1	1	1.13	3.92	95.37	1.0	22.10	29.46	1.24	315.56	18.40	138.06
7	-1	1	1	1.07	4.46	73.00	0.7	22.65	30.35	1.40	296.35	5.52	176.48
8	1	1	1	1.04	4.63	121.00	0.8	22.03	52.88	1.98	319.05	46.72	137.56
9(a)	-1.682	0	0	1.13	2.71	29.88	1.0	19.53	332.02	1.39	340.91	9.07	135.70
10	1.682	0	0	1.10	4.31	106.20	0.8	20.73	64.10	3.60	314.84	33.30	160.39
11(b)	0	-1.682	0	1.10	3.51	62.07	1.0	18.22	38.71	1.72	375.12	20.02	127.51
12	0	1.682	0	1.05	5.12	115.80	0.7	21.85	74.28	3.83	405.06	40.75	170.62
13	0	0	-1.682	1.08	5.14	123.97	0.8	20.72	67.49	3.67	300.12	16.70	151.97
14	0	0	1.682	1.13	3.38	88.60	1.0	18.69	50.25	1.75	302.68	12.45	136.45
15©	0	0	0	1.06	3.54	50.87	0.8	20.96	45.81	1.90	327.13	11.35	140.77
16©	0	0	0	1.08	3.77	84.27	0.8	21.22	30.62	1.35	324.20	10.55	152.08
17©	0	0	0	1.08	4.28	102.33	0.8	20.62	25.58	0.95	315.27	9.60	152.08
18©	0	0	0	1.08	4.62	106.90	0.8	19.70	55.64	3.24	396.88	29.45	151.26
19©	0	0	0	1.09	4.19	93.43	0.8	18.97	56.08	2.34	351.12	28.80	154.88
20©	0	0	0	1.06	4.20	96.03	0.8	19.41	36.81	1.85	336.32	10.80	144.26

**TRT:** Tratamiento. **ISA:** Índice de Solubilidad en Agua. **IAA:** Índice de Absorción de Agua. (a): Control sin polvo de lechuga.

(b): Control sin quitosano. ©: Punto central del experimento.