

**Desarrollo de un empaque activo  
biodegradable para aguacate (*Persea  
americana*)**

**Angie Mariel Benitez Suazo**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2018

ZAMORANO  
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**Desarrollo de un empaque activo  
biodegradable para aguacate (*Persea  
americana*)**

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

Presentado por

**Angie Mariel Benitez Suazo**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2018

## **Desarrollo de un empaque activo biodegradable para aguacate (*Persea americana*)**

**Angie Mariel Benitez Suazo**

**Resumen.** Los empaques activos tienen la característica de interactuar con el alimento y ayudar a prolongar su vida anaquel. El propósito del estudio fue evaluar tres diferentes empaques elaborados con un absorbente de gases. El estudio se realizó en la Universidad Estadual de Londrina, estado de Paraná, Brasil. El empaque se produjo por coextrusión de tres capas por soplado. Se utilizó almidón termoplástico, poli (adipato co-tereftalato de butileno) y zeolita a concentraciones de 0.5 y 1.5%. Se realizó una caracterización de las propiedades mecánicas de la biopelículas (fuerza máxima de rotura, elongación y Módulo de Young) y permeabilidad al vapor de agua. Se usó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres tratamientos: empaque sin zeolita; empaque con zeolita al 1.5%; empaque con zeolita al 2.0%. Se evaluó la aplicabilidad del empaque en aguacates, midiendo los siguientes parámetros: pérdida de masa, color, textura, y sólidos solubles totales. Se usó un DCA con tres tratamientos: empaque sin zeolita; empaque con zeolita al 1.5%; empaque con zeolita al 2.0% y un control (sin empaque), con dos aguacates por cada tratamiento y 7 medidas repetidas en el tiempo por 21 días. Los resultados obtenidos en la investigación demuestran que los empaques que contenían zeolita (1.5 y 2%) no tuvieron un mejor efecto en la absorción del etileno en las etapas de madurez de consumo de los aguacates. Se recomienda utilizar surfactantes los cuales mejoren el intercambio catiónico que poseen las zeolitas para así lograr una mejor interacción intermolecular.

**Palabras clave:** Absorbente de gases, biopelícula, coextrusión, poli (adipato-co-tereftalato de butileno), zeolita.

**Abstract.** Active packaging interacts with food and prolongs shelf life. The aim of the study was to evaluate three different packaging made with a gas absorbent. The study was conducted in the State University of Londrina, in the state of Paraná, Brazil. The packaging was produced by a three-layer coextrusion blown film machine using thermoplastic starch, poly (butylene adipate co-terephthalate) and zeolite at concentrations of 0.5% and 1.5%. A characterization of the biofilm was made according to its mechanical properties (tensile strength, elongation at break, and Young's modulus) and water vapor permeability. A Completely Randomized Design (CRD) was used with three treatments: packaging without zeolite; packaging with zeolite at 1.5%; and packaging with zeolite at 2%. The application of the packaging on avocados was evaluated measuring: weight loss; color; texture; and total soluble solids. A CRD was used with a: packing without zeolite; packing with 1.5% and 2.0% zeolite; and one control (without packaging), with two avocados per treatment and seven repeated measurements over time for 21 days. The results obtained on this investigation showed that packages containing zeolite did not have a better effect on the absorption of ethylene in the stages of ripeness consumption of avocados. It is recommended to use surfactants, which improve the cation exchange that the zeolites have to achieve a better intermolecular interaction.

**Key words:** Biofilm, co-extrusion, gas absorbent, poly(butylene adipate-co-terephthalate), zeolite.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros y Anexos .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>28</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>29</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>30</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>38</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Formulaciones preliminares para la elaboración de la biopelícula .....	4
2. Formulaciones para la elaboración de los pellets .....	5
3. Descripción de los empaques .....	5
4. Resultados del análisis de las propiedades mecánicas de las biopelículas .....	10
5. Resultados de permeabilidad al vapor de agua (PVA) .....	11
6. Resultados pérdida fisiológica de peso de los aguacates a través del tiempo .....	13
7. Resultados de luminosidad (L*) de la cascara a través del tiempo .....	15
8. Resultados de luminosidad (L*) de la pulpa a través del tiempo .....	17
9. Cambio del color total ( $\Delta E$ ) de la cascara a través del tiempo .....	19
10. Cambio del color total ( $\Delta E$ ) de la pulpa a través del tiempo .....	21
11. Textura de la cáscara a través del tiempo .....	23
12. Textura de la pulpa a través del tiempo .....	25
13. Valores solidos solubles a través del tiempo .....	27
Anexos	Página
1. Estructura de amilosa y amilopectina .....	38
2. Estructura de las zeolitas .....	38
3. Interacciones entre zeolita y etileno .....	39
4. Estructura del PBAT .....	39
5. Interacción zeolita y PBAT .....	39
6. Ficha técnica zeolita Watercel .....	40
7. Proceso de extrusión por soplado .....	40
8. Matriz polimérica de almidón y PBAT .....	41
9. Matriz polimérica de almidón, PBAT, glicerol y zeolita .....	41
10. Extrusión de espaguetis .....	41
11. Peletizado de espaguetis .....	42
12. Pellets obtenidos de la mezcla de PBAT, almidón, glicerol y ácido cítrico .....	42
13. Balón de la biopelícula soplada por extrusión de tres capas .....	43
14. Análisis de propiedades mecánicas de la biopelícula .....	43
15. Análisis de textura cascara del aguacate .....	43
16. Color de la cascara a través del tiempo .....	44
17. Color de la pulpa a través del tiempo .....	44
18. Parámetro de L* de la cáscara de aguacate entre tratamientos a través del tiempo .....	44
19. Textura de la pulpa entre tratamiento con medidas repetidas en el tiempo .....	45
20. Aguacates empacados con su respectivo tratamiento .....	45
21. Almacenamiento de los aguacates Incubadora Freeztec (15 °C) .....	45

## 1. INTRODUCCIÓN

Los polímeros convencionales para la elaboración de plásticos se caracterizan por su extensa vida útil. El mercado más grande para dicha materia derivada del petróleo es el mercado de empaques. Estos se utilizan para productos más perecederos y de eliminación inmediata. Debido a esto, los empaques derivados de petróleo son una gran fuente de contaminación hacia el ambiente. Sin embargo, el plástico sigue siendo el material preferido para empaques, sustituyendo cada vez más otros materiales por ser livianos, flexibles y de fácil procesamiento (Perugini *et al.* 2005; Jambeck *et al.* 2015).

El impacto ambiental que han tenido los plásticos ha intensificado la investigación de sustitutos de polímeros por biopolímeros derivados de celulosa, proteínas y almidón. Los gránulos de almidón contienen dos polímeros: amilosa, que tiene una estructura lineal y amilopectina con una estructura ramificada. El almidón es el más utilizado debido a su bajo costo, accesibilidad, degradación y fácil modificación estructural. El almidón termoplástico (ATP), se obtiene a partir de las siguientes condiciones: adición de un plastificante, altas temperaturas y fluidez (Luna *et al.* 2009; Reis *et al.* 2017).

El ATP presenta varias desventajas como solubilidad en agua, propiedades mecánicas bajas y poca estabilidad en condiciones muy húmedas. Para mejorar estas características se utilizan poliésteres biodegradables sintéticos. El poli (adipato-co-tereftalato de butileno) conocido como PBAT es un material flexible que otorga mayor resistencia, estabilidad y menor permeabilidad. Las películas elaboradas con PBAT poseen características mecánicas muy parecidas a las películas elaboradas con polietileno (Olivato *et al.* 2012; Weng *et al.* 2013; Fidelis *et al.* 2015).

Para mejorar la mezcla entre las cadenas hidrofóbicas del PBAT y cadenas hidrofílicas de ATP, se utilizan agentes compatibilizantes. Los compatibilizantes más estudiados son los multi-carboxílicos tales como: ácido cítrico, málico y tartárico. Estos ácidos orgánicos actúan como agentes hidrolíticos y esterificantes. Las reacciones entre los grupos carboxílicos de los ácidos con el grupo hidroxilo del almidón forman mono ésteres los cuales mejoran la interacción con el poliéster. Asimismo, los grupos carboxílicos libres del almidón pueden formar un entrecruzamiento fortaleciendo la estructura del material (Olivato *et al.* 2012; García *et al.* 2018).

Los empaques activos son un tipo de empaque que interactúan con el alimento. Esto ayuda a reducir o eliminar el uso de productos químicos directamente con el alimento y prolonga su vida anaquel. Este tipo de empaques incluyen diferentes mecanismos de acción dependiendo de su uso, que absorben oxígeno, etileno, humedad, dióxido de carbono, y/o

contienen agentes antimicrobianos, antioxidantes y sabores (Vermeiren *et al.* 1999; Fidelis *et al.* 2015).

La zeolita es un tectosilicato que pertenece al grupo de los silicatos amorfos. Posee una estructura muy abierta formada por tetraedros de silicio y aluminio que dan lugar a cavidades y numerosos espacios huecos. Tiene una alta porosidad y gran superficie de área lo cual facilita el flujo de aire y la absorción de agua de forma reversible. Presenta una alta capacidad de intercambio catiónico. Se han realizado varios estudios que reportan el uso de zeolita como absorbente de oxígeno, dióxido de carbono y etileno (Frydrych *et al.* 2007; Porta *et al.* 2014; Coloma *et al.* 2014).

El aguacate es un fruto con alto valor comercial cuyo consumo ha estado en crecimiento. Este fruto no alcanza su madurez en el árbol dado a que se produce un inhibidor de maduración. En su etapa de almacenamiento ocurre la maduración y la producción de etileno es incrementada lo cual reduce la vida anaquel del fruto. Algunas de las propiedades que se ven afectadas son el color de la cascara, firmeza de la pulpa y pérdida de peso (Arauz y Mora 1983; Cerdas Araya *et al.* 2006; Figueroa *et al.* 2011).

La importancia de este trabajo radica en ampliar la investigación sobre los empaques biodegradables y activos para la conservación de frutas y verduras. La utilización del almidón de maíz y su efecto en las propiedades mecánicas de la biopelícula; y, comparar diferentes concentraciones de zeolita en polímeros biodegradables, como el ATP y PBAT, para determinar el efecto en la vida anaquel del aguacate.

Este estudio es aplicable para frutas y verduras que producen o son sensibles al etileno, como en el caso de kiwi, nectarinas, peras, coliflor, manzanas y mango. En este proyecto se desarrollaron empaques biodegradables activos utilizando diferentes concentraciones de zeolita como absorbente de etileno para prolongar la vida útil del aguacate (Kader 2011).

Para evaluar el efecto de este empaque se plantearon los siguientes objetivos:

- Elaborar un empaque activo biodegradable elaborado con zeolita como absorbente de gases, almidón de maíz, poli (adipato co-tereftalato de butileno) (PBAT), glicerol y ácido cítrico.
- Caracterizar las propiedades mecánicas y permeabilidad de los diferentes tipos de biopelículas.
- Evaluar el efecto de las diferentes biopelículas como empaque en frutos frescos de aguacate.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### **Localización del estudio.**

La investigación se realizó en la Universidad Estadual de Londrina, localizada en la ciudad de Londrina en el estado de Paraná, Brasil. El empaque se fabricó en el Laboratorio de Tecnología; y los análisis se realizaron en el Laboratorio de Ciencia de Alimentos del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

### **Descripción del estudio.**

El estudio fue elaborado en tres fases, la primera fase fue la elaboración de la biopelícula. La segunda fase consistió en la caracterización de la biopelícula y la tercera fase la realización de los análisis fisicoquímicos de los aguacates.

### **Materiales.**

Para la elaboración de la biopelícula se utilizaron los siguientes materiales: (a) El almidón de maíz se adquirió de la empresa Apti® (Brasil). (b) El polímero sintético biodegradable PBAT, poli (adipato co-tereftalato de butileno), bajo el nombre comercial Ecoflex®, manufacturado por la empresa BASF (Alemania). (c) El glicerol de grado técnico con 99.5% de pureza de la empresa Química Moderna® (Brasil). (d) La zeolita utilizada Watercel ZF se adquirió por medio de la compañía Celta Brasil® (Brasil). (e) El ácido cítrico de grado técnico se obtuvo de la empresa Dinâmica® (Brasil). Los aguacates variedad Fortuna utilizados para los análisis se adquirió de la Central de Abastecimiento de Paraná, CEASA (Brasil).

### **Equipos.**

Para todos los pesajes en el experimento se usó la balanza semi analítica Marte modelo AS 5500C. En la elaboración de la biopelícula se hizo uso de los siguientes equipos: (a) Extrusora mono-tornillo de la empresa BGM, modelo EL-25 (Brasil); (b) Mini extrusora de tres capas de la empresa AX Plásticos (Brasil); (c) Paletizadora de la empresa BGM (Brasil); y, (d) Selladora Micromatic modelo MH 300.

En los análisis de caracterización de la biopelícula y aguacates se utilizaron los siguientes equipos: (a) Micrómetro electrónico modelo IP54; (b) Medidor de Colorimetría de la empresa Konica Minolta modelo CR-400; (c) Texturómetro Stable Micro Systems TA. XT Plus Texture Analyzer; (d) Refractómetro digital ATAGO; y, (e) Incubadora BOD Freeztec (Brasil).

### Pruebas preliminares.

Se realizaron cuatro pruebas preliminares para determinar los porcentajes ideales de los materiales en la formulación de la biopelícula (Cuadro 1). En este estudio se utilizó almidón de maíz, polímero biodegradable (PBAT), glicerol como plastificante y ácido cítrico los cuales fueron sometidos a un proceso de coextruido. Para disminuir la hidrofiliidad del almidón se utilizó un porcentaje del 30% de PBAT.

Cuadro 1. Formulaciones preliminares para la elaboración de la biopelícula.

Formulación	PBAT <sup>1</sup> (%)	Almidón (%)	Glicerol (%)	Ácido cítrico (%)
Prueba 1	30	48.997	21	0.03
Prueba 2	30	46.997	23	0.03
Prueba 3	30	44.997	25	0.03
Prueba 4	30	39.997	30	0.03

<sup>1</sup>PBAT: poli (adipato-co-tereftalato de butileno).

La matriz polimérica se mezcló manualmente y luego se empleó el proceso de extrusión. Se elaboraron los pellets en una extrusora mono tornillo marca BGM (modelo EL-25, Brasil) con las siguientes especificaciones: tornillo sin fin de 25 mm de diámetro y 700 mm de longitud, velocidad de 35 rpm con un perfil de temperaturas de 90/110/120/100 °C.

Se elaboró la biopelícula por medio de la extrusora de tres capas AX-Plásticos (Brasil). Se usaron las siguientes condiciones experimentales: velocidad de las extrusoras: 45 rpm, pujador: 9, bobinador: 10, perfil de temperaturas: extrusora 1: 110/110/130 °C, extrusora 2: 110/110/110 °C, extrusora 3: 110/110/110 °C.

### Fase 1. Elaboración de la biopelícula.

Se elaboró el empaque activo biodegradable en dos etapas. La primera etapa consistió en la producción de los pellets. Luego de la obtención de los pellets, se produjeron las biopelículas de tres capas con porcentajes de zeolita en la segunda etapa.

**Etapa 1.** Para la elaboración de pellets se utilizaron las formulaciones detalladas en el cuadro 2. Los componentes se mezclaron manualmente y para garantizar una buena homogenización primero se mezcló el glicerol con el ácido cítrico y zeolita. Luego se adicionó el PBAT y por último se añadió paulatinamente el almidón de maíz. Se procesaron por medio de una extrusora mono tornillo con las siguientes especificaciones: tornillo sin fin de 25 mm de diámetro y 700 mm de longitud, velocidad de 35 rpm y un perfil de temperatura de 100/110/120/110 °C.

Los espaguetis formados por la extrusora fueron cortados con una longitud aproximadamente de 120 cm. Se dejaron enfriar y después se hizo el peletizado con la maquina peletizadora BGM (Brasil).

Cuadro 2. Formulaciones para la elaboración de los pellets.

Formulación pellets	PBAT <sup>1</sup> (%)	Almidón (%)	Glicerol (%)	Zeolita (%)	Ácido cítrico (%)
Zeolita 0	30	39.97	30	0	0.03
Zeolita 0.5	30	39.47	30	0.5	0.03
Zeolita 1.5	30	37.97	30	1.5	0.03

<sup>1</sup>PBAT: poli (adipato-co-tereftalato de butileno).

**Etapa 2.** Luego de tener los pellets se elaboró la biopelícula por medio de la coextrusora de tres capas AX-Plásticos (Brasil). Se implementó una coextrusión de tres capas con el propósito de obtener una biopelícula de alta barrera con una mayor concentración de zeolita según lo investigado por Marzano Barreda (2018). El autor utilizó una concentración de 1.5% de zeolita para una biopelícula extruida por soplado. De la misma manera se implementó el coextruido para mejorar las propiedades mecánicas de la biopelícula, dado a que se utilizaron materiales diferentes, la zeolita y la matriz polimérica de ATP con PBAT (McKeen 2017). El cuadro 3 muestra las concentraciones de zeolita en cada una de las capas de los tres empaques. Cada empaque fue un tratamiento utilizado en el experimento, teniendo un empaque control sin zeolita, un empaque con una capa conteniendo 1.5% de zeolita y un empaque conteniendo una capa con 0.5% y otra capa con 1.5% de zeolita.

Se usaron las siguientes condiciones experimentales para el coextruido: velocidad de las extrusoras: 45 rpm, pujador: 9, bobinador: 10, perfil de temperaturas: extrusora 1: 110/110/130 °C, extrusora 2: 110/110/110 °C, extrusora 3: 110/110/110 °C. Se colocaron los pellets de diferentes concentraciones de zeolita simultáneamente en los tres alimentadores.

Cuadro 3. Descripción de los empaques de tres capas con porcentajes de zeolita (%).

Tratamientos	Zeolita (%)		
	Primera capa	Segunda capa	Tercera capa
E <sup>1</sup>	0	0	0
Z <sup>2</sup>	0	0	1.5
XZ <sup>3</sup>	0	0.5	1.5

<sup>1</sup>Empaque sin zeolita. <sup>2</sup>Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. <sup>3</sup>Empaque con concentración de 2% de zeolita.

Los empaques se hicieron a la medida de cada aguacate, en un tamaño aproximado de 20 por 15 cm. La biopelícula fue cortada y sellada con el equipo Micromatic MH300 (Brasil) a una temperatura de 140 °C. Los empaques fueron almacenados en una incubadora BOD Freeztec (Brasil) a una temperatura de 15 °C.

## Fase 2. Caracterización de la biopelícula.

**Propiedades mecánicas.** Se realizaron las pruebas por medio del método ASTM D-882-91 de la “American Society for Testing and Material” (1996). Se tomaron muestras de las tres diferentes biopelículas. El tamaño de las muestras fue de 20 mm de largo y 50 mm de alto. Se realizaron 10 muestras por cada tratamiento. Luego se midió la espesura en cuatro repeticiones de cada muestra con el equipo Digimes Electronic Outside Micrometer IPS4 (Brasil). Se calculó el área transversal de las muestras. Las muestras se dejaron en un desecador por 24 horas utilizando nitrito de magnesio a una humedad relativa de 53%. Este análisis fue realizado con el texturómetro Stable Micro Systems TA. XT Plus (Inglaterra), utilizando un acople de garra ajustado a 30 mm de distancia. Se evaluaron los siguientes parámetros: fuerza máxima de rotura (MPa), elongación (%) utilizando la ecuación [1] y módulo de Young (MPa).

$$\text{Elongacion (\%)} = \frac{\text{Distancia final}}{\text{Distancia inicial}} \times 100 \quad [1]$$

**Permeabilidad al vapor de agua.** Se efectuaron los análisis de acuerdo con el método ASTM E-96-95 de “American Society for Testing and Material” (1996). Se obtuvieron tres muestras para cada tratamiento con un diámetro de 60mm. Se midió la espesura de cuatro puntos diferentes de cada muestra. Se colocaron las muestras en la celda de aluminio y se introdujeron a un desecador acondicionado al 64% de humedad relativa utilizando nitrito de sodio (NaNO<sub>2</sub>). Los pesos de las celdas fueron tomados cada 24 horas durante ocho días. Para obtener la permeabilidad al vapor de agua se utilizaron las siguientes formulas:

$$\text{VTVA} = \frac{J}{t \times A} \quad [2]$$

En donde VTVA: es la velocidad de transmisión de agua; J: pendiente de la curva versus tiempo; t: tiempo en horas; y A: área de permeación de la película en metros cuadrados.

$$\text{PVA} = \frac{\text{VTVA} \times L}{P_w \times (\text{RH1} - \text{RH2})} \quad [3]$$

En donde PVA: es la permeabilidad al vapor de agua; VTVA: velocidad de transmisión de agua; L: espesor promedio de la película (metros); y P<sub>w</sub>: presión parcial del vapor de agua a la temperatura de ensayo (Pascales).

## Fase 3. Caracterización fisicoquímica de los aguacates.

**Pérdida fisiológica de peso.** Se identificó cada aguacate y se registraron los pesos iniciales. Se utilizó una balanza semi analítica marca Marte modelo AS 5500C. Los pesos de cada fruta se tomaron al inicio de los análisis y a los días 3, 6, 9, 12, 15, 18 y 21. Para calcular el porcentaje de pérdida de peso de cada aguacate se utilizó la ecuación 4:

$$\text{Pérdida fisiológica de peso} = \frac{(\text{peso inicial} - \text{peso final})}{\text{peso inicial}} \times 100 \quad [4]$$

**Evaluación de color.** Se evaluó el color de la cascará (epidermis) y el color de la pulpa (mesocarpio) de los aguacates. Se realizaron cinco mediciones en puntos completamente al azar en la epidermis y mesocarpio del fruto. La evaluación se realizó con el medidor de colorimetría Konica Minolta CR-400 (Japón), en la escala CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). Los datos obtenidos fueron utilizados para el cálculo de cambio de color,  $\Delta E$  utilizando la ecuación 5 establecida por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE76).

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad [5]$$

**Evaluación de textura.** Se evaluó el parámetro de fuerza máxima en todos los análisis de textura. Se realizaron pruebas de penetración en la cascará y pruebas de compresión de la pulpa del aguacate. Se utilizó el equipo texturómetro Stable Micro Systems TA. XT Plus (Inglaterra).

En los análisis de penetración se colocó la mitad del aguacate en la base del texturómetro. Luego se corrió el programa de penetración tomando datos de la fuerza máxima de penetración. Se tomaron datos a lo largo del aguacate, a una distancia aproximada de una pulgada. Esto se hizo por cada lado del aguacate, teniendo así seis datos por aguacate. Las condiciones experimentales para los análisis de penetración de la cascará fueron: (a) velocidad de penetración: 1 mm/seg; (b) distancia de penetración: 15 mm; y, (c) tipo de probe: acople cilíndrico 5 mm P/5.

Los análisis de compresión de la pulpa se realizaron en muestras de 2 cm de altura, 1 cm de ancho y 1 cm de largo. Las muestras se colocaron en la base del texturómetro, se corrió el programa y se tomaron los datos de fuerza máxima de compresión. Se realizaron seis muestras por cada aguacate. Las condiciones experimentales para los análisis de compresión de la pulpa fueron: (a) velocidad de compresión: 1 mm/seg; (b) distancia de compresión: 15 mm; y, (c) tipo de probe: acople cilíndrico 35 mm P/35.

**Evaluación de sólidos totales.** Se determinó la cantidad de azúcares utilizando el refractómetro digital ATAGO (Estados Unidos). Se realizó una compresión en la pulpa de los aguacates, se tomó una muestra de dos gotas utilizando bolas de algodón y goteros que luego se colocaron en el refractómetro previamente calibrado con agua destilada.

### **Diseño experimental.**

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) en la caracterización de la biopelícula. Se evaluaron tres tratamientos: (a) empaque sin zeolita; (b) empaque con zeolita al 1.5%; (c) empaque con zeolita al 2.0%. Para la caracterización de los aguacates se utilizó un DCA con cuatro tratamientos: (a) fruto sin empaque, (b) fruto con empaque sin zeolita, (c) fruto con empaque al 1.5% de zeolita y (d) fruto con empaque al 2% de zeolita. Se realizaron dos

repeticiones por cada tratamiento con siete medidas repetidas en el tiempo (3, 6, 9, 12, 15, 18 y 21), tomando en cuenta el día 0, para un total de 56 unidades experimentales.

**Análisis estadístico.**

Los resultados de la caracterización de la biopelícula se analizaron por medio de un Análisis de Varianza (ANDEVA) con separación de medias Tukey con un nivel de significancia de  $P \leq 0.05$ , utilizando el programa “Statistical Analysis System” (SAS versión 9.4®). Los datos de la caracterización fisicoquímica de los aguacates se evaluaron por medio de un Análisis de Varianza (ANDEVA) con una separación de medias ajustadas LSMEANS con una significancia estadística de 95% ( $P < 0.05$ ). Además, se utilizaron los programas de STATISTICA 7.0 de “StatSoft” y “OriginPro 8 SR0”.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **Pruebas preliminares.**

La prueba 1 no presentó buenos resultados dado a que la biopelícula mostró poros muy grandes y no se formó el balón. Según Vieira *et al.* (2011), los plastificantes son aditivos esenciales en la producción de biopelículas dado que reducen y eliminan poros y grietas presentes en la película. Para mejorar estas características mecánicas se aumentó el porcentaje del plastificante utilizado, glicerol.

La prueba 2 presentó una reducción en el tamaño y cantidad de los poros en la biopelícula, sin embargo, aún se formaron poros. En la prueba 3, no se formaron poros en la biopelícula. La formulación que presentó los mejores resultados fue la prueba 4, debido a que no se formaron poros y la biopelícula resultó más flexible y maleable. Esto fue una característica deseable para ser usado en la investigación dado a que la zeolita es un material rígido.

#### **Caracterización de la biopelícula. Propiedades mecánicas de la biopelícula.**

**Fuerza máxima de rotura (FMR).** Los tratamientos E y Z mostraron diferencia estadísticamente significativa respecto al tratamiento XZ (Cuadro 4). La alta FMR de los tratamientos E y Z se puede atribuir a que ambos contienen un alto contenido de almidón y los gránulos de este crearon fisuras que no favorecieron la interacción del grupo carbonilo del PBAT y almidón (da Silva *et al.* 2017). Por otro lado, que el tratamiento XZ presentara una baja FMR puede ser por la interacción que existió de las arcillas al mejorar las propiedades mecánicas de la biopelícula por las interacciones entre las cadenas las cuales reducen la movilidad y mejoran la rigidez macroscópica (Belibi *et al.* 2013). Cuando se obtiene una mayor FMR el material es menos rígido haciendo que este sea más ideal para empaques.

**Elongación.** La elongación disminuyó con la adición de la zeolita. Se encontraron diferencias significativas entre el empaque sin zeolita y los tratamientos con zeolita. El tratamiento E presentó un mayor porcentaje de elongación en comparación con los otros tratamientos (Cuadro 4). Luchese *et al.* (2017), reportaron que al incrementar la cantidad de almidón el porcentaje de elongación de la biopelícula aumenta. Entre los tratamientos que contienen zeolita no existen diferencias significativas. Santos *et al.* (2014), explicaron que la adición de nanoarcillas disminuye el porcentaje de elongación, por lo que se puede inferir que las biopelículas fueron más rígidas. Al tener una arcilla con estructura tridimensional generó espacios donde probablemente ocurrió una difusión de moléculas de almidón o PBAT, las cuales interactuaron en los espacios disponibles de la zeolita. Esta teoría se

respalda con lo encontrado por Junaedy *et al.* (2017), quienes mencionaron que al adicionar montmorillonita en una matriz de PBAT ocurrió una gran fuerza intermolecular entre las cadenas debido a los espacios morfológicos de la arcilla.

**Módulo de Young.** El Módulo de Young o módulo de elasticidad es una constante que relaciona el esfuerzo con la deformación unitaria que experimenta un objeto al ser sometido a cargas de tensión (Rayas *et al.* 2003). Los tratamientos E y Z mostraron valores más altos y no presentaron diferencias significativas entre ellos. El tratamiento XZ presentó diferencias en comparación con los otros tratamientos y tuvo un valor bajo en el módulo de Young (Cuadro 4). Estos resultados difieren a lo obtenido por Lendvai *et al.* (2017) los cuales obtuvieron un aumento en el módulo de Young a medida que aumenta la cantidad de nanocompuesto utilizado. Esto no ocurrió en este estudio dado a que probablemente el nanocompuesto no tuvo un efecto compatibilizante entre el PBAT y el almidón termoplástico. Rasyida *et al.* (2017) argumentaron que el decline se debe a una estructura desorganizada, donde la arcilla no se intercalo apropiadamente con el PBAT.

También estos resultados contrastaron a lo encontrado por Romero Bastida *et al.* (2015) puesto que, al adicionar montmorillonita, un tipo de arcilla obtuvo un aumento en el módulo de elasticidad. Esto lo atribuyeron a que existió una buena dispersión de la arcilla en la matriz del almidón.

Cuadro 4. Resultados del análisis de las propiedades mecánicas de las biopelículas.

Tratamiento	Fuerza máxima de rotura (MPa <sup>5</sup> ) ± DE	Elongación (% <sup>6</sup> ) ± DE	Módulo de Young (MPa <sup>5</sup> ) ± DE
E <sup>1</sup>	3.36 <sup>7</sup> ± 0.54 <sup>8a</sup>	88.24 ± 27.41 <sup>a</sup>	22.37 ± 3.31 <sup>a</sup>
Z <sup>2</sup>	3.27 ± 0.56 <sup>a</sup>	57.28 ± 13.66 <sup>b</sup>	22.60 ± 1.79 <sup>a</sup>
XZ <sup>3</sup>	2.38 ± 0.36 <sup>b</sup>	37.81 ± 12.14 <sup>b</sup>	18.53 ± 2.47 <sup>b</sup>
CV (%) <sup>4</sup>	31.99	31.21	13.37

<sup>1</sup>Empaque sin zeolita. <sup>2</sup>Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. <sup>3</sup>Empaque con concentración de 2% de zeolita. <sup>4</sup>Coefficiente de variación. <sup>5</sup>Megapascales. <sup>6</sup>Porcentaje. <sup>7</sup>Media aritmética. <sup>8</sup>Desviación estándar. <sup>(a-b)</sup> Valores con letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

#### **Permeabilidad al vapor de agua (PVA).**

Los valores del Cuadro 5 indicaron que el tratamiento E y XZ mostraron diferencias significativas y el tratamiento Z reunió características de ambos tratamientos. Estos datos difieren de lo encontrado por Marzano Barreda (2018), quien no obtuvo diferencias significativas entre una biopelícula conteniendo zeolita y su control. El autor explicó que

un alto valor en la permeabilidad puede ser por la propiedad física de hidrofilia de las biopelículas. Se entiende por hidrofilia a la propiedad de algunos materiales que tienen afinidad con el agua (López Romero 2013).

La baja permeabilidad del tratamiento XZ puede ser atribuido a la presencia de zeolita en dos de las capas de la biopelícula. La estructura tetraedro de la zeolita crea caminos tortuosos por lo tanto el flujo de vapor de agua se reduce (Müller *et al.* 2011). Adicionalmente Müller *et al.* (2012) concluye que la mezcla entre nanoarcillas y almidón termoplástico modifica la barrera al vapor de agua y que estos cambios están asociados a la dispersión de las nanoarcillas en la matriz polimérica.

Cuadro 5. Resultados de permeabilidad al vapor de agua (PVA).

Tratamiento	PVA (g/m·Pa·día) ± DE	C.V.(%) <sup>4</sup>
E <sup>1</sup>	5.88 <sup>5</sup> E <sup>-06</sup> ± 3.85 <sup>6</sup> E <sup>-07</sup> a	6.55
Z <sup>2</sup>	5.02 E <sup>-06</sup> ± 3.13 E <sup>-07</sup> ab	6.23
XZ <sup>3</sup>	4.63 E <sup>-06</sup> ± 3.64 E <sup>-07</sup> b	7.85

<sup>1</sup>Empaque sin zeolita. <sup>2</sup>Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. <sup>3</sup>Empaque con concentración de 2% de zeolita. <sup>4</sup>Coefficiente de variación. <sup>5</sup>Media aritmética. <sup>6</sup>desviación estándar. (a-b) valores con letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa (P ≤ 0.05).

### Caracterización fisicoquímica de los aguacates.

#### Análisis de pérdida fisiológica de peso.

Los datos en el Cuadro 6 muestran las diferencias significativas en porcentaje de la pérdida fisiológica de peso a través del tiempo entre los cuatro tratamientos. Para fines prácticos de este estudio se podría referir a los siguientes periodos post cosecha de los aguacates: madurez de cosecha (días 3-9), madurez de consumo (días 9-15) y senescencia o sobre maduración (días 15-21), considerando los días 9 y 15 como periodos de transición.

En el periodo de madurez de cosecha no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y es donde se obtuvieron menores porcentajes de pérdida. La razón por la cual los porcentajes se mostraron bajos al inicio es que la pérdida de peso es un comportamiento creciente que ocurre por los procesos de respiración de los frutos durante el periodo de almacenamiento (Márquez *et al.* 2016). Según Saltveit (1999), se necesita de oxígeno (O<sub>2</sub>) y bajas concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para poder activar el etileno. Al día 9 se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos S, E y Z. El tratamiento XZ tuvo características de los tratamientos S y Z. El tratamiento más eficiente fue el tratamiento E, ya que presenta la menor pérdida de peso por consiguiente tuvo una menor tasa de respiración y menor producción de etileno (Chen *et al.* 2017). A partir de la fecha existió un incremento en la pérdida de peso en los cuatro tratamientos por la respiración que tuvo como consecuente un incremento en la producción de etileno.

Al iniciar la madurez de consumo se comenzó a observar diferencias entre los tratamientos. El único tratamiento que presentó diferencias al día 12 fue el tratamiento S. Los demás tratamientos fueron similares entre ellos presentando pérdidas bajas. Esto a causa de que contenían empaques que actuaron como una barrera semipermeable contra oxígeno, dióxido de carbono y pérdida de humedad por ende se redujo la respiración de los frutos (Maqbool *et al.* 2011). En el día 15 se observa que los tratamientos E y Z son iguales mostrando diferencias con el tratamiento S. El tratamiento XZ reúne características similares a los tratamientos S, E y Z. El tratamiento S al no tener ningún tipo de empaque tuvo una mayor interacción con el oxígeno del ambiente por lo tanto, existió un aumento en la respiración (Gaona *et al.* 2018).

Cuando los frutos entraron en su periodo de senescencia, el tratamiento S se mantuvo como el tratamiento con mayores pérdidas. Los tratamientos E, Z y XZ al día 18 mostraron diferencias en comparación con el tratamiento S. En el día 21 los únicos tratamientos que mostraron similitud fueron E y Z con las menores pérdidas de peso. Seguido de estos se encuentra el tratamiento con 2% de zeolita. El tratamiento sin empaque tuvo la mayor pérdida. También se observó que para este día los frutos tuvieron la mayor pérdida de peso. Aguirre *et al.* (2017) reportaron tener mayores pérdidas durante el periodo de senescencia del fruto y que la mayor pérdida se dio en el fruto sin empaque (23 y 24.22%).

Cuadro 6. Resultados pérdida fisiológica de peso (%) de los aguacates a través del tiempo (15 °C).

Días	Tratamientos				CV(%) <sup>5</sup>
	Media aritmética ± DE				
	S <sup>1</sup>	E <sup>2</sup>	Z <sup>3</sup>	XZ <sup>4</sup>	
<b>3<sup>ns</sup></b>	2.79 <sup>6</sup> ± 0.06 <sup>7</sup> e	2.22 ± 0.10 e	2.48 ± 0.57 f	2.34 ± 0.18 f	14.89
<b>6<sup>ns</sup></b>	6.01 ± 0.29 d	4.36 ± 1.03 de	4.79 ± 0.48 e	4.42 ± 0.41 f	13.89
<b>9</b>	10.76 ± 0.58 c <sup>X</sup>	6.04 ± 0.17 d <sup>Z</sup>	8.54 ± 0.84 d <sup>Y</sup>	7.18 ± 0.54 e <sup>XY</sup>	4.35
<b>12</b>	13.00 ± 0.70 b <sup>X</sup>	9.07 ± 0.09 c <sup>Y</sup>	8.68 ± 0.09 d <sup>Y</sup>	9.72 ± 0.45 d <sup>Y</sup>	3.49
<b>15</b>	15.06 ± 0.16 b <sup>X</sup>	11.58 ± 1.70 b <sup>Y</sup>	10.94 ± 0.46 c <sup>Y</sup>	13.09 ± 0.92 c <sup>XY</sup>	8.40
<b>18</b>	20.87 ± 0.92 a <sup>X</sup>	12.60 ± 1.62 b <sup>Y</sup>	13.42 ± 0.25 b <sup>Y</sup>	15.43 ± 2.81 b <sup>Y</sup>	12.07
<b>21</b>	22.37 ± 1.63 a <sup>X</sup>	16.65 ± 2.24 a <sup>Z</sup>	16.73 ± 1.41 a <sup>Z</sup>	19.22 ± 0.58 a <sup>Y</sup>	9.85
<b>CV(%)<sup>5</sup></b>	8.31	17.07	7.32	13.78	

<sup>1</sup>Fruto sin empaque. <sup>2</sup>Empaque sin zeolita. <sup>3</sup>Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. <sup>4</sup>Empaque con concentración de 2% de zeolita. <sup>5</sup>Coefficiente de variación. <sup>6</sup>Media aritmética. <sup>7</sup>Desviación estándar. (a-f) valores con letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre días (P ≤ 0.05). (X-Z) valores con letras mayúsculas diferentes en la misma fila indican diferencia significativa (P ≤ 0.05) entre tratamientos. (ns) indica que no existe diferencias significativas entre tratamientos.

## **Análisis de color.**

**Luminosidad de la cáscara (Epidermis).** En la etapa de madurez de cosecha no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. En la etapa de madurez de consumo, en el día 12 se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento E que presentó una mayor luminosidad respecto a los tratamientos S y Z. El aumento en el tratamiento E probablemente se deba a una mayor degradación de clorofila de la cáscara. Según Ashton *et al.* (2006) las clorofilas son pigmentos relacionados al color verde oscuro de la cáscara y entre más claro sea el color, menos clorofila contiene. Los tratamientos S y Z no presentaron diferencias significativas entre ellos y son los que menor luminosidad tuvieron. El tratamiento XZ presentó características de los tratamientos S, E y Z. Los tratamientos E y Z mantienen estos valores hasta el día 15, donde se reportan los valores más altos de luminosidad durante todo el periodo de almacenamiento. Del mismo modo no se reportó ninguna diferencia entre tratamientos (Cuadro 7). Asimismo, este incremento podría ser explicado con que es una representación de maduración típica de la variedad de los aguacates “Fortuna” (Faria 2012).

El aumento en la luminosidad en la etapa de madurez de consumo según Sanches *et al.* (2008) se debe a que los frutos se tornaron menos verde y que esto puede ser por una reducción de la cantidad de clorofila del fruto. La degradación en las clorofilas se da por factores externos como: estrés hídrico, luminosidad, alteraciones térmicas, pH, niveles aumentados de etileno o una combinación de todos (Streit *et al.* 2005). El tratamiento S al no tener empaque y estar en la incubadora no se vio afectado por un nivel elevado de etileno. El tratamiento E al estar en un empaque sin zeolita pudo haber retenido gases los cuales degradaron la clorofila del fruto (Streit *et al.* 2005; Ashton *et al.* 2006). La cantidad de zeolita utilizada en el tratamiento Z fue eficiente en la remoción de gases. Sin embargo, para el tratamiento XZ la cantidad de zeolita no fue efectiva ya que presentó características similares entre el fruto sin empaque y el empaque contenido 1.5% de zeolita.

En la etapa de senescencia todos los tratamientos tendieron a disminuir. Al día 18 existen diferencias significativas entre tratamientos. Los tratamientos S, Z y XZ son similares entre ellos y difieren del tratamiento E. Por consiguiente, el tratamiento E tuvo una mayor degradación de clorofilas por acción de la enzima clorofilasa, destacando a la clorofila tipo a que se encuentra en mayor cantidad en estos frutos. En el día 21 no existieron diferencias entre los tratamientos y los valores tuvieron una mayor aceleración en el descenso. La disminución de la luminosidad también se puede atribuir como consecuencia en la síntesis de otros pigmentos en menor cantidad, como carotenoides y antocianinas según lo describe Hurtado *et al.* (2018).

Cuadro 7. Resultados de luminosidad (L\*) de la cáscara de aguacate a través del tiempo (15 °C).

Días	Tratamientos				C.V.(%) <sup>5</sup>
	S <sup>1</sup>	E <sup>2</sup>	Z <sup>3</sup>	XZ <sup>4</sup>	
3 <sup>ns</sup>	38.65 <sup>6</sup> ± 1.51 <sup>7</sup> c	40.40 ± 2.01 <sup>bc</sup>	38.86 ± 3.86 <sup>b</sup>	39.12 ± 2.52 <sup>d</sup>	7.08
6 <sup>ns</sup>	39.33 ± 3.48 <sup>c</sup>	41.27 ± 3.71 <sup>b</sup>	38.72 ± 3.66 <sup>b</sup>	40.51 ± 3.01 <sup>dc</sup>	8.06
9 <sup>ns</sup>	35.01 ± 1.85 <sup>c</sup>	35.42 ± 3.66 <sup>c</sup>	33.83 ± 2.48 <sup>c</sup>	33.99 ± 1.47 <sup>e</sup>	6.75
12	44.34 ± 2.83 <sup>bY</sup>	50.82 ± 7.52 <sup>aX</sup>	46.24 ± 2.72 <sup>aY</sup>	47.13 ± 2.37 <sup>bXY</sup>	10.16
15 <sup>ns</sup>	49.88 ± 2.38 <sup>a</sup>	49.08 ± 6.31 <sup>a</sup>	49.15 ± 2.67 <sup>a</sup>	52.45 ± 4.41 <sup>a</sup>	6.92
18	47.98 ± 4.56 <sup>abX</sup>	36.11 ± 11.0 <sup>cY</sup>	48.09 ± 8.51 <sup>aX</sup>	44.75 ± 8.64 <sup>bcX</sup>	21.22
21 <sup>ns</sup>	27.33 ± 4.37 <sup>d</sup>	27.62 ± 10.96 <sup>d</sup>	30.53 ± 5.80 <sup>c</sup>	28.99 ± 7.95 <sup>f</sup>	28.55
C.V.(%) <sup>5</sup>	7.9	18.82	11.47	10.75	

<sup>1</sup>Fruto sin empaque. <sup>2</sup>Empaque sin zeolita. <sup>3</sup>Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. <sup>4</sup>Empaque con concentración de 2% de zeolita. <sup>5</sup>Coefficiente de variación. <sup>6</sup>Media aritmética. <sup>7</sup>Desviación estándar. <sup>(a-f)</sup> valores con letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre días (P ≤ 0.05). <sup>(X-Y)</sup> valores con letras mayúsculas diferentes en la misma fila indican diferencia significativa (P ≤ 0.05) entre tratamientos. <sup>(ns)</sup> indica que no existe diferencias significativas entre tratamientos.

**Luminosidad de la pulpa (Mesocarpio).** En la etapa de madurez de cosecha para los cuatro tratamientos no se presentaron diferencias significativas. Aunque existan diferencias entre días, no es significativo entre los tratamientos. Se podría inferir que los tratamientos disminuyeron a una misma proporción. En la etapa de madurez de consumo no existieron diferencias significativas entre tratamientos los días 9 y 12. Esto sucedió debido a que la forma latente de la polifenol oxidasa es generalmente activada durante el periodo de senescencia o durante condiciones de estrés (Özkaya *et al.* 2016). La polifenol oxidasa (PPO) y la peroxidasa (POD) son enzimas cuya actividad es asociada al emparedamiento en pulpa de aguacate (Donadon *et al.* 2012). Al día 15 se mostraron diferencias entre el tratamiento S con mayor luminosidad y XZ menor luminosidad. Los tratamientos E y Z son iguales y difieren de S y XZ. Adicionalmente, para cada tratamiento existen diferencias entre días de almacenamiento, teniendo al día 12 un valor alto el cual es igual al encontrado al inicio del experimento (Cuadro 8).

Para los días restantes, los frutos entraron en la etapa de sobre maduración y presentaron un comportamiento decreciente. Este comportamiento se manifestó en la pulpa tornándola marrón (Gerdes *et al.* 1995). El tratamiento con mayor luminosidad fue el tratamiento S. Se puede inferir que sufrió un menor pardeamiento enzimático como consecuencia de una baja actividad de las PPO y POD. El tratamiento XZ tuvo una menor luminosidad y se le puede atribuir a que tuvo un mayor daño fisiológico en el tejido (Undurraga *et al.* 2003). Esta teoría se respalda con lo encontrado por Vanini *et al.* (2010), quien reportó haber encontrado una alta actividad enzimática en el estado de sobre maduración de la variedad “Fortuna”. Del mismo modo, para cada tratamiento los valores difieren entre días. Al día 21 no existen diferencias entre los tratamientos y se reportan los datos más bajos de luminosidad.

Estos datos se diferencian con lo reportado por Ashton *et al.* (2006), quienes evaluaron la luminosidad de diferentes tejidos de la pulpa de aguacate, y reportaron que la luminosidad decrece de manera lineal. Al evaluar el comportamiento del empaque durante las tres etapas se puede suponer que no existe un efecto eficaz en prolongar la vida de anaquel de este producto.

Cuadro 8. Resultados de luminosidad (L\*) de la pulpa de aguacate a través del tiempo (15 °C).

Días	Tratamientos				C.V.(%) <sup>5</sup>
	Media aritmética ± DE				
	S <sup>1</sup>	E <sup>2</sup>	Z <sup>3</sup>	XZ <sup>4</sup>	
3 <sup>ns</sup>	83.17 <sup>6</sup> ± 2.90 <sup>7</sup> a	81.66 ± 2.38 a	82.45 ± 2.92 a	80.99 ± 3.15 a	3.68
6 <sup>ns</sup>	80.12 ± 1.43 a	75.73 ± 4.13 b	78.72 ± 1.86 a	77.96 ± 2.60 a	3.46
9 <sup>ns</sup>	67.50 ± 2.29 c	69.35 ± 1.22 c	67.60 ± 15.83 b	67.38 ± 2.24 b	3.00
12 <sup>ns</sup>	80.42 ± 3.40 a	82.67 ± 1.67 a	82.14 ± 2.64 a	82.44 ± 2.17 a	3.06
15	74.08 ± 6.53 b <sup>X</sup>	62.24 ± 7.44 d <sup>Y</sup>	68.65 ± 8.77 b <sup>Y</sup>	67.70 ± 15.83 b <sup>Z</sup>	14.19
18	67.07 ± 9.89 c <sup>X</sup>	56.69 ± 5.86 e <sup>Y</sup>	59.15 ± 10.25 c <sup>Y</sup>	47.56 ± 3.35 c <sup>Z</sup>	14.32
21 <sup>ns</sup>	42.22 ± 6.72 d	45.59 ± 3.60 f	42.79 ± 3.63 d	44.64 ± 8.94 c	13.67
C.V.(%) <sup>5</sup>	7.21	6.62	7.58	11.28	

<sup>1</sup>Fruto sin empaque. <sup>2</sup>Empaque sin zeolita. <sup>3</sup>Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. <sup>4</sup>Empaque con concentración de 2% de zeolita. <sup>5</sup>Coefficiente de variación. <sup>6</sup>Media aritmética. <sup>7</sup>Desviación estándar. (a-f) valores con letras diferentes minúsculas en la misma columna indican diferencia significativa entre días (P ≤ 0.05). (X-Z) valores con letras mayúsculas diferentes en la misma fila indican diferencia significativa (P ≤ 0.05) entre tratamientos. (ns) indica que no existe diferencias significativas entre tratamientos.

### **Cambio de color total ( $\Delta E$ ).**

**Cáscara.** En el periodo de madurez de cosecha no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, ni entre días (tres y seis). En efecto, la retención del color de la cascara es resultado de la atmosfera modificada creada por el empaque (Sellamuthu *et al.* 2013). Durante la madurez de consumo, en el día 12 se observa que los tratamientos S, Z y XZ son similares entre ellos y el tratamiento E difiere de ellos con el mayor cambio de color. Estos cambios tardíos al día 12 se pueden atribuir a la inhibición de la acción del etileno, lo que causa demoras en el cambio de color durante el almacenamiento (Saltveit 1999). Al día 15 los tratamientos Z y XZ reportan diferencia entre ellos, mientras que los tratamientos S y E reunieron características de los tratamientos que contenían zeolita a diferentes concentraciones (Cuadro 9). Esto quiere decir que el tratamiento conteniendo 1.5% de zeolita fue el más eficiente en preservar el color del aguacate, un comportamiento que se contrasta con el empaque al 2% de zeolita.

En la última etapa solo se presentaron diferencias significativas el día 18. En ese día el tratamiento E reporto diferencias significativas entre los tratamientos que contenían zeolita y el fruto que no contenía empaque. La similitud de estos tratamientos probablemente sea porque en los empaques que contenían zeolita acumularon altas concentraciones de CO<sub>2</sub> y bajas de O<sub>2</sub>. Esta suposición se respalda con lo encontrado por Yahia (2011) quien menciona que la descoloración en la epidermis del fruto se debe a concentraciones altas de CO<sub>2</sub> (>10%).

Al día 21 no se reportan diferencias significativas entre tratamientos y es cuando se obtiene un mayor cambio de color durante el periodo de almacenamiento. Al analizar los resultados de la investigación se determinó que el cambio de color se mostró en aumento en el transcurso del tiempo. Este incremento significa que a medida pasa el tiempo el cambio de color de los tratamientos es más notorio (López y Sarli 2016). Según lo reportado por Donadon *et al.* (2012) se podría atribuir esta tendencia a la evolución en la apariencia de los frutos en los procesos de maduración y a la senescencia. Asimismo, Ashton *et al.* (2006) mencionaron que todos los pigmentos como carotenoides, clorofila y antocianinas que se encuentran en la epidermis de los aguacates disminuyeron con la maduración. Boon *et al.* (2010) atribuyen la disminución de estos compuestos a su alta susceptibilidad a la oxidación y maduración de los frutos.

Cuadro 9. Cambio del color total  $\Delta E$  de la cascara de aguacate a través del tiempo (15 °C).

Días	Tratamientos				C.V.(%) <sup>5</sup>
	S <sup>1</sup>	E <sup>2</sup>	Z <sup>3</sup>	XZ <sup>4</sup>	
3 <sup>ns</sup>	8.12 <sup>6</sup> ± 1.71 <sup>7c</sup>	4.50 ± 1.75 <sup>e</sup>	8.38 ± 2.86 <sup>cd</sup>	5.34 ± 1.93 <sup>d</sup>	31.89
6 <sup>ns</sup>	5.58 ± 2.46 <sup>c</sup>	5.74 ± 1.85 <sup>e</sup>	6.67 ± 1.71 <sup>d</sup>	3.93 ± 2.68 <sup>d</sup>	32.04
9 <sup>ns</sup>	10.00 ± 1.19 <sup>bc</sup>	11.16 ± 1.49 <sup>d</sup>	11.22 ± 1.40 <sup>c</sup>	10.50 ± 1.10 <sup>c</sup>	7.33
12	4.99 ± 3.28 <sup>cY</sup>	17.85 ± 3.63 <sup>cX</sup>	6.67 ± 4.28 <sup>dY</sup>	8.43 ± 3.14 <sup>cdY</sup>	40.20
15	12.28 ± 3.09 <sup>bcXY</sup>	15.09 ± 4.68 <sup>cdXY</sup>	11.59 ± 3.50 <sup>cY</sup>	16.18 ± 6.84 <sup>bX</sup>	35.74
18	12.75 ± 4.51 <sup>bY</sup>	23.88 ± 7.75 <sup>bX</sup>	16.16 ± 7.31 <sup>bY</sup>	15.12 ± 7.93 <sup>bY</sup>	45.11
21 <sup>ns</sup>	31.41 ± 4.32 <sup>a</sup>	29.42 ± 9.62 <sup>a</sup>	27.49 ± 8.54 <sup>a</sup>	30.89 ± 6.19 <sup>a</sup>	26.45
C.V.(%) <sup>5</sup>	25.21	35.99	39.90	39.68	

<sup>1</sup>Fruto sin empaque. <sup>2</sup>Empaque sin zeolita. <sup>3</sup>Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. <sup>4</sup>Empaque con concentración de 2% de zeolita. <sup>5</sup>Coefficiente de variación. <sup>6</sup>Media aritmética. <sup>7</sup>Desviación estándar. <sup>(a-e)</sup> valores con letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre días ( $P \leq 0.05$ ). <sup>(X-Y)</sup> valores con letras mayúsculas diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos. <sup>(ns)</sup> indica que no existe diferencias significativas entre tratamientos. La muestra y valor de referencia para calcular  $\Delta E$  fue el aguacate al comienzo del almacenamiento ( $t = 0$ ). Fórmula para la obtención del cambio de color total  $\Delta E = \sqrt{((L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2)}$ .

### **Cambio del color total ( $\Delta E$ ).**

**Pulpa.** Los días correspondientes a la madurez de cosecha no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. En la etapa de madurez de consumo el día 15 es el único día que reportó diferencias entre tratamientos, teniendo así disparidad entre los tratamientos S, E, y Z. El tratamiento XZ reunió aspectos de los tratamientos E y Z (Cuadro 10).

El hecho de no haber tenido ninguna diferencia estadística significativa entre tratamientos en la etapa de madurez de cosecha es porque no se percibieron cambios entre los tratamientos. Se podría deducir que los mismos cambios en los parámetros de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  ocurrieron entre tratamientos. Esta suposición se respalda con lo encontrado por Mokrzycki y Tatol (2012) quienes investigaron que los cambios de color se dan por diferencias entre estos parámetros. Al día 15 se obtuvo un alto valor para el tratamiento E, lo cual mostró que este tratamiento tuvo el cambio más perceptible.

Para el periodo de senescencia en el día 18 los tratamientos E y Z son similares difiriendo de los tratamientos S y XZ. El valor mínimo de descoloración del mesocarpio para los tratamientos E y Z según lo investigado por Pesis *et al.* (2002) es por causa de una atmosfera modificada con bajo etileno. El tratamiento S para este periodo presento el menor cambio de color. Sin embargo, al tener un alto porcentaje de zeolita (2%) no fue beneficioso ya que es cuando mayores cambios de color se dieron.

El día 21 es cuando se reportó un mayor cambio de color en el periodo de almacenamiento y en este no tuvieron diferencias significativas los cuatro tratamientos. Por consiguiente, todos los tratamientos tuvieron el mismo comportamiento por el efecto del etileno y actividad enzimática al final del experimento.

Como se mencionó previamente, el cambio de color de la pulpa de los aguacates está asociado a la degradación de compuestos fenólicos por los que la polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasa (POD) afectan la apariencia del producto (Cabia *et al.* 2011). La PPO y la POD son enzimas que en presencia de oxígeno forman o-quinonas, las cuales se transforman en melaninas, que tienen una coloración intensa de marrón (Daiuto y Vieites 2008; Toledo y Aguirre 2017). Se puede inferir que el tratamiento E tuvo una mayor actividad de estas enzimas, seguido por los tratamientos XZ y Z. Esto pudo ser consecuente a la característica de hidrofilia que los empaques biodegradables presentan debido a la afinidad del almidón por las moléculas de agua (Imre y Pukánszky 2013).

Cuadro 10. Cambio del color total  $\Delta E$  de la pulpa a través del tiempo (15 °C).

Días	Tratamientos				C.V.(%) <sup>5</sup>
	S <sup>1</sup>	E <sup>2</sup>	Z <sup>3</sup>	XZ <sup>4</sup>	
3 <sup>ns</sup>	5.03 <sup>6</sup> ± 1.98 <sup>7 d</sup>	6.58 ± 5.32 <sup>e</sup>	4.96 ± 1.87 <sup>e</sup>	5.14 ± 1.26 <sup>d</sup>	54.31
6 <sup>ns</sup>	4.00 ± 1.95 <sup>d</sup>	6.08 ± 4.11 <sup>e</sup>	3.55 ± 1.36 <sup>e</sup>	3.94 ± 3.32 <sup>d</sup>	68.17
9 <sup>ns</sup>	14.14 ± 2.21 <sup>c</sup>	12.89 ± 0.94 <sup>d</sup>	13.58 ± 1.34 <sup>d</sup>	13.73 ± 1.99 <sup>c</sup>	13.21
12 <sup>ns</sup>	6.12 ± 2.13 <sup>d</sup>	6.94 ± 1.78 <sup>e</sup>	5.85 ± 1.88 <sup>e</sup>	6.12 ± 2.18 <sup>d</sup>	34.92
15	14.27 ± 6.75 <sup>c Z</sup>	27.33 ± 9.27 <sup>c X</sup>	21.69 ± 8.93 <sup>c Y</sup>	26.45 ± 14.90 <sup>b XY</sup>	44.4
18	21.74 ± 10.77 <sup>b Z</sup>	33.19 ± 6.36 <sup>b Y</sup>	30.61 ± 10.67 <sup>b Y</sup>	42.52 ± 3.77 <sup>a X</sup>	26.98
21 <sup>ns</sup>	48.59 ± 6.90 <sup>a</sup>	45.60 ± 3.55 <sup>a</sup>	48.14 ± 3.27 <sup>a</sup>	45.59 ± 8.96 <sup>a</sup>	12.84
<b>C.V (%)<sup>5</sup></b>	34.91	26.39	28.54	35.13	

<sup>1</sup>Fruto sin empaque. <sup>2</sup>Empaque sin zeolita. <sup>3</sup>Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. <sup>4</sup>Empaque con concentración de 2% de zeolita. <sup>5</sup>Coeficiente de variación. <sup>6</sup>Media aritmética. <sup>7</sup>Desviación estándar. (a-e) valores con letras diferentes minúsculas en la misma columna indican diferencia significativa entre días ( $P \leq 0.05$ ). (X-Z) valores con letras mayúsculas diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos. (ns) indica que no existe diferencias significativas entre tratamientos. La muestra de referencia para calcular  $\Delta E$  fue el aguacate al comienzo del almacenamiento ( $t = 0$ ). Fórmula para la obtención del cambio de color total  $\Delta E = \sqrt{((L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2)}$ .

## **Análisis de textura.**

**Textura de la cáscara (Epidermis).** En el día tres se obtuvo la mayor resistencia a penetración de los cuatro tratamientos. Esto se dio porque probablemente los tejidos de los frutos estaban sanos y con buena organización estructural. Existen similitudes entre los tratamientos S y Z con la mayor resistencia a la penetración. Esto probablemente sea causa de que los polisacáridos presentes en la pared celular aún no habían sido solubilizados y despolimerizados (Goulao y Oliveira 2008). Los tratamientos E y XZ también presentan similitudes, difieren de los tratamientos mencionados previamente y obtuvieron una menor resistencia. Al día seis el tratamiento Z fue el único que presentó una alta firmeza a diferencias de los otros tratamientos. En el día nueve los tratamientos S y Z vuelven a presentar similitud en la resistencia de penetración y difieren de los tratamientos XZ y E. El tratamiento E presenta una disminución significativa la cual no cambia en el transcurso de almacenamiento (Cuadro 11). Los empaques con 1.5% tuvieron un efecto de mantener la firmeza del aguacate y se podría relacionar a la interacción entre las cadenas de zeolita y el etileno. Estas se dan por uniones catión-π y puentes de hidrogeno (Patdhanagul *et al.* 2010). En cambio, en el tratamiento con 2% de zeolita tuvo resultados negativos. Esto puede ser por una mayor cantidad de zeolitas que crearon entre ellas puentes de hidrogeno los cuales son más inestables.

Los días correspondientes al periodo de madurez de consumo no mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Asimismo, para cada tratamiento a partir del día 12 no presentaron diferencias significativas entre los días de almacenamiento restantes. Para la última etapa no se observaron diferencias entre los tratamientos. Este comportamiento se respalda con lo encontrado por Oliveira *et al.* (2003) quienes evaluaron la resistencia de la cáscara de diferentes variedades, de los cuales la variedad “Fortuna” presentó una mayor resistencia antes de su madurez y menor resistencia en su estado maduro.

Según lo concluido por Gwanpua *et al.* (2018), la acción del etileno afectó más el ablandamiento de la pulpa que el cambio de color. Esto a causa de la dependencia que tiene la síntesis de las enzimas en el etileno.

Cuadro 11. Textura (N)<sup>8</sup> de la cáscara a través del tiempo (15 °C).

Días	Tratamientos				C.V.(%) <sup>5</sup>
	S <sup>1</sup>	E <sup>2</sup>	Z <sup>3</sup>	XZ <sup>4</sup>	
<b>3</b>	72.11 <sup>6</sup> ± 7.63 <sup>7</sup> a <sup>X</sup>	67.60 ± 4.34 a <sup>Y</sup>	74.16 ± 6.09 a <sup>X</sup>	64.65 ± 5.38 a <sup>Y</sup>	8.45
<b>6</b>	66.11 ± 5.61 b <sup>Y</sup>	67.06 ± 4.47 a <sup>Y</sup>	72.41 ± 13.72 a <sup>X</sup>	65.82 ± 6.55 a <sup>Y</sup>	11.99
<b>9</b>	37.79 ± 11.86 c <sup>X</sup>	8.84 ± 2.21 b <sup>Z</sup>	39.50 ± 7.75 b <sup>X</sup>	31.57 ± 9.28 b <sup>Y</sup>	21.04
<b>12<sup>ns</sup></b>	8.05 ± 1.57 d	6.99 ± 1.88 b	8.40 ± 2.55 c	10.20 ± 2.91 c	18.85
<b>15<sup>ns</sup></b>	6.91 ± 1.42 d	6.67 ± 1.24 b	6.47 ± 1.27 c	7.56 ± 1.78 c	16.57
<b>18<sup>ns</sup></b>	7.63 ± 1.81 d	6.25 ± 1.41 b	7.03 ± 1.58 c	6.49 ± 1.98 cd	19.06
<b>21<sup>ns</sup></b>	5.23 ± 1.48 d	5.36 ± 2.23 b	5.78 ± 1.25 c	5.70 ± 2.08 d	27.25
<b>C.V.(%)<sup>5</sup></b>	20.97	12.00	21.71	17.29	

<sup>1</sup>Fruto sin empaque. <sup>2</sup>Empaque sin zeolita. <sup>3</sup>Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. <sup>4</sup>Empaque con concentración de 2% de zeolita. <sup>5</sup>Coeficiente de variación. <sup>6</sup>Media aritmética. <sup>7</sup>Desviación estándar. <sup>8</sup>Newtons. (a-d) valores con letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre días ( $P \leq 0.05$ ). (X-Z) valores con letras mayúsculas diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos. (ns) indica que no existe diferencias significativas entre tratamientos.

**Textura de la pulpa (Mesocarpio).** En el día tres los tratamientos S y E presentaron una fuerza de compactación menor, lo cual se le confiere a la acción de las enzimas relacionadas con la degradación de pectinas y hemicelulosas, como poligalacturonasa (PG) y pectinmetilesterasa (PME) (Sañudo *et al.* 2008). El tratamiento XZ presentó una mayor resistencia de compactación y probablemente se deba a que el empaque tuvo una concentración de etileno lo suficientemente baja para la activación de la PG (Salcedo 2014). Cambios en la textura Al día 6 el tratamiento E fue el único que presentó diferencias entre los tratamientos con una mayor firmeza en la compactación. En el día 9 no se encontraron diferencias entre S y Z ni entre E y XZ. A partir del día 12 no existieron diferencias significativas entre los tratamientos para los demás días de almacenamiento. Adicionalmente no se reportaron diferencias entre días de los cuatro tratamientos a partir de la misma fecha (Cuadro 12). El etileno tuvo un efecto benéfico en el ablandamiento de la pulpa hasta el punto en el cual el fruto se presentó sobreexpuesto, la madurez se transformó en senescencia y la pulpa se volvió demasiado suave (Saltviet 1999).

Bapat *et al.* (2010), mencionaron que los cambios de maduración del aguacate son caracterizados a un nivel bioquímico. La pulpa de los aguacates está compuesta por células vegetales las cuales tienen matrices de polisacáridos, compuestos por pectina, hemicelulosa y celulosa (Chen *et al.* 2017). El etileno estimula la expresión de genes que codifican enzimas relacionadas con los cambios durante la maduración y senescencia (Balaguera-López *et al.* 2014). Al tener presencia de etileno, la poligalacturonasa (PG) despolimeriza la red de celulosa y hemicelulosa y se tiene como efecto el ablandamiento de la pulpa (Pereira *et al.* 2015).

Es por esto, que luego del día 12 no se encontraron diferencias entre los tratamientos al igual que entre los días. Se podría inferir que todos los tratamientos se vieron afectados por la acción enzimática activada por el etileno.

Se podría argumentar que los tratamientos conteniendo zeolita no influyeron de manera positiva ya que no mostraron una alta resistencia de compactación en la pulpa. Esto puede ser consiguiente de la acumulación de etileno dentro del empaque y la baja capacidad de la zeolita en absorberlo. Esta teoría es basada en lo investigado por (Patdhanagul *et al.* 2010) quienes recomiendan utilizar zeolita modificada con surfactantes para mejorar la capacidad de intercambio catiónico de dicha arcilla.

Cuadro 12. Textura (N)<sup>8</sup> de la pulpa de aguacate a través del tiempo (15 °C).

Días	Tratamientos				C.V.(%) <sup>5</sup>
	S <sup>1</sup>	E <sup>2</sup>	Z <sup>3</sup>	XZ <sup>4</sup>	
3	420.92 <sup>6</sup> ± 138.77 <sup>7</sup> a <sup>Y</sup>	448.56 ± 93.11 a <sup>Y</sup>	413.60 ± 100.81 a <sup>Z</sup>	482.53 ± 68.13 a <sup>X</sup>	20.14
6	300.25 ± 76.78 b <sup>Y</sup>	423.59 ± 83.25 a <sup>X</sup>	356.05 ± 70.21 b <sup>Y</sup>	340.08 ± 77.97 b <sup>Y</sup>	19.74
9	73.21 ± 27.64 c <sup>X</sup>	9.43 ± 1.21 b <sup>Y</sup>	86.51 ± 5.42 c <sup>X</sup>	33.42 ± 16.68 c <sup>Y</sup>	34.15
12 <sup>ns</sup>	8.33 ± 2.72 d	6.79 ± 1.80 b	9.46 ± 2.75 d	11.00 ± 2.78 c	31.77
15 <sup>ns</sup>	5.96 ± 1.56 d	5.62 ± 1.30 b	6.54 ± 1.36 d	8.44 ± 2.59 c	26.44
18 <sup>ns</sup>	6.56 ± 2.72 d	5.38 ± 2.23 b	7.47 ± 2.94 d	7.11 ± 1.78 c	32.54
21 <sup>ns</sup>	6.94 ± 1.95 d	6.02 ± 1.65 b	8.47 ± 2.83 d	9.11 ± 3.63 c	32.62
C.V.(%) <sup>5</sup>	53.35	37.33	37.51	30.15	

<sup>1</sup>Fruto sin empaque. <sup>2</sup>Empaque sin zeolita. <sup>3</sup>Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. <sup>4</sup>Empaque con concentración de 2% de zeolita. <sup>5</sup>Coefficiente de variación. <sup>6</sup>Media aritmética. <sup>7</sup>Desviación estándar. <sup>8</sup>Newtons. (a-c) valores con letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre días (P ≤ 0.05). (X-Z) valores con letras mayúsculas diferentes en la misma fila indican diferencia significativa (P ≤ 0.05) entre tratamientos. (ns) indica que no existe diferencias significativas entre tratamientos

### **Análisis de sólidos solubles totales (SST).**

En este análisis se observó un aumento en los SST desde el inicio del experimento hasta el último día. Sin embargo, no existió un patrón de comportamiento claro entre los tratamientos. Esto probablemente sea porque el contenido de azúcares dentro de cada fruto realiza diferentes procesos celulares los cuales consumen los azúcares antes de la maduración (Blakey *et al.* 2015).

En el día tres se pudo observar que los tratamientos S, E y XZ son similares entre ellos contrastando al tratamiento Z el cual presentó una mayor concentración de sólidos solubles. Para el día seis únicamente se presentó diferencia significativa el tratamiento XZ por obtener valores de sólidos solubles bajos. El bajo contenido de SST es debido a que se generó una atmósfera modificada que disminuyó la tasa respiratoria, el proceso de maduración fue retardado por lo tanto, hubo un menor contenido de SS (Salcedo 2014). En el día nueve se observó que los tratamientos S y XZ son diferentes entre ellos y que los tratamientos E y Z tuvieron características de ambos tratamientos. Por consiguiente, que el tratamiento S tuviera un mayor contenido de sólidos solubles es explicado por Vieites *et al.* (2012), el incremento es consecuencia del metabolismo respiratorio climatérico a lo largo del periodo de almacenamiento. Adicionalmente, el tratamiento S no contenía ningún tipo de empaque utilizó los carbohidratos almacenados y los desdobló a moléculas más sencillas para llevar a cabo los procesos fisiológicos (Tsfay *et al.* 2012) (Cuadro 13).

En la etapa de madurez de consumo en el día 12 los tratamientos S y XZ son estadísticamente iguales presentando mayor contenido de sólidos solubles. Este comportamiento por parte del tratamiento XZ puede que fuera por efecto de una mayor producción de CO<sub>2</sub> causada por la actividad metabólica de las alfa y beta amilasas. Estas enzimas hidrolizan el almidón a carbohidratos más simples como monosacáridos y disacáridos (Márquez *et al.* 2016). Para el día 15 no existen diferencias significativas entre tratamientos.

En la etapa de senescencia no existieron diferencias entre tratamientos en el día 18. Estos resultados coinciden con los encontrados por Sanches *et al.* (2008) quienes reportaron que los empaques no afectaron la tendencia de reducción de sólidos solubles durante el periodo de almacenamiento. No obstante, el día 21 presentó diferencias entre los tratamientos S, con mayor contenido de SST y el tratamiento Z con menor cantidad. Esto probablemente se deba a que aún existían cantidades sustanciales de manohexulosa y perseitol, azúcares de 7-carbonos, y los frutos metabolizaron estos azúcares mediante mecanismos enzimáticos (Meyer y Terry 2010).

Cuadro 13. Valores solidos solubles (°Brix) a través del tiempo (15 °C).

Días	Tratamientos				C.V.(%) <sup>5</sup>
	S <sup>1</sup>	E <sup>2</sup>	Z <sup>3</sup>	XZ <sup>4</sup>	
<b>3</b>	1.87 <sup>6</sup> ± 1.35 <sup>7</sup> d <sup>Y</sup>	2.07 ± 1.39 <sup>c</sup> Y	3.55 ± 0.34 <sup>ab</sup> X	3.48 ± 0.57 <sup>c</sup> Y	55.15
<b>6</b>	2.93 ± 0.48 <sup>c</sup> X	3.02 ± 1.10 <sup>b</sup> X	2.98 ± 0.69 <sup>b</sup> X	1.85 ± 1.24 <sup>e</sup> Y	32.94
<b>9</b>	4.22 ± 0.55 <sup>ab</sup> X	3.92 ± 0.42 <sup>ab</sup> XY	3.83 ± 0.16 <sup>a</sup> XY	3.30 ± 0.95 <sup>d</sup> Y	13.36
<b>12</b>	4.93 ± 0.50 <sup>a</sup> X	3.95 ± 0.21 <sup>ab</sup> Y	4.12 ± 0.35 <sup>a</sup> Y	5.02 ± 0.74 <sup>a</sup> X	9.07
<b>15<sup>ns</sup></b>	4.13 ± 0.16 <sup>ab</sup>	4.33 ± 0.51 <sup>a</sup>	4.25 ± 0.21 <sup>a</sup>	4.43 ± 0.62 <sup>ab</sup>	8.72
<b>18<sup>ns</sup></b>	3.98 ± 0.68 <sup>b</sup>	3.40 ± 0.24 <sup>b</sup>	4.08 ± 0.15 <sup>a</sup>	4.07 ± 0.27 <sup>b</sup>	10.80
<b>21</b>	4.92 ± 0.97 <sup>a</sup> X	4.17 ± 0.31 <sup>ab</sup> XY	4.03 ± 0.20 <sup>a</sup> Y	4.53 ± 0.77 <sup>ab</sup> XY	12.77
<b>C.V.(%)<sup>5</sup></b>	20.81	19.42	9.40	23.69	

<sup>1</sup>Fruto sin empaque. <sup>2</sup>Empaque sin zeolita. <sup>3</sup>Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. <sup>4</sup>Empaque con concentración de 2% de zeolita. <sup>5</sup>Coefficiente de variación. <sup>6</sup>Media aritmética. <sup>7</sup>Desviación estándar. (a-c) valores con letras minúscula diferentes en la misma fila indican diferencia significativa entre días (P ≤ 0.05). (X-Y) valores con letras mayúscula diferentes en la misma columna indican diferencia significativa (P ≤ 0.05) entre tratamientos. (ns) indica que no existe diferencias significativas entre tratamientos

#### 4. CONCLUSIONES

- La mejor formulación para la elaboración del empaque activo biodegradable fue la elaborada con zeolita (0.5 y 1.5%), almidón (39.99%), glicerol al 30% y poli (adipato co-tereftalato de butileno) PBAT al 30%.
- El empaque sin zeolita y zeolita al 1.5% presentaron mejores características en la fuerza máxima de rotura. La adición de zeolita no influyó en el porcentaje de elongación. El empaque al 2% de zeolita presentó una mejor permeabilidad al vapor de agua y Módulo de Young.
- La adición de zeolita en los empaques no influyó en un mejor efecto en la absorción del etileno en las etapas de madurez de consumo de los aguacates.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Ampliar la investigación en nanocompuestos tipo arcillas (montmorillonita, vermiculita) para mejorar las propiedades mecánicas de los bioempaques y a su vez permitan obtener un efecto como empaque activo.
- Utilizar surfactantes para mejorar el intercambio catiónico que poseen las zeolitas y lograr una mejor interacción intermolecular entre el almidón, PBAT y mejorar la adsorción de etileno.
- Medir la tasa respiratoria y actividad enzimática de los aguacates durante el almacenamiento en distintas temperaturas y humedades, los cuales son factores que limitan la vida anaquel del fruto.

## 6. LITERATURA CITADA

Aguirre J, Ventura J, Martínez-Vázquez G, Ruelas-Chacón X, Rojas Molina R, Rodriguez R, Aguilar C. 2017. Effects of a natural bioactive coating on the quality and shelf life prolongation at different storage conditions of avocado (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. Food Packaging and Shelf Life. 14(B). doi: 10.1016/j.fpsl.2017.09.003

Arauz Luis Felipe, Mora Dennis, 1983. Evaluación preliminar de los problemas postcosecha en seis frutas tropicales de Costa Rica. Agronomía Costarricense 7 (1/2): 43–53.

Ashton OBO, Wong M, McGhie TK, Vather R, Wang Y, Requejo-Jackman C, Ramankutty P, Woolf AB. 2006. Pigments in avocado tissue and oil. J Agric Food Chem. 54(26):10151–10158. eng. doi:10.1021/jf061809j.

Avérous L. 2014. Formulation and Development of Biodegradable and Bio-Based Multiphase Materials: Plasticized Starch-Based Materials. London: ISTE; Hoboken (Wiley Online Books). ISBN: 9781118827116.

Balaguera-López HE, Salamanca-Gutiérrez FA, García JC, Herrera-Árevalo A. 2014. Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. Rev. Colomb. Cienc. Hortic. 8(2):302. doi:10.17584/rch.2014v8i2.3222.

Bapat VA, Trivedi PK, Ghosh A, Sane VA, Ganapathi TR, Nath P. 2010. Ripening of fleshy fruit: Molecular insight and the role of ethylene. Biotechnol Adv. 28(1):94–107. eng. doi:10.1016/j.biotechadv.2009.10.002.

Belibi PC, Daou TJ, Ndjaka J-MB, Michelin L, Brendlé J, Nsom B, Durand B. 2013. Tensile and water barrier properties of cassava starch composite films reinforced by synthetic zeolite and beidellite. Journal of Food Engineering. 115(3):339–346. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.10.027.

Blakey RJ, Tesfay SZ, Bertling I, Bower JP. 2015. Changes in sugars, total protein, and oil in ‘Hass’ avocado (*Persea americana* Mill.) fruit during ripening. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 87(4):381–387. doi:10.1080/14620316.2012.11512880.

Boon CS, McClements DJ, Weiss J, Decker EA. 2010. Factors influencing the chemical stability of carotenoids in foods. Crit Rev Food Sci Nutr. 50(6):515–532. eng. doi:10.1080/1040839080256588

Cabia NC, Daiuto ÉR, Vieites RL, Fumes JGF, Carvalho LR de. 2011. Fenólicos totais, polifenoloxidação e coloração em abacate 'Hass' submetido a radiação UV-C. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 33(spe1):314–320. doi:10.1590/S0100-29452011000500039.

Cerdas Araya M. del M., Montero Calderón Marta, Díaz Cordero Eduardo. 2006. Manual de manejo pre y postcosecha de aguacate (*Persea americana*). Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José (Costa Rica) Universidad de Costa Rica, San José (Costa Rica). Centro de Investigaciones Agronómicas Consejo Nacional de Producción, San José (Costa Rica). Dirección de Calidad Agrícola. Área Postcosecha.

Chen J, Liu X, Li F, Li Y, Yuan D. 2017. Cold shock treatment extends shelf life of naturally ripened or ethylene-ripened avocado fruits. *PLOS ONE*. 12(12):e0189991. doi:10.1371/journal.pone.0189991.

Coloma A, Rodríguez FJ, Bruna JE, Guarda A, Galotto MJ. 2014. Development of an active film with natural zeolite as ethylene scavenger. *Journal of the Chilean Chemical Society*. 59(2):2409–2414. doi:10.4067/S0717-97072014000200003.

da Silva NMC, Correia PRC, Druzian JI, Fakhouri FM, Fialho RLL, Albuquerque ECMC de. 2017. PBAT/TPS Composite Films Reinforced with Starch Nanoparticles Produced by Ultrasound. *International Journal of Polymer Science*. (5):1–10. doi:10.1155/2017/4308261.

Daiuto ÉR, Vieites RL. 2008. Atividade da peroxidase e polifenoloxidase em abacate da variedade Hass, submetidos ao tratamento térmico. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 9(2):106–112.

Donadon JR, Durigan JF, Morgado CMA, Santos LO. 2012. Armazenamento refrigerado de abacates 'Hass'. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 34(4):981–989. pt. [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S01009452012000400004&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01009452012000400004&nrm=iso).

Eltlhawy B. 2011. Wear Resistant Extruder Screw: Regeneration of Screws. Egypt: Mansoura University.

Faria FA. 2012. Propriedades físico-químicas de abacate submetido à secagem convectiva e desidratação osmótica. São Paulo: Universidade Estadual Paulista (UNESP). 109 f.: il. por. [https://repositorio.unesp.br/bitstream/11449/88399/1/faria\\_fa\\_me\\_sjrp.pdf](https://repositorio.unesp.br/bitstream/11449/88399/1/faria_fa_me_sjrp.pdf).

Fidelis JCF, Monteiro ARG, Scapim MRS, Monteiro CCF, Morais DR, Claus T, Visentainer JV, Yamashita F. 2015. Development of an active biodegradable film containing tocopherol and avocado peel extract. *Italian Journal of Food Science*. 27(4):468–475. doi:10.14674/1120-1770/ijfs.v379.

Figueroa Jorge, Salcedo Jairo, Aguas Yelitza, Olivero Rafael, Narvaez German. 2011. Recubrimientos comestibles en la conservación del mango y aguacate, y perspectiva, al uso

del propóleo en su formulación. In *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA* 3 (2): 386–400.

Frydrych E, Foltynowicz Z, Kowalak S, Janiszewska E. 2007. Oxygen scavengers for packing system based on zeolite adsorbed organic compounds. En: Xu R, editor. *From zeolites to porous MOF materials--the 40th anniversary of International Zeolite*. 170(A): 1597-1604. doi:10.1016/S0167-2991(07)81036-6

Gaona A, Agudelo G, Herrera AO, Castellanos DA. 2018. Modeling and simulation of an active packaging system with moisture adsorption for fresh produce. Application in ‘Hass’ avocado. *Food Packaging and Shelf Life*. 17:187–195. doi:10.1016/j.fpsl.2018.07.005.

García PS, Baron AM, Yamashita F, Mali S, Eiras D, Grossmann MVE. 2018. Compatibilization of starch/poly (butylene adipate -co- terephthalate) blown films using itaconic acid and sodium hypophosphite. *J. Appl. Polym. Sci.* 135(33):46629. doi:10.1002/app.46629.

Gerdes D, Parrino-Lowe V. 1995. Modified atmosphere packaging (MAP) of Fuerte Avocado halves. *Lwt - Food Science and Technology*. 28. doi:10.1016/S0023-6438(95)80005-0.

Goulao L, Oliveira C. 2008. Cell wall modifications during fruit ripening: When a fruit is not the fruit. *Trends in Food Science & Technology*. 19(1):4–25. doi:10.1016/j.tifs.2007.07.002

Gwanpua SG, Qian Z, East AR. 2018. Modelling ethylene regulated changes in ‘Hass’ avocado quality. *Postharvest Biology and Technology*. 136:12–22. doi:10.1016/j.postharvbio.2017.10.002.

Hurtado Fernández E, Fernández Gutiérrez A, Carrasco Pancorbo A. 2018. Avocado fruit—*Persea americana*. En: Rodrigues S, Silva EdO, Brito ESd, editores. *Exotic fruits reference guide*. Amsterdam: Academic Press. p. 37–48.

Imre B, Pukánszky B. 2013. Compatibilization in bio-based and biodegradable polymer blends. *European Polymer Journal*. 49(6):1215–1233. doi:10.1016/j.eurpolymj.2013.01.019.

Jambeck JR, Geyer R, Wilcox C, Siegler TR, Perryman M, Andrady A, Narayan R, Law KL. 2015. Marine pollution. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*. 347(6223):768–771. eng. doi:10.1126/science.1260352.

Junaedy M, Azowa Ibrahim N, Md Zin Wan Yunus W. 2017. Effect of Modified Clay on the Morphological and Thermal Properties of PLA/PBAT Nanocomposites. *Orient. J. Chem.* 33(6):3015–3023. doi:10.13005/ojc/330639.

Kader A. A. 2011. Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas: UCANR Publications. [consultado 2018 feb 22] <https://books.google.com.br/books?id=x62K8WywAt4C>.

Lendvai L, Apostolov A, Karger-Kocsis J. 2017. Characterization of layered silicate-reinforced blends of thermoplastic starch (TPS) and poly(butylene adipate-co-terephthalate). *Carbohydrate Polymers*. 173:566–572. eng. doi:10.1016/j.carbpol.2017.05.100.

Luna Gabriela, Villada Hector, Velasco Reinaldo. 2009. Fique' s fiber reinforced thermoplastic starch of cassava. Preliminary. In *Dyna* 76 (159): 145–151.

López A, Di Sarli AR. 2016. El modelo CIELAB, las fórmulas de diferencia de color y el uso de la norma europea EN 12878 en morteros y hormigones coloreados. Buenos Aires, Argentina: Comision de Investigaciones Cientificas (Número 6). Español. [https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/11746/5804/1/05\\_EL%20MODELO.pdf-PDFA.pdf](https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/11746/5804/1/05_EL%20MODELO.pdf-PDFA.pdf).

López Romero JM. 2013. Transformación de materiales termoplásticos (UF0726). Madrid: IC Editorial. 261. ISBN: 8416173184.

Luchese CL, Spada JC, Tessaro IC. 2017. Starch content affects physicochemical properties of corn and cassava starch-based films. *Industrial Crops and Products*. 109:619–626. doi:10.1016/j.indcrop.2017.09.020.

Maqbool M, Ali A, Alderson PG, Zahid N, Siddiqui Y. 2011. Effect of a novel edible composite coating based on gum arabic and chitosan on biochemical and physiological responses of banana fruits during cold storage. *J Agric Food Chem*. 59(10):5474–5482. eng. doi:10.1021/jf200623m.

Márquez C, Yepes D, Sanchez L, Osorio J. 2016. Cambios fisico-químicos del aguacate (*Persea americana* Mill. cv. "Hass") en postcosecha para dos municipios de Antioquia. *Temas Agrarios*. 19(1):32–47.

Marzano Barreda LA. 2018. Desenvolvimento de embalagem ativa biodegradável para banana e brócolis frescos [Tesis]. Universidade Estadual de Londrina, Londrina-Brasil:.

McKeen LW. 2017. Multilayered Films. En: McKeen LW, editor. *Film properties of plastics and elastomers*. Fourth edition. Norwich: William Andrew. p. 481–498 (Plastics design library).

Meyer MD, Terry LA. 2010. Fatty acid and sugar composition of avocado, cv. Hass, in response to treatment with an ethylene scavenger or 1-methylcyclopropene to extend storage life. *Food Chemistry*. 121(4):1203–1210. doi:10.1016/j.foodchem.2010.02.005.

Müller CMO, Laurindo JB, Yamashita F. 2011. Effect of nanoclay incorporation method on mechanical and water vapor barrier properties of starch-based films. *Industrial Crops and Products*. 33(3):605–610. doi:10.1016/j.indcrop.2010.12.021.

Müller CMO, Laurindo JB, Yamashita F. 2012. Composites of thermoplastic starch and nanoclays produced by extrusion and thermopressing. *Carbohydr Polym*. 89(2):504–510. eng. doi:10.1016/j.carbpol.2012.03.035.

Mokrzycki WS, Tatol M. 2012. Color difference Delta E - A survey. Poland: University of Warmia and Mazury. [consultado 2018 sep 03] [https://www.researchgate.net/publication/236023905\\_Color\\_difference\\_Delta\\_E\\_-\\_A\\_survey](https://www.researchgate.net/publication/236023905_Color_difference_Delta_E_-_A_survey).

Moshoeshoe M, Silas Nadiye-Tabbiruka M, Obuseng V. 2017. A Review of the Chemistry, Structure, Properties and Applications of Zeolites. *American Journal of Materials Science*. 7(5):196–221. doi://10.5923/j.materials.20170705.12.

Nobrega MM, Olivato JB, Müller CMO, Yamashita F. 2012. Biodegradable starch-based films containing saturated fatty acids: Thermal, infrared and raman spectroscopic characterization. *Polímeros*. 22(5):475–480. doi:10.1590/S0104-14282012005000068.

Olivato J. B., Grossmann M.V.E., Yamashita F., Eiras D., Pessan L. A. 2012. Citric acid and maleic anhydride as compatibilizers in starch/poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends by one-step reactive extrusion. *Carbohydrate Polymers* 87 (4): 2614–2618. DOI: 10.1016/j.carbpol.2011.11.035.

Oliveira ALd, Brunini MA, Visicato ML, Siqueira, Antonia Maria Ferraz de, Varanda DB. 2003. Atributos físicos em abacates (*Persa americana L*) provenientes da região de ribeirão preto - SP. *Nucleus*. 1(1):1–8. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4031069.pdf>.

Özkaya O, Yildirim D, Dündar Ö, Tükel SS. 2016. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and modified atmosphere packaging on postharvest storage quality of nectarine fruit. *Scientia Horticulturae*. 198:454–461. doi:10.1016/j.scienta.2015.12.016

Patdhanagul N, Srithanratana T, Rangsrwatananon K, Hengrasmee S. 2010. Ethylene adsorption on cationic surfactant modified zeolite NaY. *Microporous and Mesoporous Materials*. 131(1):97–102. doi:10.1016/j.micromeso.2009.12.008.

Pereira MEC, Sargent SA, Huber DJ. 2015. Delayed and prolonged ethylene treatment alleviates firmness asynchrony enhanced by 1-methylcyclopropene exposure in Guatemalan-West Indian avocado. *Postharvest Biology and Technology*. 108:54–60. doi:10.1016/j.postharvbio.2015.05.009.

Perugini F, Mastellone ML, Arena U. 2005. A life cycle assessment of mechanical and feedstock recycling options for management of plastic packaging wastes. *Environ. Prog*. 24(2):137–154. doi:10.1002/ep.10078.

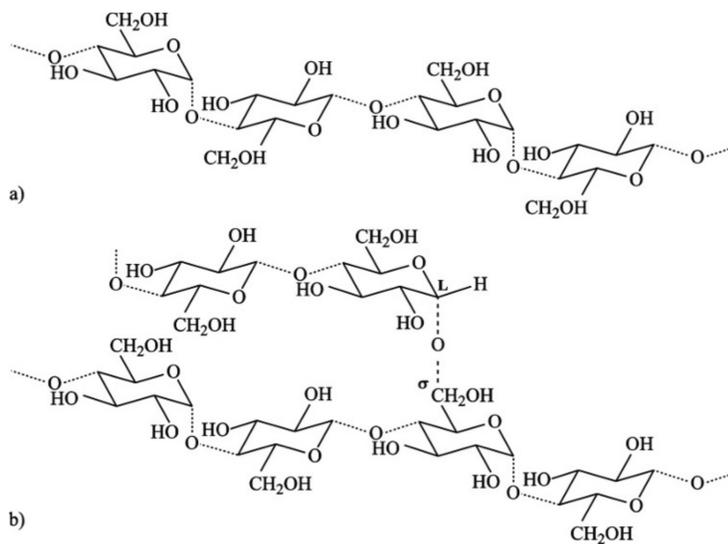
- Pesis E, Ackerman M, Ben-Arie R, Feygenberg O, Feng X, Apelbaum A, Goren R, Prusky D. 2002. Ethylene involvement in chilling injury symptoms of avocado during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*. 24(2):171–181. doi:10.1016/S0925-5214(01)00134-X.
- Porta J, López-Acevedo Reguerín M, Poch RM. 2014. *Edafología: Uso y protección de suelos*. 3ª ed. rev. ampl. Madrid: Mundi-Prensa. 607 p. ISBN: 978-84-8476-661-2.
- Rasyida A, Fukushima K, Yang M-C. 2017. Structure and properties of organically modified poly(butylene adipate-co-terephthalate) based nanocomposites. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 223:12023. doi:10.1088/1757-899X/223/1/012023.
- Rayas JA, Rodríguez-Vera R, Martínez A. 2003. Medición del módulo de Young en el hule látex usando ESPI. *Revista mexicana de física*. 49(6):555–564.
- Reis Mônica Oliveira, Olivato Juliana Bonametti, Zanela Juliano, Yamashita Fábio, Grossmann Maria Victoria Eiras. 2017. Influence of microcrystalline cellulose in thermoplastic starch/polyester blown films. *Polímeros* 27 (2): 129–135. eng. doi: 10.1590/0104-1428.2338.
- Romero-Bastida CA, Bello-Pérez LA, Velazquez G, Alvarez-Ramirez J. 2015. Effect of the addition order and amylose content on mechanical, barrier and structural properties of films made with starch and montmorillonite. *Carbohydrate Polymers*. 127:195–201. eng. doi:10.1016/j.carbpol.2015.03.074.
- Salcedo Echavarría A. 2014. Evaluación de absorbentes de etileno compuestos por mezclas de permanganato de potasio y vermiculita como retardantes de madurez de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) [Tesis]. Universidad Nacional de Colombia, Colombia:
- Saltveit ME. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 15(3):279–292. doi:10.1016/S0925-5214(98)00091-X.
- Sanches J, Durigan JF, Durigan MFB. 2008. Aplicação de danos mecânicos em abacates e seus efeitos na qualidade dos frutos. *Eng. Agríc.* 28(1):164–175. doi:10.1590/S0100-69162008000100017.
- Santos RAL, Muller CMO, Grossmann MVE, Mali S, Yamashita F. 2014. Starch/poly (butylene adipate-co-terephthalate)/montmorillonite films produced by blow extrusion. *Química Nova*. 37(6): 937-942. doi:10.5935/0100-4042.20140170.
- Sañudo Barajas JA, Siller Cepeda J, Osuna Enciso T, Muy Rangel D, López Álvarez G, Osuna Castro JA, Greve C, Labavitch J. 2008. Solubilización y despolimerización de pectinas durante el ablandamiento de frutos de papaya. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(2):149–155. Español.

- Sellamuthu PS, Mafune M, Sivakumar D, Soundy P. 2013. Thyme oil vapour and modified atmosphere packaging reduce anthracnose incidence and maintain fruit quality in avocado. *J. Sci. Food Agric.* 93(12):3024–3031. doi:10.1002/jsfa.6135.
- Streit NM, Canterle LP, Canto MWd, Hecktheuer LHH. 2005. As clorofilas. *Cienc. Rural.* 35(3):748–755. doi:10.1590/S0103-84782005000300043.
- Sue-aok N, Srithanratana T, Rangsiwatananon K, Hengrasmee S. 2010. Study of ethylene adsorption on zeolite NaY modified with group I metal ions. *Applied Surface Science.* 256(12):3997–4002. doi:10.1016/j.apsusc.2010.01.065
- Tesfay SZ, Bertling I, Bower JP. 2012. D-mannoheptulose and perseitol in ‘Hass’ avocado: Metabolism in seed and mesocarp tissue. *South African Journal of Botany.* 79:159–165. doi:10.1016/j.sajb.2011.10.006.
- Toledo L, Aguirre C. 2017. Enzymatic browning in avocado (*Persea americana*) revisited: History, advances, and future perspectives. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 57(18):3860–3872. eng. doi:10.1080/10408398.2016.1175416.
- Undurraga P, Olaeta JA, Opazo G. 2003. Caracterización histológica y bioquímica de desórdenes fisiológicos en paltas (*Persea americana* Mill.) Cv. Hass en almacenaje refrigerado, en dos estados de madurez. *Proceedings V World Avocado Congress.* 653–658.
- Vanini LS, Kwiatkowski A, Clemente E. 2010. Polyphenoloxidase and peroxidase in avocado pulp (*Persea americana* Mill.). *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 30(2):525–531. doi:10.1590/S0101-20612010000200036.
- Vermeiren L., Devlieghere F., van Beest M., Kruijf N. de, Debevere J. 1999. Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food Science & Technology* 10 (3): 77–86. eng. doi: 10.1016/S0924-2244(99)00032-1.
- Vieira MGA, da Silva MA, dos Santos LO, Beppu MM. 2011. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal.* 47(3):254–263. doi:10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011.
- Vieites RL, Daiuto ÉR, Fumes JGF. 2012. Capacidade antioxidante e qualidade pós-colheita de abacate 'Fuerte'. *Revista Brasileira de Fruticultura.* 34(2):336–348. doi:10.1590/S0100-29452012000200005.
- Weng Yun-Xuan, Yu-Juan Jin, Qing-Yang Meng, Lei, Wang, Min Zhang, Yu-Zhong Wang. 2013. Biodegradation behavior of poly (butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT), poly (lactic acid) (PLA), and their blend under soil conditions. *Polymer Testing* 32 (5): 918–926. eng. doi: 10.1016/j.polymertesting.2013.05.001.

Yahia EM. 2011. Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits: Açaí to Citrus. [sin lugar]: Elsevier Science (Woodhead publishing series in food science, technology and nutrition). ISBN: 9780857092762.

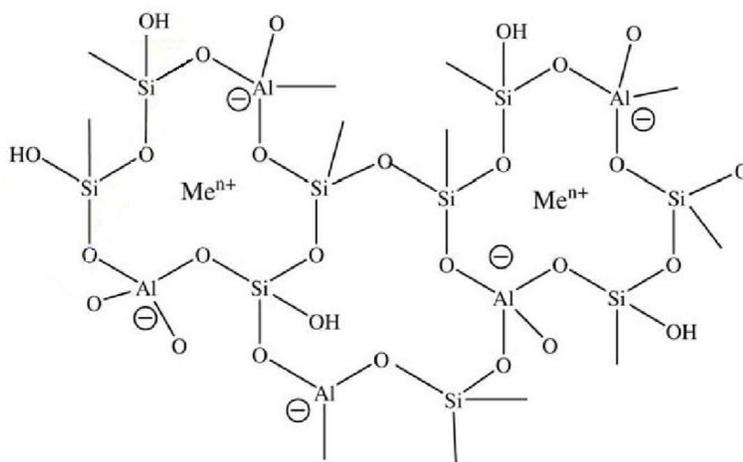
## 7. ANEXOS

### Anexo 1. Estructura de amilosa y amilopectina.



Fuente: Avérous (2014)

### Anexo 2. Estructura de las zeolitas.



Fuente: Moshoeshoe *et al.* (2017)

### Anexo 3. Interacciones entre zeolita y etileno.

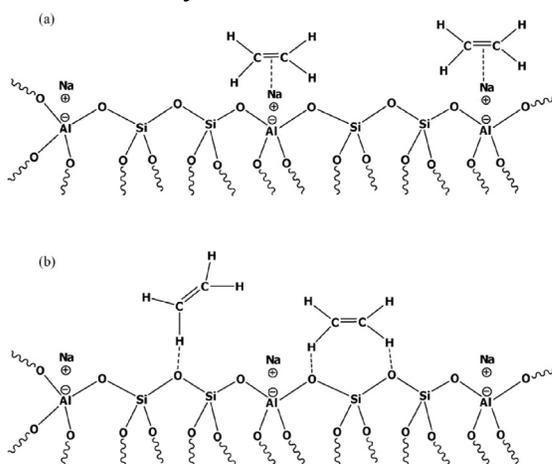
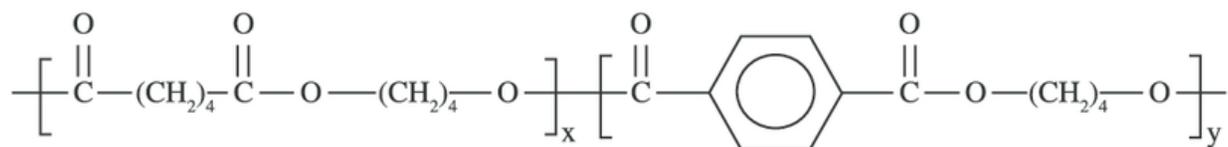


Fig. 5. Possible interactions between ethylene and zeolite (a) cation- $\pi$  interaction and (b) CH...O interaction.

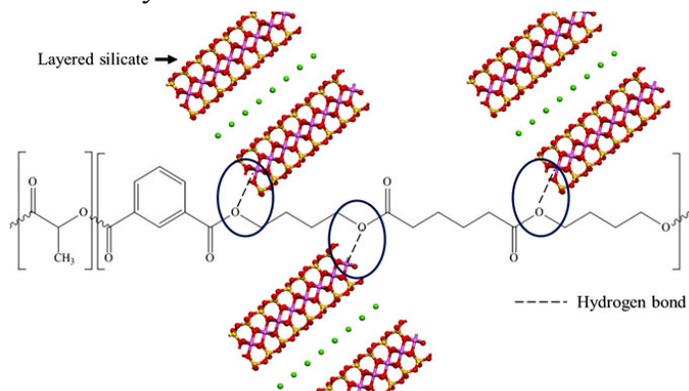
Fuente: Sue-aok *et al.* (2010)

### Anexo 4. Estructura del PBAT.



Fuente: Nobrega *et al.* (2012)

### Anexo 5. Interacción zeolita y PBAT.



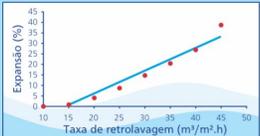
Fuente: Junaedy *et al.* 2017

## Anexo 6. Ficha técnica zeolita.



**Watercel**  
Tratamento de Água,  
Efluentes Urbanos e Industriais

**Expansão na Retrolavagem**



Meio filtrante desenvolvido para a eficiente remoção de ferro e manganês no tratamento de águas para consumo humano e efluentes industriais.

**Características Físicas**

Ponto de fusão	1.300°C
Densidade aparente	0,98 g/cm <sup>3</sup>
Cor	Marrom escuro
Granulometria	0,4 a 1,0 mm

**Recomendações para Aplicação**

- Taxa de filtração: 10 a 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h
- Altura de leito: a partir de 800 mm
- Taxa de retrolavagem: 25 a 35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h
- Expansão na retrolavagem: 20 a 30 %
- pH: >6,8 para ferro e >8,5 para manganês
- Suporte do leito: utilizar Watercel ZN (altura mínima de 200 mm utilizando uma granulometria ou 100 mm utilizando duas granulometrias)

**Manutenção**

Aplicar cloro\* antes do filtro, mantendo um residual de cloro livre de 1,0 a 2,0 mg/L. A primeira retrolavagem deve ser feita até a água sair cristalina. Realizar retrolavagens frequentes para não perder eficiência no filtro (no mínimo 1 vez ao dia).

\*Recomendamos: Cloro gás, hipoclorito de sódio ou cálcio. Como alternativa ao cloro pode-se aplicar permanganato de potássio, ozônio, peróxido de hidrogênio.

**Benefícios**

- Facilidade de retrolavagem devido à baixa densidade e a possibilidade de uso da água de alimentação;
- Menor perda de carga devido à alta porosidade;
- Alta capacidade de adsorção de ferro e manganês.

**Dimensionamento do Produto**

- Para teores de até 6,0 ppm de ferro e 2,0 mg/L de manganês:

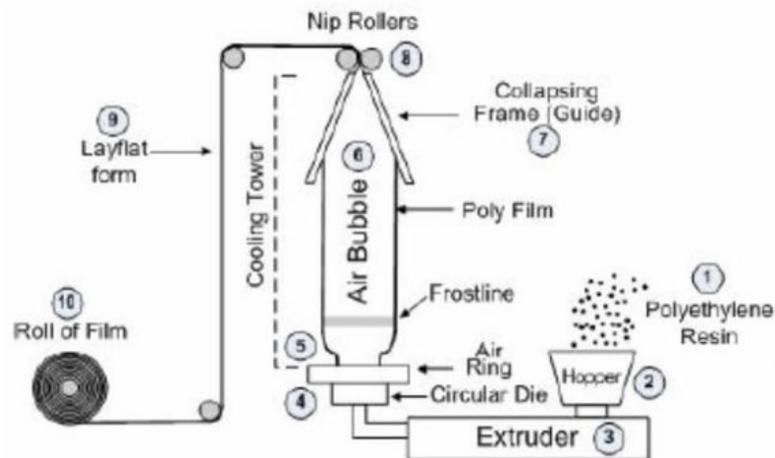
Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	Quantidade (kg) para cada 1.000lh
10	100
11	90
12	85
13	80
14	75
15	70

- Para teores superiores a 6,0 ppm de ferro e 2,0 ppm de manganês, realizar decantação antes do processo de filtração.

**Apresentação**

Watercel ZF é fornecido em sacos com 25 kg.

## Anexo 7. Proceso de extrusión por soplado.



Fuente: Eltlhawy 2011

**Anexo 8.** Matriz polimérica de almidón y PBAT.



**Anexo 9.** Matriz polimérica de almidón, PBAT, glicerol y zeolita.



**Anexo 10.** Extrusión de espaguetis



**Anexo 11.** Peletizado de espaguetis



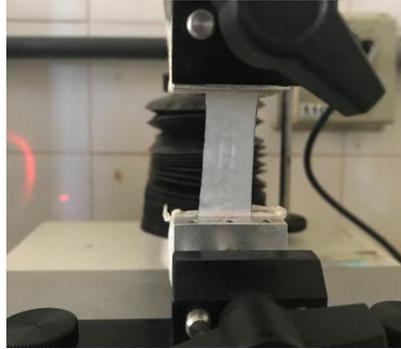
**Anexo 12.** Pellets obtenidos de la mezcla de PBAT, almidón, glicerol y ácido cítrico.



**Anexo 13.** Balón de la biopelícula soplada por extrusión de tres capas.



**Anexo 14.** Análisis de propiedades mecánicas de la biopelícula.



**Anexo 15.** Análisis de textura cascara del aguacate.

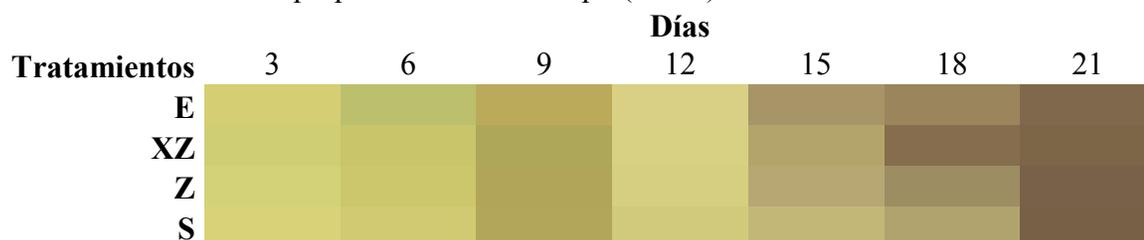


**Anexo 16.** Color de la cáscara a través del tiempo (15 °C).



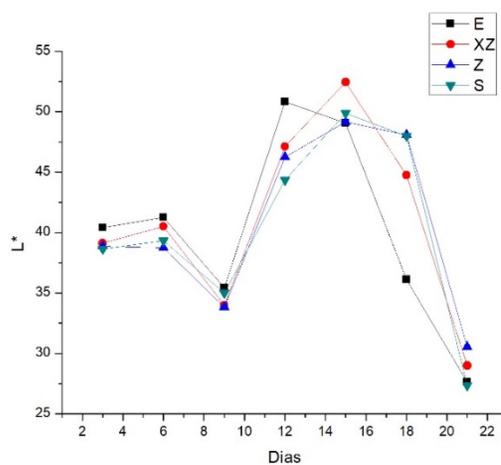
E: Empaque sin zeolita. XZ: Empaque con concentración de 2% de zeolita. Z: Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. S: Fruto sin empaque.

**Anexo 17.** Color de la pulpa a través del tiempo (15 °C).



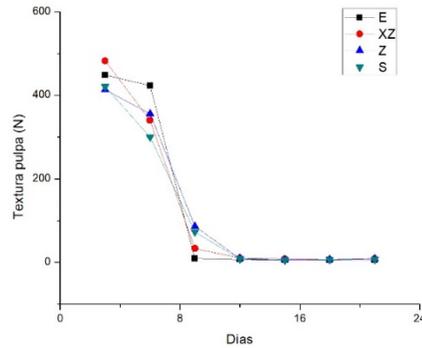
E: Empaque sin zeolita. XZ: Empaque con concentración de 2% de zeolita. Z: Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. S: Fruto sin empaque.

**Anexo 18.** Parámetro de L\* de la cáscara de aguacate entre tratamientos a través del tiempo (15 °C).



E: Empaque sin zeolita. XZ: Empaque con concentración de 2% de zeolita. Z: Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. S: Fruto sin empaque.

**Anexo 19.** Textura de la pulpa entre tratamientos con medidas repetidas en el tiempo (15 °C).



E: Empaque sin zeolita. XZ: Empaque con concentración de 2% de zeolita. Z: Empaque con concentración de 1.5% de zeolita. S: Fruto sin empaque.

**Anexo 20.** Aguacates empacados con su respectivo tratamiento.



**Anexo 21.** Almacenamiento de los aguacates Incubadora Freeztec (15 °C).

