

**Desarrollo de bioplástico para Guayaba
(*Psidium guajava* variedad Pedro Sato)**

María Fernanda Portillo Portillo

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Desarrollo de bioplástico para Guayaba (*Psidium guajava* variedad Pedro Sato)

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

María Fernanda Portillo Portillo

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2017

Desarrollo de bioplástico para Guayaba (*Psidium guajava* variedad Pedro Sato.)

María Fernanda Portillo Portillo

Resumen. Los empaques biodegradables son materiales obtenidos a través de procesos de extrusión, soplado, termoformado o moldeado por inyección de polímeros obtenidos de diversas fuentes y que son degradables en un período menor a dos años. La aplicación de los empaques biodegradables se enfoca en evaluar la interacción entre empaque-alimento y como esto afecta sus propiedades físicas y químicas considerando su biodegradabilidad. El estudio se hizo en los Laboratorios de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Estadual de Londrina, Paraná, Brasil. Se usó un diseño de BCA con medidas repetidas en el tiempo durante 16 días y tres repeticiones, se evaluaron los tratamientos de: empaque entero, empaque perforado y muestra sin empaque. El experimento consistió en evaluar la aplicación de un empaque biodegradable obtenido por extrusión de polímeros biodegradables: almidón de yuca, adipato-tereftalato de polibutileno, ácido cítrico y glicerol como plastificante; la aplicación fue hecha a guayaba. Se evaluaron las propiedades físicas del empaque y la influencia en las propiedades físico-químicas de la guayaba. Las variables evaluadas del empaque fueron: propiedades mecánicas, isoterma de adsorción y permeabilidad al vapor de agua; mientras las variables estudiadas de la guayaba fueron: pérdida de masa, color de cascara y pulpa, textura, sólidos solubles totales, pH y acidez titulable. Los resultados de la aplicación del empaque demostraron que no existe una diferencia estadísticamente significativa en el proceso de maduración de la guayaba respecto a la aplicación de los dos tratamientos de empaque.

Palabras clave: Extrusión, maduración, película, polímeros biodegradables.

Abstract. Biodegradable packages are materials obtained through extrusion, blowing, thermoforming, or injection molding processes of polymers obtained from various sources and which are degradable over a period fewer than two years. The application of biodegradable packaging focuses on evaluating the interaction between food packaging and how this affects its physical and chemical properties considering its biodegradability. The study was carried out at the Food Science and Technology Laboratories of the State University of Londrina, Paraná, Brazil. A RBD was used with measures repeated over time for 16 days and three replicates; three treatments were evaluated: whole package, perforated package and unpacked sample. The experiment consisted of evaluating the application of biodegradable packaging obtained by extrusion of biodegradable polymers: poly(butylene adipate-co-terephthalate), cassava starch, citric acid and glycerol as a plasticizer; The application was made to guava. The physical properties of the packaging and the influence on the physicochemical properties of the guava were evaluated. The evaluated variables of the package were: mechanical properties, adsorption isotherm, and water vapor permeability; while the studied variables of guava were: loss of mass, peel and pulp color, texture, total soluble solids, pH and titratable acidity. The results of the use of the package showed that there is no significant difference in the ripening process of guava with respect to the use of the two packaging treatments.

Key words: Biodegradable polymers, extrusion, film, ripening.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
4. CONCLUSIONES	21
5. RECOMENDACIONES	22
6. LITERATURA CITADA.....	23
7. ANEXOS	28

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Formulación para la elaboración de la película biodegradable.	3
2. Codificación de medidas repetidas en el tiempo.	4
3. Resultados de propiedades mecánicas de la película biodegradable.	8
4. Resultados de isoterma de adsorción.	10
5. Resultados de permeabilidad al vapor de agua (PVA).	11
6. Resultados de pérdida de masa a través del tiempo.	11
7. Resultados de pérdida de masa entre tratamientos.	12
8. Resultados de cambio de color de pulpa a través del tiempo.	13
9. Resultados de °Hue entre tratamientos.	14
10. Resultados de cambio de color de cáscara de guayabas a través del tiempo.	14
11. Resultados de °Hue entre tratamientos.	15
12. Resultados ablandamiento de pulpa a través del tiempo.	15
13. Resultados de ablandamiento de pulpa entre tratamientos.	16
14. Valores de sólidos solubles totales a través del tiempo.	17
15. Resultados de sólidos solubles totales entre tratamientos.	17
16. Resultados de pH a través del tiempo.	18
17. Resultados de pH entre tratamientos.	19
18. Resultados de acidez total titulable a través del tiempo.	20
19. Resultados de acidez total titulable entre tratamientos.	20

Figuras	Página
1. Representación del código utilizado para identificación de cada muestra.	4
2. Isoterma de adsorción de agua de la película biodegradable.	9
3. Pérdida de masa de guayabas con tratamientos, a 15 °C durante 16 días.	12
4. Comportamiento de valor de pH por tratamientos a través del tiempo.	19

Anexos	Página
1. Estructura del PBAT.....	28
2. Ficha técnica PBAT.....	29
3. Isotherma de adsorción por SorpTrac Quick Report.....	30
4. Imagen de diseño de empaque perforado.	31
5. Imagen de diseño de empaque entero.....	31
6. Pellets obtenidos de mezcla de PBAT, almidón, glicerol y ácido cítrico.....	31
7. Análisis de pérdida de masa.	31
8. Análisis de Permeabilidad al vapor de Agua.....	32
9. Análisis de Sólidos Solubles Totales.....	32
10. Análisis de acidez total titulable.....	32
11. Resumen del estudio estadístico del SAS®.....	33
12. Resumen del estudio estadístico del SAS® por tratamiento.	36

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de los empaques en alimentos es preservar y aumentar la vida de anaquel, sin embargo, esto ha causado un exceso de contaminantes plásticos en el ambiente. La producción de desechos plásticos a nivel global fue de 311 millones de toneladas (ISRI 2016). Por esta razón la industria de alimentos busca nuevas tecnologías de empaques, con el fin de mejorar a dichos empaques y hacer que estos sean 100% biodegradables, manteniendo la calidad y buscando la reducción de costos (Rubio y Guerrero 2012).

Los materiales biodegradables se definen como aquellos en los cuales la degradación se da a causa de reacciones naturales producidas por la capacidad metabólica de hongos y bacterias de transformar contaminantes orgánicos a dióxido de carbono, agua, metano y compuestos inorgánicos (Arrieta 2014). Los bioplásticos se clasifican en tres tipos de acuerdo al origen u obtención de los mismos, siendo a base de los recursos renovables, del petróleo y de fuentes mixtas (Reddy *et al.* 2013).

Uno de los insumos más utilizados como polímero en materiales biodegradables es el almidón, este biopolímero es un polisacárido almacenado en plantas, por lo cual, la proporción de amilosa y amilopectina varía de acuerdo al origen botánico. Debido a la gran producción de almidón de yuca en el estado de Paraná (IBGE 2011), este se convierte en una alternativa muy importante para la producción de materiales biodegradables. El uso de almidón como única materia prima en la producción de materiales biodegradables es complicado porque produce empaques frágiles y susceptibles a humedad (Navia y Villeda 2013), es por ello que adicionalmente se usan plastificantes como glicerol, agua, bases nitrogenadas o sorbitol.

Otro de los insumos normalmente utilizados es el adipato-tereftalato de polibutileno (PBAT), que es un polímero biodegradable sintetizado a partir de derivados de petróleo, su biodegradación determinada por la normativa ASTM D6400 es aproximadamente 180 días, depositado en el suelo, en condiciones anaeróbicas. Este polímero es comercializado con el nombre de Ecoflex® por la empresa BASF. La mezcla de distintos tipos de polímeros biodegradables ayuda a mejorar las propiedades mecánicas y bajar el punto de Transición vítrea (Guevara 2012). Sin embargo, el PBAT presenta propiedades mecánicas similares al polietileno, por lo que la propiedad de barrera al vapor de agua no se incrementa al momento de usarlo como materia prima (Brandelero *et al.* 2013).

El uso de polímeros biodegradables en la producción de empaques conlleva al desarrollo de un empaque para un producto o mercado definido para poder evaluar su eficiencia e impacto en el producto (Navia *et al.* 2013). Por esta razón, se eligió estudiar un bioplástico específico para la Guayaba (*Psidium guajava* var. Pedro Sato).

Se ha demostrado que el tipo de material del empaque y la temperatura de almacenamiento influyen directamente en su vida útil (Mogollón *et al.* 2011). La guayaba es clasificada como fruta tropical secundaria porque se comercializa en volúmenes más reducidos que las denominadas frutas tropicales. Sin embargo, esta clasificación de secundaria tuvo una participación del 24% en 2004, el equivalente a 15 millones de toneladas de frutas a nivel mundial (FAO 2004). La guayaba pertenece a la familia *Myrtaceae* y generó *Psidium*, actualmente existen muchos estudios donde se discute si es un fruto climatérico, no climatérico o dependiente de la variedad (FAO 2004; Parra 2014). Sin embargo, se sabe que es una fruta altamente perecedera por su intenso metabolismo durante la maduración, el comportamiento de este proceso es afectado por las condiciones edafoclimáticas, pre-cosecha y pos-cosecha, afectando la calidad y vida útil (Solarte *et al.* 2010).

Según la publicación de la FAO (2012), el desperdicio de alimentos destinado para humanos alcanza hasta un tercio de la producción total. Esto implica que todos los recursos renovables y no renovables utilizados para la producción y procesamiento son en vano, provocando una gran contaminación ambiental además del desperdicio alimenticio. El desperdicio de alimentos es uno de los mayores problemas en la agricultura y seguridad alimentaria, que se da a lo largo de toda la cadena alimentaria, es por ello que se planteó la idea de crear un bioplástico en base a la tendencia en tecnología de empaques para alimentos y la necesidad de la creación de un empaque funcional, biodegradable, de calidad y de bajo costo. El presente estudio incluye los siguientes objetivos:

- La creación de un bioplástico biodegradable con una mezcla de polímeros biodegradables (Adipato-tereftalato de polibutileno - PBAT, almidón de yuca, glicerol y ácido cítrico).
- Aplicar el bioplástico del mismo como embalaje de guayaba, evaluando su interacción en la vida de anaquel de la fruta.
- Evaluar el efecto de dos distintos diseños de bioplástico con el fin de determinar su funcionalidad y su utilidad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación.

El estudio se hizo en los laboratorios del departamento de Ciencias y Tecnología de Alimentos, en la Universidad Estadual de Londrina, ubicada en Londrina, estado Paraná, Brasil. El estudio consto de tres fases, la primera fue la elaboración del bioplástico en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos. La segunda fase se basó en la caracterización del film y la tercera fase fueron los análisis físico-químicos de las guayabas, ambas fases fueron hechas en el Laboratorio de Ciencias de Alimentos.

Elaboración del bioplástico.

Se elaboró el bioplástico biodegradable en dos fases utilizando la Extrusora piloto marca BGM (modelo EL-25, Brasil) de 10 CV (9.863 HP) de fuerza, con tornillo sin fin de 25 mm de diámetro y 700 mm de longitud y se ajustó la velocidad a 30 rpm.

La fase consistió en homogenizar la matriz polimérica (Cuadro 1) manualmente y después someterla a extrusión. Se utilizó un dado de dos agujeros con diámetro de 5 mm y cuatro zonas de calentamiento ajustadas con 90, 110, 110 y 100 °C. Los fideos formados se cortaron inicialmente con longitud aproximada de 500 mm, se dejó enfriar por 1 hora y después se hizo el peletizado.

Cuadro 1. Formulación para la elaboración de la película biodegradable.

Ingredientes	%	Peso (Kilogramos)
PBAT ^φ	30.00	0.90000
Almidón	49.00	1.47000
Glicerol	21.00	0.63000
Ácido cítrico	0.03	0.00090
Total		3.00009

^φ PBAT: Adipato - tereftalato de polibutileno.

La segunda fase fue la elaboración del film, para ello se introdujeron los pellets a la zona de alimentación de la extrusora y se ajustó el sistema de ventilación para enfriamiento. Se utilizó un dado circular con diámetro de 50 mm y se ajustaron cinco zonas de calentamiento con 90, 110, 110, 115 y 115 °C. El film formado fue cortado con longitud de 200 mm para obtener un total de 36 bolsas, de las cuales a 18 se les hizo cuatro agujeros en el área central. Se codificaron (Figura 1) 36 bolsas y 57 guayabas con un código específico para su posterior identificación (Cuadro 2).

AF1



Figura 1. Representación del código utilizado para identificación de cada muestra. Donde la primera variable representa el tiempo, la segunda el tratamiento y la tercera la repetición

Cuadro 2. Codificación de medidas repetidas en el tiempo.

Medida repetida en el tiempo		Tratamiento [§]	Total de muestras ^φ
Día	Código		
0	T0	SE	3
3	A		
7	B		
9	C	E, F y SE	9
11	D		
14	E		
16	F		

[§] Tratamientos: Sin empaque (SE), empaque entero (E) y empaque perforado (F).

Para los análisis aplicados a la fruta se realizaron 3 repeticiones a cada una de las 3 muestras por tratamiento.

^φ En el día cero se utilizaron tres muestras para la evaluación del tratamiento sin empaque (SE). Durante los días 3 al 16 se evaluó 3 muestras por cada tratamiento (SE, E y F), para un total de 9 muestras por día.

Se colocó una guayaba por empaque y se selló utilizando la máquina Micromatic MH300 ajustada a 125 °C. Se almacenaron todos los tratamientos en una incubadora BOD ajustada a 15 °C.

Caracterización del bioplástico.

La caracterización del film se inició en el día cero y se evaluó: propiedades mecánicas, isoterma y permeabilidad al vapor de agua.

Permeabilidad al vapor de agua (PVA). Se hizo en base a la normativa ASTM-96 (Souza *et al.* 2016). Se colocó cloruro de magnesio ($MgCl_2$) al 32.8% HR dentro de tres celdas de aluminio con diámetro de 60 mm. Se cortaron tres muestras de la película biodegradable con igual medida que la celda de aluminio. Se colocaron las muestras en la celda y se introdujeron a un desecador acondicionado con 64% HR con nitrito de sodio ($NaNO_2$) y temperatura de 25 ± 5 °C. Los pesos de las celdas con muestra de la película biodegradable fueron tomados cada 24 horas durante ocho días.

Se registró el peso obtenido de cada día y se utilizaron para el cálculo de PVA de las muestras utilizadas. Las fórmulas utilizadas [1,2] para determinación de PVA son (Joaqui y Villeda 2013):

$$VTVA = \frac{J}{t \cdot A} \quad [1]$$

Donde:

VTVA: Velocidad de transmisión de agua.

J: Pendiente de la curva versus tiempo.

t: Tiempo (horas).

A: Área de permeación de la película (metros cuadrados).

$$PVA = \frac{VTVA \cdot L}{P_w \cdot (RH_1 - RH_2)} \quad [2]$$

Donde:

PVA: Permeabilidad al vapor de agua.

VTVA: Velocidad de transmisión de agua.

L: Espesor promedio de la película (metros).

P_w : Presión parcial del vapor de agua a la temperatura de ensayo (Pascales).

Isoterma de absorción. Se cortaron 200 muestras del bioplástico con medida de 5×5 mm y se colocaron en un recipiente de plástico. Las muestras se acondicionaron durante 10 días en una desecador con $CaCl_2$ (0% HR). El análisis se hizo en el equipo Aquasorb (Decagon Devices, EUA), calibrado con A_w 0.1-0.85, caudal de bomba de 300 mL/min y 25 °C. Los isotermas fueron ajustados por el modelo de GAB (Guggenheim, Anderson y De Boer), BET (Stephen Brunauer, Paul Emmet y Edward Teller) y Double Log Polynomial (DLP) (Mali *et al.* 2005).

Propiedades mecánicas. Se analizaron bajo una adaptación de la normativa ASTM D882 (Cortés *et al.* 2014). Se cortaron 20 muestras de film con medida de 50×20 mm y se acondicionaron durante 48 horas utilizando nitrito de magnesio (53% HR). Este parámetro fue medido con el texturómetro Stable Micro Systems (modelo TA.TX2i, Inglaterra) y se utilizó acople de garra ajustado con 30 mm de distancia y se calibro con velocidad de 0.8 mm/s. Se evaluó la fuerza máxima de ruptura (MPa), porcentaje de elongación y módulo de Young.

Caracterización físico-química de la guayaba.

Las propiedades físico-químicas evaluadas fueron: pérdida de masa, color, textura, pH, sólidos solubles totales (SST) y acidez total titulable (ATT).

Pérdida de masa. Se utilizó una balanza semi-analítica marca Marte para la medición de pérdida de masa los días: 3, 7, 9, 11, 14 y 16 (Moncayo 2013).

Color. Se utilizó el colorímetro Minolta® CR 400 (Japón) con iluminante D65 y ángulo de visión de 10 (Aberu 2010). Se hicieron cuatro repeticiones en la epidermis de la fruta, se cortó por mitad y se tomaron dos repeticiones en el mesocarpio (una por mitad). Los valores de L^*a^*b obtenidos por el colorímetro fueron utilizados para el cálculo de $^{\circ}\text{Hue}$ [3,4], el cual se basa en el sistema CIELAB (González 2010):

$$^{\circ}\text{Hue} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \text{ cuando } a^* > 0 \text{ y } b^* = 0 \quad [3]$$

$$^{\circ}\text{Hue} = 180 + \tan^{-1}(b^*/a^*) \text{ cuando } a^* \leq 0 \quad [4]$$

Firmeza de la pulpa. Se utilizó el texturómetro Stable Micro Systems (modelo TA.TX2i, Inglaterra), acoplado a una sonda cilíndrica de 5 mm de diámetro (P/5). Se calibro con tasa de deformación de 50 mm/min y profundidad de 5mm (Toro 2015). Se midió el área central del mesocarpio por cada mitad de la guayaba, obteniendo dos repeticiones por muestra (Toro 2015).

Sólidos solubles totales (SST). Se trituro una mitad de cada muestra y se colocaron dos gotas en el prisma del refractómetro Atago (Japón) (Gutiérrez *et al.* 2012). Los resultados fueron expresados en $^{\circ}\text{Brix}$ (Toro 2015).

pH. Se colocaron 30 ± 0.01 gramos en un recipiente plástico y se midió con el pHmetro Hanna (EEUU), previamente calibrado con soluciones con pH de 7 y 4 (Mogollón *et al.* 2011).

Acidez Total Titulable (ATT). Se calibro una balanza analítica con el peso de cada uno de los nueve matraces de Erlen Meyer utilizados para cada muestra. Se pesó aproximadamente 3 ± 0.01 gramos de guayaba triturada por muestra. Se agregó en cada matraz 100 mL de agua destilada y tres gotas de fenolftaleína al 1%. Se adiciono NaOH al 0.1 N al matraz con muestra, manteniendo agitación constante y se detuvo la adición cuando presento color rosa-fucsia durante más de 15 segundos (ICONTEC 2015). Se registró el consumo de NaOH 0.1 N. Los cálculos de acidez total titulable [5] se basaron en ácido cítrico con factor de 0.064 (Gutiérrez 2013).

$$\text{Acidez total titulable (\%)} = \frac{\text{ml NaOH consumido} \times 0.1 \text{ N} \times 0.064 \times 100}{\text{Peso muestra (gramos)}} \quad [5]$$

Diseño experimental.

Para la evaluación del efecto del bioplástico sobre la vida de anaquel de las guayabas se utilizó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar (BCA) con siete medidas repetidas en el tiempo (0, 3, 7, 9, 11, 14 y 16 días), tres muestras por cada uno de los tres tratamientos.

Análisis estadístico.

Los resultados se analizaron a través de un Análisis de Varianza con separación de medias Duncan y nivel de significancia de $P \leq 0.05$, utilizando el Statistica Analysis Systems (SAS[®]) 9.4 - 2013 y Excel[®]. Esto con el objetivo de evaluar los posibles efectos a través del tiempo, aplicación del biopolímero y la interacción entre tratamiento y tiempo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades mecánicas.

Los análisis de propiedades mecánicas iniciaron el día cero (el día de producción de la película biodegradable). Se realizó una media y desviación estándar de los datos obtenidos de las 20 muestras analizadas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados de propiedades mecánicas de la película biodegradable.

Fuerza máxima de ruptura (MPa)	Elongación (%)	Módulo de Young (MPa)
Media	Media	Media
1.48 ± 0.28	21.86 ± 3.07	14.36 ± 1.46

El resultado obtenido de fuerza máxima de 1.48 MPa (Cuadro 3) fue inferior al reportado por Cortes *et al.* (2014), quien también usó un 75% de almidón termoplástico y 24.5% de glicerol en su formulación y evaluó la fuerza máxima en el día cero, obteniendo una media de 2.49 MPa. Según Oliveira (2013) el comportamiento de FMR tiende a disminuir en películas de almidón con glicerol cuando este carece de fibras, provocando películas débiles.

Según Pardo y Velasco (2012) el incremento del porcentaje de elongación y disminución en esfuerzo se debe al carácter hidrófilo del almidón termoplástico, además Oropeza *et al.* (2016) indicaron que el uso de adipato-tereftalato de polibutileno tiende a aumentar la flexibilidad de las películas biodegradables. De acuerdo a Cortés *et al.* (2014) el uso de glicerol como plastificante provoca una relación inversa en cuanto a su esfuerzo a la tensión debido a que este confiere al film más afinidad al agua.

Alves *et al.* (2007) reportan que el uso de plastificantes en matrices poliméricas de almidón tiende a reducir el módulo de Young y fuerza máxima a ruptura, lo cual puede fundamentar los valores reportados del Cuadro 3. Sin embargo, en un estudio hecho por López *et al.* (2017) los resultados de módulo de Young o elasticidad fueron de 3.126 ± 0.381 MPa, pero la metodología usada fue *casting*, lo cual es justificado por Delgado *et al.* (2016) que indicó que la metodología utilizada para la producción de las películas biodegradables influye significativamente en las propiedades mecánicas y de barrera.

Isoterma.

Este parámetro estudia la relación entre la actividad termodinámica del agua con la humedad en equilibrio a una temperatura constante (Ramírez *et al.* 2014). Su importancia radica en la predicción de los cambios en la estabilidad de alimentos o materiales (Gálvez *et al.* 2006). El isoterma obtenido (Figura 2) se clasifica tipo III, en base a la clasificación de Brunauer, que describe este tipo de isoterma con una relación baja entre adsorbente-adsorbato (Navia *et al.* 2012).

Existen dos ecuaciones principales para describir la actividad de agua de un producto, la primera es la desarrollada por Stephen Brunauer, Paul Emmet y Edward Teller (BET) y la segunda fue desarrollada por Guggenheim, Anderson y De Boer (GAB) (Ramírez *et al.* 2014).

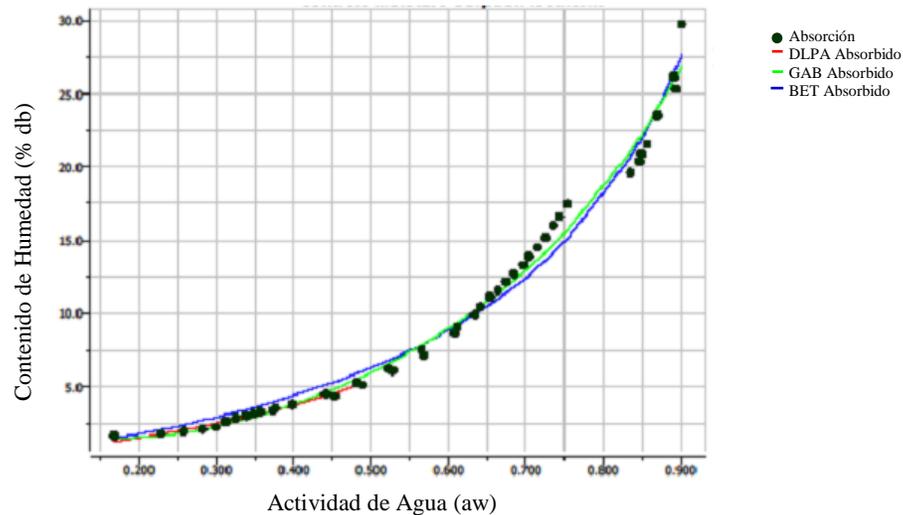


Figura 2. Isoterma de adsorción de agua de la película biodegradable.

El modelo de la ecuación de GAB se utiliza para evaluar materiales con multicapas y presenta tres constantes, donde m_0 (W_0) y la constante C_B representan lo mismo que en la ecuación de BET, con excepción que tiene la constante k , que representa una constante de corrección de las propiedades de la multicapa con respecto al líquido (Chaves *et al.* 2004). Paralelamente existe el modelo Double Log Polynomial (DLP) es dado por Decagon software SorpTrac. Este utiliza cuatro constantes empíricas (Bonner *et al.* 2013), proporcionando mayor exactitud para isotermas complejas que el modelo de GAB en materiales de multicapa (Gálvez *et al.* 2006).

Los resultados obtenidos (Cuadro 4) de los modelos descritos presentaron un buen ajuste a un modelo lineal, sin embargo el que presentó un coeficiente de ajuste lineal (r^2) más alto fue el obtenido por el modelo DLP. El contenido de humedad de la monocapa en GAB (Cuadro 4) fue mayor que el contenido obtenido por medio de BET, coincidiendo los resultados de este estudio con los obtenidos por Gálvez *et al.* (2006).

Cuadro 4. Resultados de isoterma de adsorción.

DLP Coeficientes §		GAB Coeficientes §		BET Coeficientes §	
b0	3.239	C1	1.025	C	1.45
b1	5.991	k	0.849		
b2	4.455			mo	4.56
b3	1.108	mo	8.340		
sep	0.820	sep	0.980	sep	0.10
r^2	0.989	r^2	0.985	r^2	0.98

§ Modelos utilizados para isoterma de adsorción: Double log polynomial (DLP); Stephan Brunnauer, Paul Emmet y Edward Teller (BET); y Guggenheim, Anderson y De Boer (GAB).

La constante de C para los modelos de GAB y BET (Cuadro 4) fueron próximos a 1 ± 0.5 , indicando que no hay diferencia entre la energía entre las regiones de monocapa y multicapa debido a que las moléculas absorbidas de agua se presentan con la mismas ligaciones en ambas regiones (Navia *et al.* 2013). Además, la constante C presenta, en ambos modelos, un comportamiento característico de películas producidas a base de almidón con adición de glicerol, teniendo como principio el aumento de la interacción de las moléculas de agua con la película a causa del carácter hidrófilo del glicerol, provocando que el valor de C decrezca con el aumento de plastificantes (Mali *et al.* 2005).

La constante k en el modelo de GAB no es dependiente de la composición de la película (Mali *et al.* 2005) entre más cercano a uno sea el valor de k , representará que las moléculas después de la monocapa tienen el mismo comportamiento que las moléculas de la fracción líquida (Navia *et al.* 2013).

Permeabilidad al vapor de agua (PVA).

La tasa media de permeabilidad del film presentada en el Cuadro 5, puede explicarse por la afinidad al agua de los materiales que conforman el bioplástico, debido a que el PBAT no es afín al agua (Olivato *et al.* 2013), mientras que el almidón si es lo es, provocando así el aumento de permeabilidad y disminución de las propiedades mecánicas (Oliveira 2013). Además, la proporción de amilosa - amilopectina y el origen botánico es otro factor que puede influir en la PVA.

Otro factor que puede alterar la tasa de PVA puede ser la adición del plastificante glicerol, este puede aumentar este indicador (Cortés *et al.* 2014). Aparte de la adición de glicerol, también se adicionó el PBAT el cual pudo causar la disminución de tasa de PVA en comparación con otros estudios hechos con almidón y otros polímeros biodegradables (Joaqui y Villeda 2013).

La tasa media de permeabilidad $4.90824E-06$ g/m²·Pa·día, permite aplicar el empaque a vegetales frescos debido a que permite que el proceso de respiración y pérdida de agua se lleve de forma normal (Oliveira 2013).

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

Muestra	PVA (g/m ² ·Pa·día)	Media (g/m ² ·Pa·día)
1	5.40 E ⁻⁰⁶	
2	4.11 E ⁻⁰⁶	4.90824 E ⁻⁰⁶ ± 6.997 E ⁻⁰⁷
3	5.22 E ⁻⁰⁶	

Análisis de pérdida de masa.

Los datos del Cuadro 6 muestran diferencia significativa respecto a pérdida de masa a través del tiempo, lo cual en las frutas se debe al proceso de respiración y la liberación de ciertos compuestos volátiles. Sin embargo, la pérdida principal de masa se debe a la pérdida de agua libre afectando sus propiedades cuantitativas (gramos) y cualitativas (color, brillo y firmeza). Además, este proceso es influido por la temperatura de almacenamiento, teniendo relación positiva entre aumento de temperatura y pérdida de masa (Parra 2014).

Cuadro 6. Resultados de pérdida de masa a través del tiempo.

Día	No. de muestras	% Pérdida de masa
0	9	0.0000 ± 0.00
3	9	2.0611 ± 0.47 ^D
7	9	4.4311 ± 1.09 ^C
9	9	5.7567 ± 0.94 ^B
11	9	5.7711 ± 1.11 ^B
14	9	7.8356 ± 1.35 ^A
16	9	8.6756 ± 0.89 ^A
% CV		18.17

Valores con distinta letra ^(A-D) muestran diferencia significativa (P≤0.05).

% CV: Coeficiente de variación.

El tipo de empaque de un producto influye directamente en la pérdida de masa, debido a la permeabilidad al vapor de agua que el mismo empaque tenga. En este estudio se determinó que no existe diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos (Cuadro 7). Por esta razón la aplicación del empaque es viable, porque no tiene ninguna interferencia en el proceso respiración y dado que los dos tipos de empaque son estadísticamente iguales el uso del empaque entero sería más aplicable por la reducción de mano de obra.

Cuadro 7. Resultados de pérdida de masa entre tratamientos.

Tratamientos §	No. de muestras	% Pérdida de masa
SE	21	4.9967 ± 2.9485 ^{NS}
EE	21	4.8438 ± 3.2247 ^{NS}
EF	21	4.9586 ± 2.9723 ^{NS}
% CV		60.86

Valores con ^{NS} significa que no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$).

§ Tratamientos: Sin empaque (SE), Empaque entero (E) y Empaque perforado (F).

% CV: Coeficiente de variación.

Existen otros empaques que han sido utilizados para la aplicación en guayabas que presentaron menor permeabilidad, como los elaborados a base del polímero PVC que permiten una pérdida aproximada de hasta 5% durante 28 días de almacenamiento (Oshiro *et al.* 2012)

El R^2 de los tratamientos empaque entero (E) y empaque perforado (F) (Figura 3) fueron los que mejor se ajustaron al modelo lineal (96.07% y 97.23% respectivamente), indicando que la pérdida de masa fue constante e incremental. El R^2 del tratamiento sin empaque (SE) fue menor en comparación con los otros tratamientos. Sin embargo, este se sigue ajustando a un modelo lineal y el comportamiento de pérdida de masa es incremental (directamente proporcional al tiempo de almacenamiento).

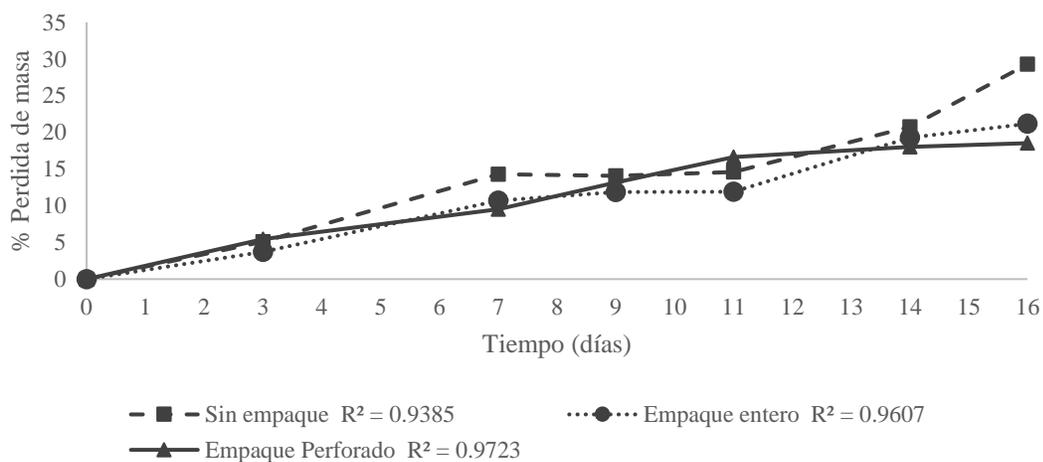


Figura 3. Pérdida de masa de guayabas con tratamientos, a 15 °C durante 16 días.

Análisis de color.

El color de la guayaba suele ser uno de los principales indicadores de consumo, por lo cual el análisis de color se hizo en: pulpa (Cuadros 8 y 9) y cáscara (Cuadros 10 y 11), con el fin de facilitar la comparación con otros estudios respecto al proceso de cambio de color de acuerdo a la maduración de la fruta.

Color de pulpa. La biosíntesis del licopeno por medio de enzimas es la causante de la reducción de °Hue en el proceso de maduración, debido a que es el caroteno con más insaturaciones y provoca una mayor absorción de luminosidad en a comparación con otros (Alquézar 2007). La síntesis de licopeno durante la maduración puede ser de 86% (González 2010) hasta 95.5% de los carotenoides presentes en la pulpa (Muy *et al.* 2003).

La tendencia normal en el color de la pulpa a causa de maduración es la reducción de °Hue (González 2010) lo cual es reflejado en los resultados del Cuadro 8. De acuerdo a Cavalini (2008) este efecto en la pulpa de guayaba corresponde a la biosíntesis de licopeno. Los datos obtenidos en este estudio (41.657 – 47.404) no coinciden con la disminución de 65 - 25 °Hue reportados por Aberu (2010), este hecho puede atribuirse a la diferencia de temperaturas de almacenamiento de 7 °C, siendo a que este factor afecta la actividad metabólica de los tejidos (Solarte *et al.* 2010).

Cuadro 8. Resultados de cambio de color de pulpa a través del tiempo.

Día	No. de muestras	°Hue
0	9	41.657 ± 1.09 ^B
3	9	51.106 ± 7.33 ^A
7	9	48.513 ± 5.53 ^A
9	9	48.498 ± 5.12 ^A
11	9	47.408 ± 6.11 ^A
14	9	47.427 ± 5.81 ^A
16	9	47.404 ± 4.35 ^A
% CV		10.34

Valores con distinta letra ^(A-B) muestran diferencia significativa (P≤0.05).

% CV: Coeficiente de variación.

La aplicación de los distintos diseños del biopolímero (Cuadro 9) diferencia significativa entre tratamientos. Se obtuvo que el empaque entero causó una mayor biosíntesis de licopeno, posiblemente debido a un cambio gaseoso dentro del EE (sin perforaciones) o a una mayor cantidad de oxígeno disponible para la oxidación de carotenoides (Rangel y López 2012).

Cuadro 9. Resultados de °Hue entre tratamientos.

Tratamientos §	No. de muestras	°Hue
SE	21	45.750 ± 3.5282 ^B
EE	21	49.841 ± 7.4608 ^A
EF	21	46.700 ± 4.9961 ^B
% CV		12.13

Valores con distinta letra ^(A-B) muestran diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

§ Tratamientos: Sin empaque (SE), Empaque entero (E) y Empaque perforado (F).

% CV: Coeficiente de variación

Color de cáscara. El color de cáscara cambia de un tono verde a amarillo, esto por el aumento de carotenoides durante la maduración, mientras el contenido de clorofila disminuye (González 2010). De acuerdo al estudio hecho sobre esta variedad de guayaba por Cavalini (2008) los °Hue iniciales de la guayaba es de 116 °Hue y al final de la maduración alcanza los 86 °Hue y según Aberu (2010) fue de 118 °Hue al inicio de poscosecha, finalizando con 94 °Hue. Sin embargo, en este estudio no existió diferencia significativa entre el valor inicial de °Hue respecto el final (Cuadro 10).

Cuadro 10. Resultados de cambio de color de cáscara de guayabas a través del tiempo.

Día	No. de muestras	°Hue
0	9	118.6 ± 0.93 ^{NS}
3	9	111.9 ± 4.35 ^{NS}
7	9	108.1 ± 7.05 ^{NS}
9	9	112.4 ± 4.39 ^{NS}
11	9	107.4 ± 3.90 ^{NS}
14	9	98.8 ± 7.25 ^{NS}
16	9	103.9 ± 10.66 ^{NS}
% CV		5.87

Valores con ^{NS} significa que no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre columna.

% CV: Coeficiente de variación.

Los resultados del (Cuadro 11) indica que no hubo diferencia significativa en el cambio de color del pericarpio de la guayaba, indicando que los empaques no causaron interferencia en la degradación de clorofila ni aumento de carotenoides (Rangel y López 2012).

Cuadro 11. Resultados de °Hue entre tratamientos.

Tratamientos §	No. de muestras	°Hue
SE	21	110.3 ± 7.4817 ^{NS}
EE	21	108.3 ± 8.5419 ^{NS}
EF	21	106.6 ± 9.7579 ^{NS}
% CV		7.97

Valores con ^{NS} significa que no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$).

§ Tratamientos: Sin empaque (SE), Empaque entero (E) y Empaque perforado (F).

% CV: Coeficiente de variación.

Análisis de textura.

Los resultados del Cuadro 12 indican el comportamiento normal de ablandamiento de la pulpa durante la maduración de frutas. Este proceso se da por acción de las enzimas encargadas del proceso de ablandamiento de la pulpa (Cavalini *et al.* 2015).

Las principales enzimas que se encargan de la solubilización de pectinas son la pectinmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG), siendo que la PME por medio de catálisis produce la desmetilación del C6 del grupo carboxílico de los residuos galacturónicos, dando el sustrato para la acción de la PG que por medio de catálisis hidroliza solamente los enlaces α -1,4 del ácido poligalacturónico (Resende *et al.* 2004).

Cuadro 12. Resultados ablandamiento de pulpa a través del tiempo.

Día	No. de muestras	Newton
0	9	37.684 ± 15.3 ^A
3	9	18.862 ± 11.3 ^B
7	9	9.750 ± 8.4 ^C
9	9	7.362 ± 4.2 ^C
11	9	6.547 ± 2.8 ^C
14	9	6.263 ± 1.9 ^C
16	9	2.682 ± 8.6 ^C
% CV		10.34

Valores con distinta letra ^(A-B-C) muestran diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

% CV: Coeficiente de variación.

Los resultados encontrados de la aplicación de los diseños de biopolímeros (Cuadro 13) no presentaron una diferencia estadísticamente significativa ($P \geq 0.05$) entre tratamientos, es decir que ninguno de los dos tratamientos de biopolímeros afectó en el proceso de las enzimas despolimerizantes, hidrolíticas y desmetoxilantes en el proceso de modificación de las paredes celulares (Aberu 2010).

Cuadro 13. Resultados de ablandamiento de pulpa entre tratamientos.

Tratamientos §	No. de muestras	Newton
SE	21	12.148 ± 13.227 ^{NS}
EE	21	12.306 ± 12.799 ^{NS}
EF	21	13.754 ± 13.659 ^{NS}
% CV		101.46

Valores con ^{NS} significa que no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$)

§ Tratamientos: Sin empaque (SE), Empaque entero (E) y Empaque perforado (F).

% CV: Coeficiente de variación.

Análisis de sólidos solubles totales (SST).

El contenido de sólidos solubles totales expresados en °Brix en la guayaba var. Pedro Sato no es un buen indicador de madurez de consumo, debido a que suelen mantenerse constantes durante todo el proceso de maduración (Solarte *et al.* 2010). Sin embargo, en otras variedades de guayaba si es un buen indicador, debido a que aumentan totalmente y oscilan entre cinco hasta 13.2 °Brix (Parra 2014).

Una posible causa de los valores constantes de SST (Cuadro 14) puede atribuirse al uso de refrigeración durante el almacenamiento de una fruta. Esto de acuerdo a un estudio hecho por Mogollón *et al.* (2011) en el que evaluaron esta propiedad con dos temperaturas y dos tipos de empaque y determinó que el uso de refrigeración influye en el contenido de SST. Este estudio determinó que la temperatura de refrigeración provoca la disminución de la actividad respiratoria y por ende la conversión de carbohidratos a azúcares simples.

Los resultados de SST (Cuadro 14) no presentan una variación durante la maduración, coincidiendo con los resultados obtenidos por Aberu (2010) sobre un estudio de las características de la guayaba var. Pedro Sato durante la maduración. Pero los resultados SST no coinciden al compararlos con otras variedades (González 2010) debido a que el comportamiento reportado de esas variedades es climatérico, lo que implica que con el proceso de maduración incrementa el contenido de SST, disminuye el pH y acidez total titulable.

Cuadro 14. Valores de sólidos solubles totales a través del tiempo.

Día	No. de muestras	°Brix
0	9	9.6333 ± 0.51 ^{NS}
3	9	9.9667 ± 0.51 ^{NS}
7	9	10.0889 ± 0.40 ^{NS}
9	9	10.0667 ± 0.54 ^{NS}
11	9	10.0444 ± 0.58 ^{NS}
14	9	9.2222 ± 0.36 ^{NS}
16	9	9.9111 ± 0.60 ^{NS}
% CV		8.18

Valores con ^{NS} significa que no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$).

% CV: Coeficiente de variación.

En otro estudio hecho por Cavalini (2008), se reportó que el contenido de SST en guayaba variedad Pedro Sato sí varía durante la maduración, obteniendo un contenido incremental hasta el día siete y después decrece hasta llegar a senescencia. En cuanto a la aplicación de tratamientos no se obtuvo una diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en el contenido de SST (Cuadro 15), lo cual coincide con Athiê *et al.* (2009) donde no tuvo diferencia durante la maduración respecto a los tratamientos aplicados, refiriendo como posible causa la temperatura de almacenamiento.

Cuadro 15. Resultados de sólidos solubles totales entre tratamientos.

Tratamientos §	No. de muestras	°Brix
SE	21	9.6000 ± 1.3936 ^{NS}
EE	21	9.9952 ± 0.4272 ^{NS}
EF	21	9.9476 ± 0.5428 ^{NS}
% CV		9.15

Valores con NS significa que no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$).

§ Tratamientos: Sin empaque (SE), Empaque entero (E) y Empaque perforado (F).

% CV: Coeficiente de variación.

El proceso de degradación de carbohidratos a azúcares simples, en otras variedades de guayaba es incremental y pueden tener un valor de 5 °Brix iniciales, hasta 12. 5 °Brix en la etapa de climaterio y posteriormente decrecen. Por esta razón la cantidad de SST en algunas

variedades de guayaba es utilizada como indicador de madurez, junto con la cantidad de ácidos orgánicos (Cavalini 2008).

Análisis de pH.

Los valores de pH de los tres tratamientos a través del tiempo (Cuadro 16) presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$), sin embargo, no fue posible definir una tendencia incremental. Este comportamiento irregular presentado en el Cuadro 14 puede tener relación con el hecho de no saber con certeza si esta variedad de guayaba es climatérica o no, esto debido a múltiples análisis hechos por Cavalini (2008) donde se establece que existe un pico de producción de etileno, sin embargo, éste es después de la maduración.

Cuadro 16. Resultados de pH a través del tiempo.

Día	Número de muestras	pH
0	9	3.82000 ± 0.04^B
3	9	3.89333 ± 0.88^{BA}
7	9	3.89556 ± 0.04^{BA}
9	9	3.82111 ± 0.14^B
11	9	3.79889 ± 0.06^B
14	9	3.80000 ± 0.05^B
16	9	3.99333 ± 0.20^A
% CV		2.76

Valores con distinta letra ^(A-B) muestran diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

% CV: Coeficiente de variación.

Los datos de pH no presentaron diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 17) ($P \geq 0.05$), probablemente por el hecho que el empaque tenía una permeabilidad de $4.90824E-06 \text{ g/m}^2\text{Pa}\cdot\text{día}$ que no produjo interferencia con el proceso respiratorio, es decir no produjo fermentación.

Cuadro 17. Resultados de pH entre tratamientos.

Tratamientos §	Número de muestras	pH
SE	21	3.87095 ± 0.0889 ^{NS}
EE	21	3.85619 ± 0.1227 ^{NS}
EF	21	3.85381 ± 0.1233 ^{NS}
% CV		2.88

Valores con ^{NS} significa que no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$).

§ Tratamientos: Sin empaque (SE), Empaque entero (E) y Empaque perforado (F).

% CV: Coeficiente de variación.

Los valores irregulares de pH durante los días evaluados (0 – 16) (Figura 4) se produjeron por el consumo de ácidos orgánicos, que son usados como sustrato en el proceso de respiración, otra razón de las alteraciones de pH pudo darse por desórdenes normales en la fruta durante la senescencia (Solarte *et al.* 2010).

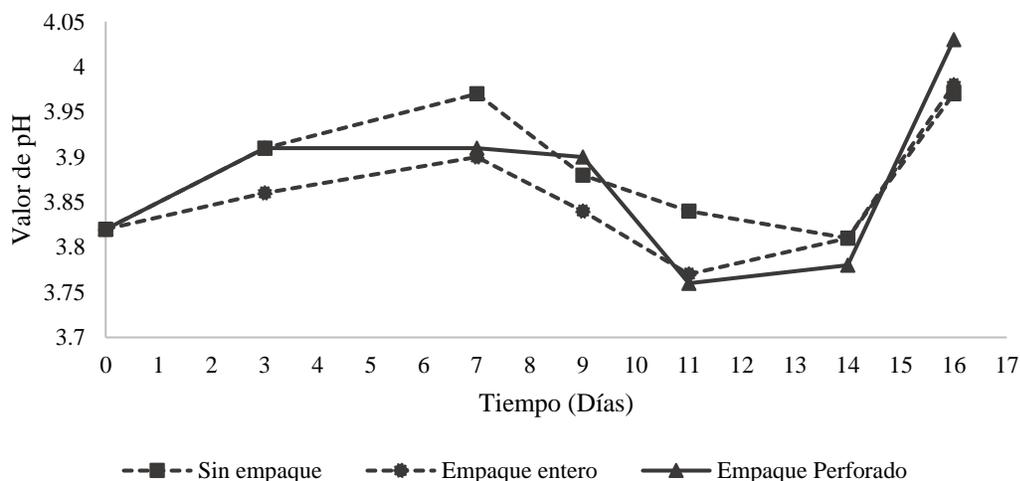


Figura 4. Comportamiento de valor de pH por tratamientos a través del tiempo.

Análisis de Acidez Total Titulable (ATT).

En el Cuadro 18 se muestran los contenidos de ATT expresados como % de ácido cítrico en 100 gramos de guayaba, los datos obtenidos tuvieron una diferencia significativa entre tratamientos ($P \leq 0.05$), pero no fue posible definir una tendencia incremental debido a que los valores entre el día 0 y el 16 son estadísticamente iguales. Este comportamiento de valores constantes de acidez total titulable durante la maduración pudo deberse a que sea una variedad no climatérica (Cavalini 2008).

Normalmente el contenido de ácidos orgánicos tiende a disminuir como consecuencia del proceso respiratorio (Aberu 2010). Sin embargo, en la variedad de guayaba Pedro Sato estos valores de acidez titulable expresada en ácido cítrico suelen mantenerse (Pinto *et al.* 2009), este estado constante permite clasificar a la variedad Pedro Sato como no climatérico (Aberu 2010).

Cuadro 18. Resultados de acidez total titulable a través del tiempo.

Día	No. de muestras	% de ácido cítrico
0	9	0.68093 ± 0.10 ^{BA}
3	9	0.64670 ± 0.08 ^B
7	9	0.74784 ± 0.06 ^A
9	9	0.62231 ± 0.14 ^B
11	9	0.66111 ± 0.14 ^{BA}
14	9	0.69552 ± 0.05 ^{BA}
16	9	0.66069 ± 0.09 ^{BA}
% CV		13.75

Valores con distinta letra ^(A-B) muestran diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

% CV: Coeficiente de variación.

El análisis estadístico entre tratamientos (Cuadro 19) demostró que no existe ninguna interferencia de la aplicación del biopolímero ($P \geq 0.05$), respecto a los procesos metabólicos de la fruta. La aplicación del biopolímero no causa un efecto en el consumo de ácidos orgánicos (Aberu 2010).

Cuadro 19. Resultados de acidez total titulable entre tratamientos.

Tratamientos[§]	No. de muestras	% de ácido cítrico
SE	21	0.68464 ± 0.0841 ^{NS}
EE	21	0.67426 ± 0.1101 ^{NS}
EF	21	0.66186 ± 0.1082 ^{NS}
% CV		14.88

Valores con ^{NS} significa que no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$).

[§] Tratamientos: Sin empaque (SE), Empaque entero (E) y Empaque perforado (F).

% CV: Coeficiente de variación.

4. CONCLUSIONES

- Se verificó que la mezcla de los polímeros biodegradables de almidón termoplástico y PBAT presentan características apropiadas para empaques en comparación con otros empaques biodegradables.
- No se observó ningún efecto del uso del empaque biodegradable aplicado a la guayaba debido a que no tuvo interferencia en los procesos de maduración de la fruta, lo que viabiliza su uso reduciendo el impacto ambiental que otros empaques generarían.
- El empaque sin perforar no causa ninguna interferencia en la maduración de la fruta y el proceso de producción del empaque es más rápido porque se necesita menos mano de obra para hacer las perforaciones.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de factibilidad de producción y aplicación del bioplástico para la comercialización de la guayaba.
- Evaluar el periodo de biodegradación bajo la normativa de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) D5511-12 del bioplástico utilizado en este estudio.

6. LITERATURA CITADA

Aberu J. 2010. Monitoramento de alterações físicas, químicas e fisiológicas durante o amadurecimento de goiabas cv "Pedro sato" [Tesis]. Universidad Federal de Lavras-Lavras, Minas Gerais, Brasil. 112 p.

Alquézar B. 2007. Caracterización bioquímica y molecular de la carotenogénesis en frutos cítricos [Tesis]. Universidad de Valencia-Valencia, España. 289 p.

Alves V, Mali S, Beleia A, Grossmann M. 2007. Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. *Journal of Food Engineering*. 78(3):941–946. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.12.007.

Arrieta M. 2014. Films de PLA y PLA-PHB plastificados para su aplicación en envases de alimentos [Tesis]. Universidad politécnica de Valencia-Valencia, España. 354 p.

Athiê S, Ortega E, Cavalini F, Jacomino A. 2009. Conservação de produto minimamente processado de goiabas 'Kumagai' e 'Pedro Sato'. *Rev. Bras. Frutic.* 31(3):847–855. doi:10.1590/S0100-29452009000300031.

Bonner I, Kenney K. 2013. Moisture sorption characteristics and modeling of energy sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Journal of Stored Products Research*. 52:128–136. doi:10.1016/j.jspr.2012.11.002.

Brandelero R, Grossmann M, Yamashita F. 2013. Hidrofilicidade de filmes de amido/poli (butileno adipato co-tereftalato) (Pbat) adicionados de tween 80 e óleo de soja. *Polímeros*. [consultado 2017 ago 3]; 23(2):170–175. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282013000200020&script=sci_abstract&tlng=pt.

Cavalini F. 2008. Fisiologia do amadurecimento, senescência e comportamento respiratório de goiabas "Kumagai" e "Pedro Sato" [Tesis]. Universidad de São Paulo-Piracicaba, Brasil. 91 p.

Cavalini F, Jacomino A, Trevisan M, Almeidan M. 2015. Ponto de colheita e qualidade de goiabas 'Kumagai' e 'Paluma'. *Rev. Bras. Frutic.* 37(1):64–72. doi:10.1590/0100-2945-013/14.

Chaves M, Sgroppo S, Avanza J. 2004. Isotermas de adsorción de berenjenas deshidratadas [Tesis]. Universidad Nacional del Nordeste-Argentina. 4 p.

Cortés J, Fernández A, Mosquera S, Velasco R. 2014. Evaluación de propiedades mecánicas, ópticas y de barrera en películas activas de almidón de yuca. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. [consultado 2017 jul 2]; 12(1):88-87. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n1/v12n1a11.pdf>

Delgado K, Varona G, Montilla C, Villada H. 2016. Efecto del aditivo tween 80 y de la temperatura de procesamiento en las propiedades mecánicas de tensión de películas flexibles elaboradas a partir de almidón de yuca termoplástico. Información Tecnológica. 27(6):145–152. doi:10.4067/S0718-07642016000600015.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2004. Perspectivas a plazo medio de los productos básicos agrícolas: Proyecciones al año 2010 [internet]. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization; [consultado 2017 jun 28]. <http://www.fao.org/docrep/007/y5143s13.htm>

FAO (Food and Agriculture Organization). 2012. Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo - Alcance, causas y prevención [internet]. Roma, Italia: Food & Agriculture Organization; [consultado 2017 jun 28]. <http://www.fao.org/3/a-i2697s.pdf>.

Gálvez A, Aravena E, Moncada R. 2006. Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.). Ciencia y Tecnología de alimentos. [consultado 2017 jul 3]; 26(4):821–827. <http://www.scielo.br/pdf/cta/v26n4/16.pdf>

González I. 2010. Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.) colombiana [Tesis]. Universidad Nacional de Colombia-Bogotá, Colombia. 84 p.

Guevara J. 2012. Sistema de producción de un empaque sustentable [Tesis]. Universidad Nacional Autónoma de México-Distrito Federal, México. 289 p.

Gutiérrez A. 2013. Evaluación de la calidad de frutos de guayana *Psidium guajava* L. del banco de germoplasma de corpoica palmira [Tesis]. Universidad Nacional de Colombia-Palmira, Colombia.

Gutiérrez N, Dussan S, Castro J. 2012. Fisiología y atributos de calidad de la guayaba "pera" (*Psidium guajava* cv.) en postcosecha. Revista de ingeniería. [consultado 2017 jul 2]; (37):26–30. <http://www.redalyc.org/pdf/1210/121026469008.pdf>

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2011. Produção Agrícola Municipal [internet]. Rio de Janeiro; [consultado 2017 jun 6].

http://ciudades.ibge.gov.br/comparamun/compara.php?lang=_ES&coduf=41&idtema=100&codv=V108&order=uf&dir=desc&lista=uf&custom=.

ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas). 2015. Productos alimenticios NTC 440. Métodos de ensayo [internet]. Bogotá, Colombia; [consultado 2017 jul 2]. <https://es.scribd.com/document/237933154/NTC-440-Productos-alimenticios-Metodos-de-ensayo-pdf>.

ISRI (Institute of Scrap Recycling Industries, Inc.). 2016. Anuario scrap del ISR [internet]. Washington, DC, Estados Unidos; [consultado 2017 jul 6]. http://www.isri.org/docs/default-source/2016Yearbook/2016yearbook_esus.pdf?sfvrsn=0

Joaqui D, Villada H. 2013. Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. [consultado 2017 jul 3]; (2):59-68. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa07.pdf>

López D, Cerón A, Osorio O, Checa O, Villada H. 2017. Evaluación de propiedades mecánicas de películas biodegradables a base almidón de papa, almidón de yuca y proteína de suero de leche. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. [consultado 2017 jun 29]; 2:582-587. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume2/3/10/95.pdf>

Mali S, Sakanaka L, Yamashita F, Grossmann M. 2005. Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. *Carbohydrate Polymers*. 60(3):283–289. doi:10.1016/j.carbpol.2005.01.003.

Mogollón C, Cury K, Dussan S. 2011. Comportamiento poscosecha y evaluación de calidad de fruta fresca de guayaba en diferentes condiciones de almacenamiento. *Revista Facultad Nacional de agronomía*. [consultado 2017 jul 3]; 64(2):6207-6212. <http://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/29409/37162>

Moncayo D. 2013. Desarrollo de un recubrimiento comestible a partir de un biopolímero para prolongar la vida útil de frutas frescas [Tesis]. Universidad Nacional de Colombia-Bogotá, Colombia. 76 p.

Muy D, Alcántar M, Siller J, Báez M. 2003. Cambios en ácido ascórbico, licopeno y β -caroteno durante la maduración de frutos de guayaba. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. [consultado 2017 jun 28]; 9(2):333-343. <https://chapingo.mx/revistas/phpscript/download.php?file=completo&id=OTg5>

Navia D, Villada H. 2012. Modelado de las isotermas de adsorción de láminas flexibles biodegradables. *Revista Vitae*. [consultado 2017 jul 3]; 19(1):S420–S422. <http://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914132.pdf>

Navia D, Villada H. 2013. Impacto de la investigación en empaques biodegradables eficiencia, tecnología e innovación. *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. [consultado 2017 jul 3]; 11(2):173–180. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n2/v11n2a20.pdf>

Olivato J, Grossman M, Bilck A, Yamashita F, Oliveira L. 2013 Starch/polyester films: simultaneous optimization of the properties for the production of biodegradable plastic bags. *Polímeros*. 23(1):32-36. doi: 10.1590/S0104-14282013005000017

Oliveira J. 2013. Produção e caracterização de filmes de amido-glicerol-fibras de celulose elaborados por tape-casting [Tesis]. Universidade Federa de Santa Catarina-Florianópolis, Brasil. 177 p.

Oropeza R, Montes A, Padrón C. 2016. Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. [consultado 2017 jul 2]; 7(1):65-93. https://www.researchgate.net/publication/309707042_Peliculas_biodegradables_a_base_de_almidon_propiedades_mecanicas_funcionales_y_biodegradacion.

Oshiro A, Mugnol D, Quintão S. 2012. Preservação de goiabas ‘Pedro Sato’ armazenadas sob atmosfera modificada em refrigeração. *Revista de Ciências Agrárias*. [consultado 2017 jul 3]; 35(1):213–221. https://www.researchgate.net/publication/262466728_Preservacao_de_goiabas_'Pedro_Sato'_armazenadas_sob_atmosfera_modificada_em_refrigeracao

Pardo O, Velasco R. 2012. Propiedades fisicoquímicas y mecánicas de películas obtenidas a partir de almidón nativo y oxidado de arracacha. *Revista ION*. [consultado 2017 jul 2]; 23–29. <http://www.redalyc.org/pdf/3420/342030285004.pdf>

Parra A. 2014. Maduración y comportamiento poscosecha de la guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista colombiana de ciencias hortícolas*. [consultado 2017 jun 28]; 8(2):314–327. http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v8n2/v8n2_a13.pdf

Pinto P, Jacomino A, Cavalini F, Cunha L, Inoue K. 2009. Estádios de maturação de goiabas ‘Kumagai’ e ‘Pedro Sato’ para o processamento mínimo [Tesis]. Universidad de São Paulo-Piracicaba, Brasil. 7 p.

Ramírez M, Cruz M, Vizcarra M, Anaya I. 2014. Determinación de las isotermas de sorción y las propiedades termodinámicas de harina de maíz nixtamalizada. *Revista Mexicana de*

Ingeniería Química. [consultado 2017 jul 3]; 13(1):165–178. <http://www.redalyc.org/pdf/620/62031166013.pdf>

Rangel M y López A. 2012. Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y empacadas en atmósferas modificada durante su almacenamiento en refrigeración. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. [consultado 2017 ago 14]; 6(2):94-109. <http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-62Rangel-Marron-et-al-2012.pdf>

Reddy M, Vivekanandhan S, Misra M, Bhatia S, Mohanty A. 2013. Biobased plastics and bionanocomposites: current status and future opportunities. *Progress in Polymer Science*. [consultado 2017 jun 28]; 38:1653–1689. <http://111.workcast.net/10283/1686074537916730/Documents/1-s2.0-S0079670013000476-main.pdf>.

Resende J, Chitarra M, Maluf W, Chitarra A, Saggin Junior O. 2004. Atividade de enzimas pectinametilsterase e poligalacturonase durante o amadurecimento de tomates do grupo multilocular. *Hortic. Bras. (Horticultura Brasileira)*. 22(2):206–212. doi:10.1590/S0102-05362004000200009.

Rubio M, Guerrero J. 2012. Polímeros utilizados para la elaboración de películas biodegradables. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 6. [consultado 2017 jul 3]; 6(2):173-11. <http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-62Rubio-Anaya-et-al-2012.pdf>

Solarte M, Hernández M, Morales A, Fernández J, Melgarejo L. 2010. Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de guayaba durante la maduración. *In* Morales A, Melgarejo L, editores. *Desarrollo de productos funcionales promisorios a partir de la guayaba (Psidium guajava L.) para el fortalecimiento de la cadena productiva*. Bogotá (Colombia): Panamericana. p. 85-119.

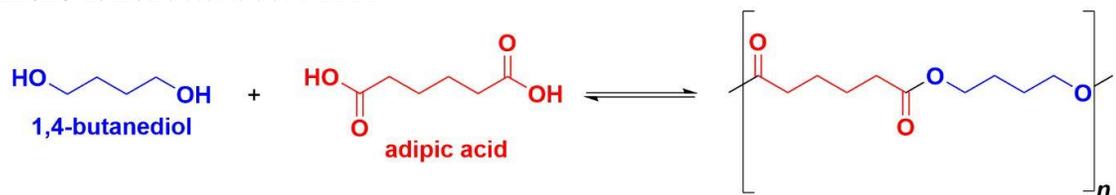
Solarte M, Romero H, Melgarejo L. 2010. Caracterización ecofisiológica de variedades de guayaba por función de uso. *In* Morales A, Melgarejo L, editores. *Desarrollo de productos funcionales promisorios a partir de la guayaba (Psidium guajava L.) para el fortalecimiento de la cadena productiva*. Bogotá (Colombia): Panamericana. p. 23-56.

Souza J, Marchiore N, Galindo M, Yamashita F, Shirai M. 2016. Production of starch/poly (lactic acid) sheets containing citric acid and tributyl citrate. *Brazilian Journal of Food Research*. [consultado 2017 jul 3]. 7(2):173-184. https://www.researchgate.net/publication/308132792_Production_of_starchpolylactic_acid_sheets_containing_citric_acid_and_tributyl_citrate

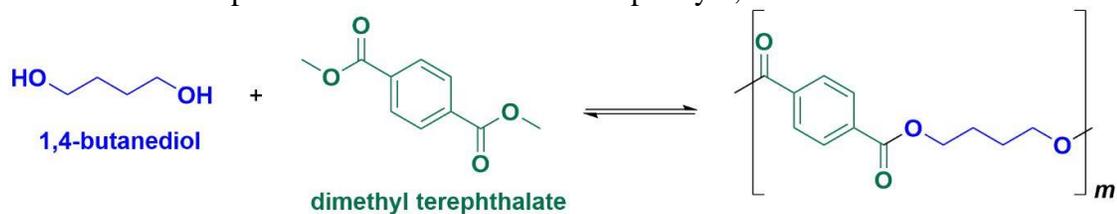
Toro I. 2015. Establecimiento de estados de madurez de guayabas rojas (*Psidium guajava* L.), cultivadas en Caraya Estado Vargas, basados en medición instrumental de dureza [Tesis]. Universidad Simón Bolívar-Estado de Vargas, Venezuela. 120 p.

7. ANEXOS

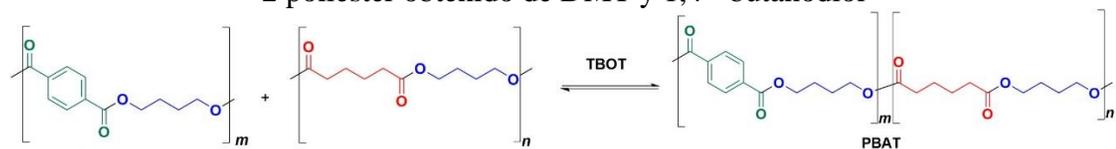
Anexo 1. Estructura del PBAT



1 poliester obtenido del ácido adipico y 1,4 - butanodiol



2 poliester obtenido de DMT y 1,4 - butanodiol



Fuente: <http://www.massimo-riboldi.it/pbat-polibutirrato/>

Anexo 2. Ficha técnica PBAT.

Product Information	Ecoflex® F BX 7011 – Biodegradable polyester for compostable film	 BASF The Chemical Company
April 2007		
Version 1.3		

Product description

Ecoflex® F BX 7011 is our biodegradable, statistical, aliphatic-aromatic copolyester based on the monomers 1,4-butanediol, adipic acid and terephthalic acid for film extrusion. Ecoflex® F BX 7011 has properties similar to PE-LD because of its high molecular weight and its long chain branched molecular structure

- Transparent to translucent, semi-crystalline structure with DSC melting point in the range of PE-LD: 110 - 120 °C
- High ultimate elongation at break and high failure energy (dart drop)
- High, but controllable water vapour transmission rate (WVTR)
- MVR (190 °C, 2,16 kg): 2,5 - 4,5 ml/10 min.
- Good thermostability up to 230 °C
- No regular predrying of pellets
- Good processability on blown film lines
- Down gaging to 10 µm possible
- Weldable and printable

Ecoflex® F BX 7011 fulfils the requirements of the European standard DIN EN 13432, the US standard ASTM D 6400-04 and the Japanese GreenPla standard for compostable and biodegradable polymers, because it can be degraded by micro-organisms. The biodegradation process in soil depends on the specific environment (climate, soil quality, population of micro-organisms).

Ecoflex® F BX 7011 is one of the few biodegradable plastics, which complies in its composition with the European and American food stuff legislation for food contact (EU: Directive 2002/72/EC and US: Food Contact Notification FCN 372). Specific limitations and more details are given on request. The converter or packer has to check the suitability of the article for the application.

Ecoflex® F BX 7011 exhibits an excellent compatibility to other biodegradable polymers e.g. in dry blends with polylactic acid, biodegradable aliphatic polyesters or starch compounds (e.g. Ecoflex® S BX 7025, starch, additives). The processing of Ecoflex® F BX 7011 on extrusion lines depends on the formulation, the extrusion technology and processing conditions. Trials are always recommended to assess the quality of the final product.

According to our experience drying of Ecoflex® F BX 7011 prior to conversion is not required if more than 50% of Ecoflex® F BX 7011 is used in the formulation keeping Ecoflex® F BX 7011 in the coherent phase. In this case Ecoflex® F BX 7011 contributes significantly to the performance of a formulation in processing and application.

Form supplied and storage

Ecoflex® F BX 7011 is supplied as lensshaped pellets in 1 t big bags or bulk containers. Temperatures during transportation and storage may not exceed 70 °C at any time. Storage time may not surpass 12 month at room temperature (23 °C).

Quality Control

Ecoflex® F BX 7011 is produced as a standard material in a continuous production process according to DIN EN ISO 9001: 2000. The melt volume rate, MVR, at 190 °C, 2.16 kg, according to ISO 1133 has been defined as specified parameter for quality control. A certificate can be provided with each lot number (10 t) upon request. In order to obtain a high accuracy for the MVR measurement the granules should be dried for 30 minutes at 70 °C using e.g. an electronic moisture analyser (e.g. Sartorius MA 40). Other data given in our literature are typical values, which are not part of our product specification for Ecoflex® F BX 7011

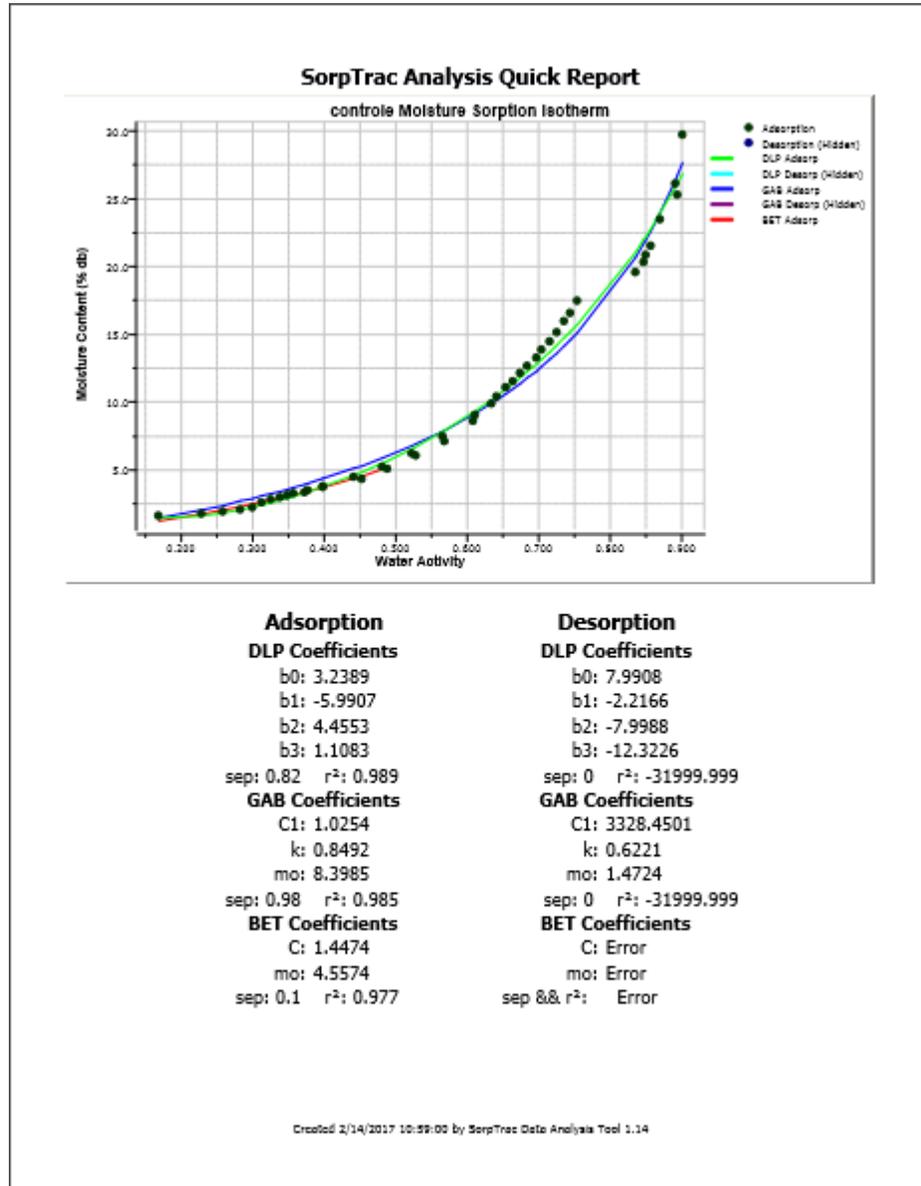
Applications

Ecoflex® F BX 7011 has been developed for the conversion to flexible films using a blown film or cast film process. Typical applications are packaging films, agricultural films and compost bags. In view of numerous factors influencing functionality and shelf life of Ecoflex® films and finished articles made thereof these parameters have to be tested by the converters before utilisation.

Purchase of Ecoflex® F BX 7011 implies a non-exclusive license under our industrial property right EP-B 792309 and ist equivalents.

We supply technical service information concerning the blown or cast film process with Ecoflex® F BX 7011 on demand.

Anexo 3. Isoterma de adsorción por SorpTrac Quick Report



Anexo 4. Imagen de diseño de empaque perforado.



Anexo 5. Imagen de diseño de empaque entero.



Anexo 6. Pellets obtenidos de mezcla de PBAT, almidón, glicerol y ácido cítrico.



Anexo 7. Análisis de pérdida de masa.



Anexo 8. Análisis de Permeabilidad al vapor de Agua.



Anexo 9. Análisis de Sólidos Solubles Totales



Anexo 10. Análisis de acidez total titulable.



Anexo 11. Resumen del estudio estadístico del SAS®.

The SAS System

The GLM Procedure

Dependent Variable: PERMASA

R-Square **Coeff Var** **Root MSE** **PERMASA Mean**
0.948256 18.16764 0.896213 4.933016

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRT	2	0.2659079	0.1329540	0.17	0.8481
REP	2	0.8400984	0.4200492	0.52	0.5972
DIA	6	509.8188159	84.9698026	105.79	<.0001
TRT*REP	4	2.6480063	0.6620016	0.82	0.5184
TRT*DIA	12	16.3176032	1.3598003	1.69	0.1098

The SAS System

The GLM Procedure

Dependent Variable: PH

R-Square **Coeff Var** **Root MSE** **PH Mean**
0.465125 2.765695 0.106765 3.860317

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRT	2	0.00362222	0.00181111	0.16	0.8537
REP	2	0.00996508	0.00498254	0.44	0.6493
DIA	6	0.27539365	0.04589894	4.03	0.0035
TRT*REP	4	0.01714921	0.00428730	0.38	0.8241
TRT*DIA	12	0.05071111	0.00422593	0.37	0.9657

The SAS System

The GLM Procedure

Dependent Variable: SST

R-Square **Coeff Var** **Root MSE** **SST Mean**
0.535740 8.181679 0.805701 9.847619

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRT	2	1.95523810	0.97761905	1.51	0.2354
REP	2	5.44666667	2.72333333	4.20	0.0230
DIA	6	5.40158730	0.90026455	1.39	0.2465
TRT*REP	4	4.52380952	1.13095238	1.74	0.1621
TRT*DIA	12	9.64031746	0.80335979	1.24	0.2968

The SAS System

The GLM Procedure

Dependent Variable: ATT

R-Square **Coeff Var** **Root MSE** **ATT Mean**
0.504616 13.74802 0.092605 0.673587

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRT	2	0.00546582	0.00273291	0.32	0.7291
REP	2	0.03986947	0.01993473	2.32	0.1123
DIA	6	0.08751085	0.01458514	1.70	0.1491
TRT*REP	4	0.03141454	0.00785363	0.92	0.4653
TRT*DIA	12	0.15021612	0.01251801	1.46	0.1852

The SAS System

The GLM Procedure

Dependent Variable: CORCAS

R-Square **Coeff Var** **Root MSE** **CORCAS Mean**
0.685021 5.873142 6.364910 108.3732

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRT	2	142.121146	71.060573	1.75	0.1875
REP	2	19.552851	9.776425	0.24	0.7868
DIA	6	2470.398432	411.733072	10.16	<.0001
TRT*REP	4	146.335654	36.583913	0.90	0.4725
TRT*DIA	12	393.414854	32.784571	0.81	0.6393

The SAS System

The GLM Procedure

Dependent Variable: TEXTURA

R-Square **Coeff Var** **Root MSE** **TEXTURA Mean**
0.806249 58.61111 7.464637 12.73587

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRT	2	32.933117	16.466559	0.30	0.7459
REP	2	2.282003	1.141002	0.02	0.9797
DIA	6	7911.277838	1318.546306	23.66	<.0001
TRT*REP	4	186.790063	46.697516	0.84	0.5101
TRT*DIA	12	213.988638	17.832387	0.32	0.9808

The SAS System

The GLM Procedure

Dependent Variable: CORPULPA

R-Square **Coeff Var** **Root MSE** **CORPULPA Mean**
 0.578406 10.34061 4.904583 47.43032

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRT	2	192.5906413	96.2953206	4.00	0.0269
REP	2	112.1149746	56.0574873	2.33	0.1118
DIA	6	442.4040381	73.7340063	3.07	0.0158
TRT*REP	4	224.4705778	56.1176444	2.33	0.0743
TRT*DIA	12	216.4980476	18.0415040	0.75	0.6947

Anexo 12. Resumen del estudio estadístico del SAS® por tratamiento.

The SAS System

The UNIVARIATE Procedure
 Variable: PERMASA

Moments

N	63	Sum Weights	63
Mean	4.93301587	Sum Observations	310.78
Std Deviation	3.00216461	Variance	9.01299237
Skewness	-0.2290968	Kurtosis	-0.9671627
Uncorrected SS	2091.8882	Corrected SS	558.805527
Coeff Variation	60.8586044	Std Error Mean	0.37823719

The SAS System			
The UNIVARIATE Procedure			
Variable: PH			
Moments			
N	63	Sum Weights	63
Mean	3.86031746	Sum Observations	243.2
Std Deviation	0.11123889	Variance	0.01237409
Skewness	1.44738842	Kurtosis	3.21441467
Uncorrected SS	939.5964	Corrected SS	0.76719365
Coeff Variation	2.88159959	Std Error Mean	0.01401478

The SAS System			
The UNIVARIATE Procedure			
Variable: SST			
Moments			
N	63	Sum Weights	63
Mean	9.84761905	Sum Observations	620.4
Std Deviation	0.90104906	Variance	0.8118894
Skewness	-4.6564845	Kurtosis	30.8581156
Uncorrected SS	6159.8	Corrected SS	50.3371429
Coeff Variation	9.14991788	Std Error Mean	0.11352151

The SAS System			
The UNIVARIATE Procedure			
Variable: ATT			
Moments			
N	63	Sum Weights	63
Mean	0.6735873	Sum Observations	42.436
Std Deviation	0.10025779	Variance	0.01005162
Skewness	-0.7844556	Kurtosis	0.27948778
Uncorrected SS	29.2075515	Corrected SS	0.62320073
Coeff Variation	14.8841569	Std Error Mean	0.01263129

The SAS System			
The UNIVARIATE Procedure			
Variable: CORCAS			
Moments			
N	63	Sum Weights	63
Mean	108.373175	Sum Observations	6827.51
Std Deviation	8.6418505	Variance	74.6815801
Skewness	-0.7094436	Kurtosis	-0.4880509
Uncorrected SS	744549.191	Corrected SS	4630.25797
Coeff Variation	7.97416015	Std Error Mean	1.08877082

The SAS System			
The UNIVARIATE Procedure			
Variable: TEXTURA			
Moments			
N	63	Sum Weights	63
Mean	12.735873	Sum Observations	802.36
Std Deviation	12.9223617	Variance	166.987431
Skewness	1.15931199	Kurtosis	-0.1358484
Uncorrected SS	20571.9758	Corrected SS	10353.2207
Coeff Variation	101.464279	Std Error Mean	1.62806454

The SAS System			
The UNIVARIATE Procedure			
Variable: CORPULPA			
Moments			
N	63	Sum Weights	63
Mean	47.4303175	Sum Observations	2988.11
Std Deviation	5.75586096	Variance	33.1299354
Skewness	1.65679953	Kurtosis	2.32570611
Uncorrected SS	143781.062	Corrected SS	2054.05599
Coeff Variation	12.1354047	Std Error Mean	0.72517032