

**Caracterización y optimización de una
bandeja biodegradable a partir maíz, papa,
soya y glicerol por el método de
termoprensado**

Ximena Janeth Díaz Cárdenas

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir de maíz, papa, soya y glicerol por el método de termoprensado

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

Ximena Janeth Díaz Cárdenas

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2017

Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir de maíz, papa, soya y glicerol por el método de termoprensado

Ximena Janeth Díaz Cárdenas

Resumen. El impacto ambiental causado por el excesivo uso de derivados del petróleo es una problemática mundial; dado el largo tiempo requerido para su biodegradación. Una de las alternativas capaz de solventar el problema de manejo de residuos son los biopolímeros. La integración de plastificantes y fibras, sustentan la biodegradabilidad y actúan como refuerzo mecánico en matrices de almidón. En el presente estudio se determinaron las concentraciones óptimas de rastrojo de maíz (0-20%), fibra de soya (3%), almidón de papa (80-93%) y glicerol (3-10%), que proporcionan las mejores características físicas y mecánicas con la aplicación de altas temperaturas y presión usando la metodología de Superficie de Respuesta. Se usó un diseño central compuesto rotacional de segundo orden con las variables independientes: porcentaje de glicerol y rastrojo de maíz, con cuatro niveles factoriales, cuatro axiales y tres puntos centrales con un total de 11 tratamientos. Las variables dependientes evaluadas fueron: espesor, solubilidad en agua, color y propiedades mecánicas; obteniendo modelos matemáticos predictivos para las variables: color, adhesividad y espesor. Los resultados óptimos de la bandeja biodegradable se obtuvieron con 3% glicerol, 2.66% rastrojo de maíz y 94.34% almidón de papa. La adición de fibra a la matriz polimérica no evidenció mejoras en las propiedades mecánicas de la bandeja por la adición de rastrojo de maíz y las concentraciones de las variables independientes del punto central obtuvieron una tasa de degradación del 100% en las condiciones estudiadas a partir del día 30.

Palabras clave: Compósito, manejo de residuos, matriz polimérica, propiedades mecánicas.

Abstract. The environmental impact caused by the excessive use of products derived from petroleum is a global issue, considering the long time it takes to bio-degrade. One of the alternatives capable of solving the waste management problem is the usage of biopolymers. The integration of plasticizers and fibers, sustain biodegradability and act as a mechanical reinforcement in starch matrixes. The study determined the optimum concentrations of corn stubble (0-20%), soybean fiber (3%), potato starch (80-93%) and glycerol (3-10%), providing the best physical and chemical features with the application of high temperatures and pressure using the design surface response. A design rotational center composition was used on the independent variables: glycerol percentage and corn stubble with four factorial levels, axial levels and three center points obtained 11 treatments. The dependent variables were: thickness, water solubility, color and mechanical properties; obtaining predictive mathematical models for the variables: color, adhesiveness and thickness. The optimum results for the biodegradable tray were 3% of glycerol, 2.66% of corn stubble and 94.34% potato starch. The addition of fiber to the polymer matrix did not evidence improvements in the mechanical properties of the independent variables of the central point obtained a degradation rate of a 100% in the studied conditions from the 30th day.

Key words: Composer, mechanical properties, polymer matrix, waste management.

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.....	11
4. CONCLUSIONES.....	33
5. RECOMENDACIONES	34
6. LITERATURA CITADA.....	35
7. ANEXOS	43

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Equipo, marca y modelo utilizado para la realización del estudio.	3
2. Niveles codificados de variables independientes en el estudio.	7
3. Diseño experimental.	8
4. Análisis de fibra cruda en rastrojo de maíz y fibra de soya.	11
5. Distribución granulométrica de la fibra de soya.	12
6. Distribución granulométrica del rastrojo de maíz.	12
7. Distribución granulométrica del almidón de papa.	12
8. Composición de la fibra de soya.	13
9. Composición de rastrojo de maíz.	13
10. Composición del almidón de papa.	14
11. Efecto del rastrojo de maíz y glicerol en el espesor de la bandeja.	15
12. Coeficientes de regresión y significancia de un modelo de regresión polinomial aplicada en el espesor de la bandeja.	16
13. Capacidad de solubilidad en agua de la bandeja biodegradable con rastrojo de maíz y glicerol.	17
14. Coeficientes de regresión y significancia de un modelo de regresión polinomial aplicada en la solubilidad de la bandeja.	17
15. Efecto del rastrojo de maíz y glicerol en el color de la bandeja biodegradable. .	18
16. Coeficientes de regresión y significancia de un modelo de regresión polinomial aplicada en el color de la bandeja.	19
17. Efecto del rastrojo de maíz y glicerol en la dureza de la bandeja biodegradable. .	20
18. Coeficientes de regresión y significancia de un modelo de regresión polinomial aplicada en la dureza de la bandeja.	21
19. Efecto del rastrojo de maíz y glicerol en adhesividad de la solución filmogénica. .	22
20. Coeficientes de regresión y significancia de un modelo de regresión polinomial aplicada en adhesividad de la solución filmogénica.	23
21. Efecto de rastrojo de maíz y glicerol en la tensión de la bandeja biodegradable. .	24
22. Coeficientes de regresión y significancia de un modelo de regresión polinomial aplicada en la tensión de la bandeja.	25
23. Efecto de la relación rastrojo de maíz: almidón y glicerol en la fracturabilidad de la bandeja.	26
24. Coeficientes de regresión y significancia de un modelo de regresión polinomial aplicada en la fracturabilidad de la bandeja.	27
25. Caracterización del análisis de suelo.	27
26. Datos de la estación climatológica de Zamorano durante 40 días.	28
27. Pérdida de área degradada expresada en porcentaje.	30

Figuras	Página
1. Proceso de formación de la bandeja por el método de termopresando.....	5
2. Molde de acero inoxidable revestido de teflón utilizado en el estudio.	6
3. Efecto de la variable independiente; porcentaje de relación rastrojo de maíz: almidón, en el espesor de la bandeja.	16
4. Efecto de las variables independientes; porcentaje de relación rastrojo de maíz: almidón y glicerol, en el color de la bandeja.	19
5. Efecto de las variables independientes; porcentaje de relación rastrojo de maíz: almidón y glicerol, en la dureza de la bandeja.	21
6. Efecto de las variables independientes; porcentaje de relación rastrojo de maíz: almidón y glicerol, en la adhesividad de la solución filmogénica.	23
7. Efecto de las variables independientes, porcentaje de relación rastrojo de maíz: almidón y glicerol, en tensión de la bandeja.	25
8. Muestras de los tratamientos para el estudio de biodegradabilidad.	31
9. Función de utilidad para la optimización de la bandeja biodegradable.....	32

Anexos	Página
1. Ejemplo de las fases de degradación de un polímero biodegradable relacionado a la conversión de CO ₂ durante 180 días.	43
2. Gráfica del tratamiento uno obtenido del texturómetro Brookfield.	43
3. Informe de datos del equipo Brookfield.	44
4. Pérdida de masa de materiales de empaque en el tiempo.	44
5. Pérdida de masa de materiales de empaque después de 90 días. (Rápido: 88%, Medio: 40%, Lenta: <5%)	45
6. Parcelas demostrativas del estudio de la bandeja biodegradable.	45
7. Porcentaje de área degradada de las bandejas durante 40 días.....	46

1. INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental causado por el excesivo uso de derivados del petróleo es una problemática mundial con huellas perjudiciales a ecosistemas; dado el largo tiempo requerido para su biodegradación (Adeodato *et al.* 2011). Los plásticos han moldeado a la sociedad cientos de años por sus beneficios de contención y protección, una vez usados son desechados, estimando en 2020 superar los 500 millones de t/año (Care 2017). Dicha problemática planteó a los científicos una solución favorable con características de fácil accesibilidad. Una de las alternativas capaz de solventar el problema de manejo de residuos y fuente de recursos renovables son los biopolímeros (Rubio 2013).

Los biopolímeros son elaborados a partir de almidón por su bajo costo, comestibilidad, biodegradabilidad y abundancia en la industria alimentaria (Shirai *et al.* 2013). La biodegradación es un proceso natural y complejo realizado por mecanismos bioquímicos metabolizados por microorganismos como hongos, levaduras y bacterias, para ser transformados en compuestos minerales simples reintegrados al medio ambiente a través del ciclo en carbono, nitrógeno y azufre (Mello 2013). Los biopolímeros son compuestos de alto peso molecular divididos en dos categorías.

La primera clasificación es generada por sistemas biológicos y está conformada por lípidos, polisacáridos y proteínas; por otra parte, en la segunda se encuentra el Ácido Poliláctico (PLA) y poliésteres producidos por el metabolismo de ciertas bacterias (Cruz *et al.* 2013). Sintetizados químicamente a partir de materiales renovables, estos compuestos se caracterizan por tener un corto tiempo de degradación desde semanas a pocos meses (Shimao 2001). El almidón químicamente es una mezcla de amilosa y amilopectina, después de la celulosa, es probablemente el polisacárido más abundante e importante desde el punto de vista comercial (Badui 2006).

El almidón de papa es caracterizado por sus propiedades tales como baja temperatura de gelatinización, baja tendencia a la retrogradación (Vargas *et al.* 2016), alta capacidad de retención de agua y buena estabilidad. La amilopectina forma el 70-80% de almidón como una red tridimensional helicoidal que en cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa y la amilosa un 20-30% de almidón como un polímero lineal, una relación promedio que varía entre 1:4 y 1:5 de amilosa y amilopectina (Zárate *et al.* 2014). Los materiales a base de almidón son frágiles por naturaleza en función al grado de interacción entre las cadenas de amilosa y amilopectina (Jacometti 2015).

La integración de plastificantes y fibras en matrices de almidón, sustenta la biodegradabilidad, actúan como refuerzo mecánico y dilata la permeabilidad de la estructura (Deviagi 2013). La incorporación de materiales para mejorar las propiedades

mecánicas y físicas del almidón, forman un compuesto, cada material es una fase que forma una matriz homogénea (Jacometti 2015). El maíz genera una biomasa residual de 20 a 35 toneladas por hectárea, y sus fibras no leñosas son aptas para el uso en compósitos y manufactura, según el intervalo de clasificación de Runkel a través de propiedades biométricas e índices de calidad (Prado *et al.* 2012). Los plastificantes de forma genérica son líquidos, inodoros, incoloros y de baja volatilidad que al entrar en contacto con otro compuesto modifican sus propiedades físicas, mecánicas y flexibilizan el polímero por debajo de su transición vítrea para reducir su cristalinidad o punto de fusión (Chariguamán 2015). Deben ser compatibles con el polímero en que se usan, reducir la fuerza intermolecular e incrementar la movilidad del polímero, comúnmente son compuestos hidrofílicos como polialcoholes (glicerol, sorbitol y glicol de polietileno) (Mali *et al.* 2002). Dentro de los plastificantes más predominantes se encuentran el glicerol, que disminuye o eleva el volumen libre entre las cadenas de amilosa y amilopectina, obteniendo como resultado final materiales menos quebradizos y propiedades mecánicas desarrolladas (Jacometti 2015).

En este estudio se busca caracterizar y optimizar las propiedades mecánicas de un compuesto a partir de rastrojo de maíz, almidón de papa y glicerol, para futuros usos en la industria, planteando los objetivos presentados a continuación:

- Desarrollar y caracterizar físicamente bandejas biodegradables con fibras y almidón por el método de termoprensado.
- Determinar las concentraciones óptimas de rastrojo de maíz, almidón de papa y glicerol que proporcionen las mejores características físicas y mecánicas con la metodología superficie de respuesta.
- Estimar el porcentaje biodegradado de la bandeja por microorganismos del suelo en un período de 40 días considerando la norma ASTM D 5488-944.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio.

El estudio fue realizado en los meses de julio a septiembre en el Laboratorio de Análisis de Alimentos (LAAZ) de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, departamento de Francisco Morazán Honduras.

Materia prima.

Se utilizó almidón de papa *Solanum tuberosum* adquirido por la planta de cárnicos de Zamorano y distribuido por Birkarmidon, glicerina adquirida por la empresa JG Scientific localizada en la ciudad de Tegucigalpa, rastrojo de maíz tuxpeño *Zea mays* brindada por el módulo de granos y semillas de Zamorano, estearato de magnesio y goma guar adquirida por Distribuidora del Caribe localizada en la ciudad de San Pedro Sula.

El Cuadro 1 muestra los equipos utilizados para pruebas preliminares y el estudio de la bandeja de rastrojo de maíz, almidón de yuca y glicerol por el método de termoprensado.

Cuadro 1. Equipo, marca y modelo utilizado para la realización del estudio.

Equipo	Marca/Modelo
Picadora	Bear cat/5VJAA0014EW004319
Estufa agitador	Barnstead Thermolyne SP131325
Balanza analítica	OHAUS ADVENTURER AX224/E
Horno	Fisher 750f
Horno de convección	BINDER FD534-UL
Molino de martillo	Arthur H. Thomas 32F770
Texturómetro	BROOKFIELD CT3 4500
Colorflex	HunterLab 45/0

Caracterización de la materia prima.

Fibra cruda en maíz y soya. El contenido de fibra en ambas materias primas fue determinado por el método AOAC 962.09 (AOAC 1990) aplicado a granos, alimento para animales, forrajes y semillas oleaginosas (ANKOM 2006). Los análisis se realizaron por triplicado, se pesó $1 \pm .001$ g de muestra más un blanco, se agregó la muestra en bolsas de filtro posteriormente selladas con calor, 11 ml de ácido clorhídrico (HCl) y 1500 ml de agua destilada. Se realizó la extracción en el equipo ANKOM²²⁰ a una presión de 10-25 psi durante 40 minutos. Después de 24 h, se realizó un lavado con agua destilada a 60 °C a una

agitación constante de 65 rpm durante cinco minutos, dicho procedimiento fue reiterado en tres ocasiones. Se colocaron las muestras en crisoles previamente secados, y adicionados en la mufla durante 24 horas. La fibra cruda fue determinada mediante la ecuación 1.

$$\% \text{ Fibra cruda} = 100 \times \frac{(Pt - (Pi \times Pb))}{Pm} \quad [1]$$

Donde:

Pt: peso total de la muestra, (materia orgánica más bolsa).

Pi: peso de la bolsa

Pb: peso de la bolsa utilizada como blanco

Pm: peso de la muestra

Granulometría. El tamaño de la partícula fue evaluado por el método AOAC 965.22 (AOAC 1990) mediante la clasificación de partículas por tamaño. Se tomó 50 gramos de cada muestra previamente secada a 65 °C por 24 horas y agitadas constantemente durante cinco minutos en el equipo Ro-Tap. Se usó un conjunto de cinco tamices con aberturas de malla: 20, 30, 40, 60, 100 equivalente a 850, 600, 425, 250 y 150 micrómetros y un fondo con un diámetro de 20 cm. Los tamices se pesaron antes y después del procedimiento, obteniendo por diferencia el porcentaje de retención en cada tamiz, reflejado en la ecuación 2.

$$\% \text{ de retención} = \frac{\text{Peso de tamiz y muestra} - \text{Peso de tamiz}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad [2]$$

Índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA). Los análisis se realizaron por triplicado a cada tratamiento, con la técnica modificada de (Anderson 1982). Aproximadamente $1 \pm .001$ g de muestra en base húmeda más 1 ml de agua, fueron colocaron en tubos de centrifugación tarados. Seguido, los tubos y las muestras fueron agitadas en el vortex múltiple durante un minuto para su homogenización. Las muestras se colocaron en baño maría durante 30 minutos a una temperatura de 30 °C con una agitación constante de 200 rpm.

Los tubos con las muestras fueron centrifugados por 15 minutos a 6000 rpm posterior al baño maría. El gel sedimentado, se separó por decantación y lo floculado se drenó en un plato Petri de vidrio previamente secado a 105 °C durante 12 horas. Los datos del peso más el tubo con el gel fueron registrados y lo floculado se evaporó durante 4 horas a 105 °C. Los platos petri se enfriaron por media hora en un desecador de sílice para obtener el peso de los sólidos disueltos y el valor del índice de solubilidad en agua (ISA) mediante la ecuación 3.

$$\text{ISA} (\%) = \frac{\text{Peso del residuo de evaporación (g)}}{\text{Peso seco de la muestra (g)}} \times 100 \quad [3]$$

El índice de absorción de agua (IAA) se conoce como la relación del peso del residuo seco, con el peso de la muestra inicial, detallado a continuación.

$$\text{IAA} = \frac{\text{Peso del residuo seco (g)}}{\text{Peso de la muestra inicial (g)}} \times 100 \quad [4]$$

Obtención del rastrojo de maíz. Los tallos de maíz fueron cortados en pedazos longitudinales de 60 cm y picados hasta disminuir el tamaño de partícula a 2x2 cm. Se colocaron al horno de circulación forzada en bandejas de aluminio de 45x25x8 a 70 °C durante 24 horas hasta alcanzar una humedad del 8%. Posteriormente los residuos fueron procesados en el molino de martillo hasta reducir el tamaño de partícula a 2 mm. El rastrojo obtenido fue caracterizado por su contenido de fibra cruda, los análisis fueron realizados por triplicado según los métodos AOAC 973.03 (AOAC 1990) en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Escuela Agrícola Panamericana.

Elaboración de la bandeja. Se realizaron pruebas preliminares para determinar la cantidad de almidón, rastrojo de maíz y glicerol usando la metodología superficie de respuesta. Se empleó el termopresado como se observa en la figura 1, para la elaboración de la bandeja a partir de almidón de papa, rastrojo de maíz, fibra de soya y aditivos (agua, estearato de magnesio, goma guar, glicerol) con un molde rectangular de acero inoxidable de 235×185×23mm revestido de teflón presentado en la figura 2. Para la preparación del compósito, con un agitador mecánico, en 100 ml de agua se gelatinizó el almidón de papa a 65 °C durante tres minutos a 1500 rpm, se adicionó 3g/100g de fibra de soya, aditivos (0.5g/100g de estearato de magnesio y 1g/100g de goma goar) y rastrojo de maíz hasta formar una masa uniforme. Al final del proceso se colocó en el horno Binder a 205 ± 1 °C durante siete minutos a presión atmosférica.

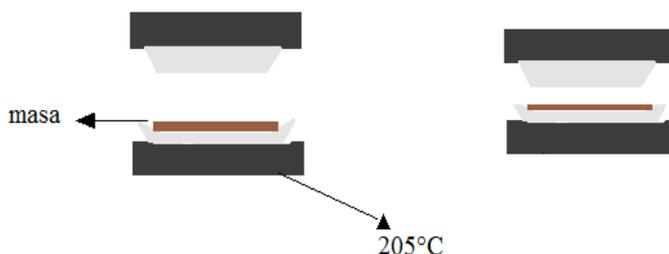


Figura 1. Proceso de formación de la bandeja por el método de termopresado.

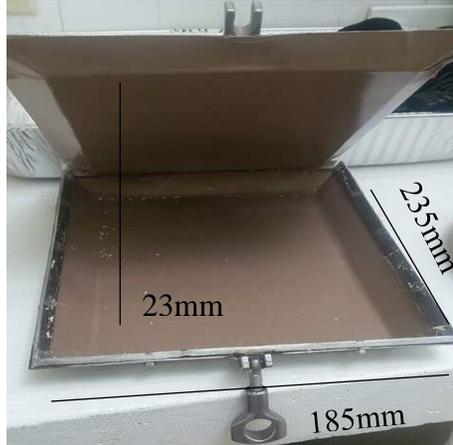


Figura 2. Molde de acero inoxidable revestido de teflón utilizado en el estudio.

Secado de la bandeja. Al finalizar el tiempo de prensado, el molde y la bandeja fueron retirados del horno y colocadas en el congelador durante un minuto a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ creando un choque térmico que facilitó el desprendimiento del compuesto. Las bandejas fueron secadas durante cuatro horas en un horno de convección a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ y almacenadas a temperatura ambiente.

Diseño experimental.

Se usó un diseño factorial con la metodología de Superficie de Respuesta Central Compuesta de segundo orden con una probabilidad de significancia del 10% para la evaluación de las variables independientes glicerol, relación rastrojo de maíz y almidón de papa. El experimento fue diseñado por el método de (Box y Draper 1959), los parámetros del proceso fueron codificados ($-\alpha$, -1 , 0 , 1 , α) y calculados de acuerdo a la ecuación 5.

$$Xi = \frac{x_{i,z}}{\Delta x_i} \quad [5]$$

Donde:

X_i = Valor codificado de la variable x_i .

x_i = Valor real de la variable.

Z = Valor real de la variable en el punto central.

Δx_i = Intervalo de la variable x_i .

Este modelo presenta dos niveles de variable axiales, que son codificados como $+\alpha$ y $-\alpha$. El valor alfa depende del número factorial ($F=2^k$) del diseño y del número de variables independientes ($K=2$), en el caso de este experimento se define por la ecuación 6.

$$\pm\alpha = (F)^{1/4} = (2k)^{1/4} = (2^2)^{1/4} = 1.414 \quad [6]$$

El número de tratamientos del experimento se determinó con la ecuación 7.

$$n = 2k + 2K + m \quad [7]$$

Dónde:

2^k = número de puntos factoriales

$2k$ = número de puntos axiales.

m = número de repeticiones del punto central.

Los tratamientos se asignarán de la siguiente forma:

$2^k = 2^2 = 4$ puntos factoriales.

$2k = 2 \times 2 = 4$ puntos axiales.

$m = 3$ repeticiones del punto central.

Total = 11 unidades experimentales

Control. El punto axial negativo se tomó como control porque representa el valor máximo de almidón de papa en este estudio. La amplitud en el rango de las variables se determinó en base a las pruebas preliminares y literatura consultada. Para analizar los resultados se usó un modelo que describe el comportamiento de la variable dependiente (Y_i) o respuesta, en función de las variables independientes (X^k). La respuesta fue evaluada en función de los niveles en que los factores son combinados. Definida por (Gutiérrez y De la Vara 2008) con la ecuación 8.

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad [8]$$

Para predecir el comportamiento de cada variable se realizó un análisis de regresión ajustada con un polinomio cuadrático con las variables (X_k) para cada respuesta (Y) representado en la ecuación 9.

$$Y_i = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{12}X_1X_2 + \varepsilon \quad [9]$$

Dónde:

Y_i = Función respuesta;

X_1, X_2 = Valores de las variables independientes;

B_0 = Coeficiente relativo a la interpretación del plan con la respuesta en el eje;

B_1, B_2 = Coeficientes lineales estimados por el mínimo cuadrado;

B_{11}, B_{22} = Coeficientes de variables cuadráticas;

B_{12}, B_{22} = Coeficiente de interacción entre las variables independientes;

ε = Error experimental.

El cuadro 2 presenta los niveles codificados (-1, 0, +1) y los valores axiales ($-\alpha$ y $+\alpha$) de las variables independientes del experimento.

Cuadro 2. Niveles codificados de variables independientes en el estudio.

Variables independientes	Niveles				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
%Rastrojo de maíz (X_1)	0.00	3.00	10.00	17.00	20.00
%Glicerol (X_2)	3.00	4.00	6.50	9.00	10.00

Análisis estadístico.

Para el análisis de las variables codificadas, obtención de los coeficientes de regresión por variables decodificadas y los valores en las curvas de superficie respuesta de la bandeja se realizó con el programa Statistica versión 7.0. Para la aceptación de modelos propuestos se consideró un R^2 mínimo de 0.60, una probabilidad <0.10 y una prueba F para establecer un modelo de regresión predictivo, los valores menores a 0.60 son considerados tendenciosos (Chariguamán 2015). Para evaluar la interacción en el tiempo de los tratamientos en tendencia de biodegradabilidad de la bandeja se utilizó un Diseño Completamente al Azar con una separación de medias Duncan y un nivel de significancia de 95%, usando el programa estadístico ‘Statistical Analysis System’ (SAS versión Windows 9.4®).

En el cuadro 3 se observan los valores reales y codificados del diseño experimental con dos variables independientes: porcentaje de glicerol y relación rastrojo de maíz con almidón de papa. Las variables dependientes fueron: solubilidad en agua expresada en porcentaje, espesor en milímetros, color en delta E, adhesividad en Newton, dureza en Newton, perforación como: tensión en MPa y fracturabilidad en Newton.

Cuadro 3. Diseño experimental.

Tratamientos	Niveles codificados		Niveles reales de variables	
	% Rastrojo de maíz	% Glicerol	% Rastrojo de maíz	% Glicerol
1	-1.00	-1.00	3	4.00
2	-1.00	1.00	3	9.00
3	1.00	-1.00	17	4.00
4	1.00	1.00	17	9.00
5 (b)	-1.41	0.00	0	6.50
6	1.41	0.00	20	6.50
7	0.00	-1.41	10	3.00
8	0.00	1.41	10	10.00
9 ©	0.00	0.00	10	6.50
10 ©	0.00	0.00	10	6.50
11 ©	0.00	0.00	10	6.50

©: Punto central del experimento

(b): Control

Caracterización de la bandeja.

Espesor. El espesor de la bandeja biodegradable se determinó mediante el micrómetro digital Thomas Scientific Traceable®. Se determinaron cinco muestras de 4 x 3 cm aleatorios de cada tratamiento sobre el área de la bandeja obteniendo un promedio entre muestras (Jacometti 2015).

Solubilidad en agua. La solubilidad en agua de la bandeja se determinó con la metodología usada por (Carvalho 2015) propuesta y modificada. Las muestras se cortaron en forma rectangular de 4 x 2 cm y previamente pesadas, a continuación, se colocaron en frascos de 100 ml con 50 ml de agua destilada. Las muestras fueron agitadas lentamente a 25 °C por 24 h, posteriormente se retiraron y se secaron a 105 °C ± 1 °C durante 24 horas en un horno de convección. La solubilidad se identificó como la diferencia entre peso inicial (PI) y peso final no solubilizado (PF) de la muestra, detallado en la fórmula 10.

$$\% \text{ Solubilidad} = \left(1 - \left(\frac{PI-PF}{PI} \right) \right) \times 100 \quad [10]$$

Color. El color de la bandeja se determinó mediante Colorflex Hunterlab® en escala L*, a* y b*, en una placa de vidrio de tres centímetros de diámetro con muestras de 4 x 3 cm. Se realizó un promedio de los puntos centrales en las tres escalas y se definió como estándar para la diferencia total de color entre tratamientos. Determinada en la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad [11]$$

Delta E (ΔE) es el resultado de la raíz cuadrática de la suma de la diferencia de luminosidad (ΔL), matiz verde-rojo (Δa), matiz azul-amarillo (Δb) y un estándar (Alcántara sf). Donde:

L= luminosidad, cero equivale a negro y 100 equivale a blanco.

a= (-80 a cero= verde, cero a 100= rojo).

b= (-100 a cero= azul, cero a 100= amarillo).

ΔE = diferencia de la muestra y el promedio de las repeticiones.

Propiedades mecánicas. Se definió por interés del experimento el estudio de las propiedades mecánicas antes, en solución filmogénica determinando la fuerza de adhesividad y después, como bandeja determinando dureza y perforación. Los análisis se realizaron en el Texturómetro CT3 4500 con cuatro repeticiones por tratamiento.

Dureza. La dureza en la solución filmogénica se representó como la adhesividad con una fuerza máxima durante el tiempo de compresión expresado en Newton, previo al tratamiento térmico (Igor y Velasco 2010), posteriormente se caracterizó el cambio presentado en la bandeja con la aplicación de calor y presión.

Perforación. La resistencia específica a la fuerza y ruptura se define por pruebas de deformación con la metodología establecida por (Gontard *et al.* 1993), (Vicentini 2003) adaptada. La resistencia máxima se determinó como tensión de la bandeja, fuerza específica para romper la muestra con adición de fibra (Deviagi 2013). Se establecieron muestras en forma de bloque de 4 cm de largo, 1 cm de ancho y 1.5 cm de profundidad a una velocidad de 0.1 cm/s, con cuatro repeticiones en cada tratamiento. La fracturabilidad se determinó como la dureza requerida para romper la muestra con una magnitud relacionada directamente con ruptura o resistencia al impacto (Coreño y Méndez 2010).

Degradación. El área para degradación se estableció acorde a la metodología propuesta por (Lopez *et al.* 2014) modificada por (Chariguamán 2015). Cada muestra se colocó en

una bolsa de malla rotulada como tratamiento-repetición y enterradas en un boquete de 60×30 cm a una profundidad de 15 cm colateral al laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ). Las muestras se cortaron en forma rectangular 6×4 cm y para la cuantificación del área se utilizó el programa ImageJ Fiji 1.46. El período de degradación se determinó por la norma ASTM D 5488-944 (ASTM 2013) en un medio húmedo durante 40 días.

Las condiciones climáticas como temperatura, humedad relativa (% HR) y precipitación no fueron controladas, sin embargo, se monitorearon con la estación meteorológica de Zamorano durante el estudio. Las características fisicoquímicas del suelo, como: humedad, pH, materia orgánica, textura y relación carbono-nitrógeno se realizaron en el Laboratorio de suelos de Zamorano en el año 2015. Los análisis de materia orgánica y pH se repitieron el presente año, por su efecto significativo en el crecimiento de bacterias, mohos y levaduras. Los organismos encontrados en las muestras fueron identificados en las instalaciones del laboratorio de entomología de Zamorano. Para la realización del estudio se colocaron seis muestras de cada tratamiento el día cero, con un total de ocho calicatas y cada cinco días se tomaron datos de una calicata hasta completar los 40 días sin interrumpir el proceso de biodegradación de la bandeja.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la fibra soya, rastrojo de maíz y almidón de papa.

Fibra cruda en maíz y soya. El incremento del rendimiento mecánico en compósitos de almidón y fibra, fue atribuido a la similaridad estructural del almidón que permite la formación de interacciones entre la matriz polimérica y la fracción fibrosa (Vercelheze 2011) compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina. Es necesario recalcar estudios que consideraron la cantidad de lignina acorde al tipo de biomasa, la composición estructural del tallo de maíz y el estado de madurez del cultivo (Treviño *et al.* 2011). El cuadro 4 indica el porcentaje de fibra cruda presente en la fibra de maíz concordando con los parámetros estudiados por (Holgado *et al.* 2010), de un $32.30 \pm 1.03\%$ en hojas y tallo.

Análisis de fibra neutro, fibra ácida y lignina ácido detergente determinaron un 47.74% celulosa, 19.77% hemicelulosa y 8.09% de lignina para maíz híbrido (Chariguaman y Cevallos 2016), otros estudios obtuvieron 45% celulosa, 25% hemicelulosa y 27% lignina (El Hage *et al.* 2010). Por otra parte, resultados por duplicado del método oficial en colaboraciones de estudios de la técnica de bolsa de filtro para fibra cruda determinaron un total de 9.60% para soya (ANKOM 2006) y 10.72% de fibra cruda de soya en los resultados. En estudios previos se determinó que este proceso limpia, mejora y modifica la superficie de la fibra entre la fibra natural y la matriz polimérica (Mohanty *et al.* 2001).

Cuadro 4. Análisis de fibra cruda en rastrojo de maíz y fibra de soya.

Muestra	Fibra cruda (%)	CV (%)
Fibra de soya	10.72	2.59
Fibra de maíz	31.68	4.17

CV: Coeficiente de variación por triplicado de la muestra.

Granulometría. El análisis de granulometría fue clave para el manejo del compósito, relacionada a la compresión de partículas y porosidad de la bandeja (De la Cruz *et al.* 2015) con una relación directamente proporcional al tamaño y compresión entre partículas. El cuadro 5 presenta la distribución granulométrica de la fibra de soya manteniéndose en los primeros tamices con un tamaño de partícula de 850 a 600 μm y un bajo porcentaje de retención de 0.80% en 150 μm . De acuerdo a la FAO, la fibra de soya posee una granulometría mayor que la harina gruesa de 10 a 20 mesh (1250-600) y media de 20 a 40 mesh (600-300 μm) (FAO 2011).

Cuadro 5. Distribución granulométrica de la fibra de soya.

Tamiz	Peso retenido por tamiz (gr)	% Retenido por tamiz
NO. 20 (850 μ m)	37.20	74.39%
NO. 30 (600 μ m)	9.60	19.19%
NO. 40 (425 μ m)	2.10	4.20%
NO. 60 (250 μ m)	0.70	1.40%
NO. 100 (150 μ m)	0.40	0.80%
Bandeja	0.00	0.00%

El cuadro 6 presenta la distribución granulométrica del rastrojo de maíz con un tamaño de partícula mayor a 850 μ m y un porcentaje de retención por tamiz de 99.59 y 0.40% en 600 μ m. El rastrojo se obtuvo de hojas y tallo de maíz, obteniendo un material más lignificado con un tamaño de partícula de 2 mm o 20 mesh, la caracterización se realizó en base a la composición centesimal natural del maíz como porcentaje de azúcares solubles, lignina, hemicelulosa y celulosa (Jacometti 2015) modificada. Para uniformidad del material estudios recomiendan utilizar un tamaño de 45 mesh o 0.35 mm (Deviagi 2013).

Cuadro 6. Distribución granulométrica del rastrojo de maíz.

Tamiz	Peso retenido por tamiz (gr)	% Retenido por tamiz
NO. 20 (850 μ m)	49.80	99.59%
NO. 30 (600 μ m)	0.20	0.40%
NO. 40 (425 μ m)	0.00	0.00%
NO. 60 (250 μ m)	0.00	0.00%
NO. 100 (150 μ m)	0.00	0.00%
Bandeja	0.00	0.00%

El cuadro 7 presenta el porcentaje de retención por tamiz para almidón de papa de 73.79% con un tamaño de partícula menor a 150 μ m relacionado al estudio realizado por Stasiak *et al.* (2013) con un medidor de partículas infrarrojo con un tamaño de partícula menor a 110 μ m, en almidón de papa en base seca.

Cuadro 7. Distribución granulométrica del almidón de papa.

Tamiz	Peso retenido por tamiz (gr)	% Retenido por tamiz
NO. 20 (850 μ m)	0.10	0.20%
NO. 30 (600 μ m)	0.70	1.40%
NO. 40 (425 μ m)	1.00	2.00%
NO. 60 (250 μ m)	3.90	7.79%
NO. 100 (150 μ m)	7.40	14.79%
Fondo	36.90	73.79%

Índice de solubilidad en agua e índice de absorción de agua.

El método estimó la cantidad de material extraído por el agua, dividido en dos grupos, el primer grupo referido a la composición de la materia prima, tamaño de partícula y proceso de molienda; y el segundo grupo por condiciones aplicadas al material (Oikoomou y Krokida 2011). SUPERB® incrementó la flexibilidad, textura, rendimientos de procesamiento, capacidad de ligar y disolverse en agua. La capacidad de absorción de agua se relaciona a las proteínas y cantidad de aminoácidos presentes. El índice de absorción de agua en fibra de soya fue de 3.162 g/g materia seca, debido a su composición química (30% proteína) (ADM 2017). Estudios en características fisicoquímicas y funcionales de la soya relacionan valores de 2.10 g/g materia seca con los resultados obtenidos en absorción de agua (Chaparro *et al.* 2012). El índice de solubilidad de agua obtenido fue de 39.11%, resultados cercanos a 25.57% en estudios de snacks con fibra de soya (Mohy *et al.* 2009), ambos índices presentados en el cuadro 8. Sin embargo, la disminución en ISA pudo presentarse por un porcentaje de proteína menor utilizado del 20% (Baú *et al.* 2014).

Cuadro 8. Composición de la fibra de soya.

Composición	Fibra de soya (%)	CV (%)
ISA %	39.11	9.83
IAA g gel/g materia seca	3.16	6.79

CV: Coeficiente de variación por triplicado de la muestra.

ISA: Índice de solubilidad en agua.

IAA: Índice de absorción en agua.

El rastrojo de maíz obtuvo un índice de solubilidad en agua de 0.13%, atribuido a la presencia de fibra insoluble. El cuadro 9 presenta el coeficiente de variación del 10.81%, debido a la heterogeneidad del material, constituido por mazorca, tallo y hojas obtenidas en campo, con diferencias en su composición química. El índice de absorción en agua del rastrojo de maíz fue el más alto de las tres materias primas con un 9.70%, estudios con fibras de bagazo de caña mostraron la hidratación como propiedad físico-química principal en fibras, caracterizadas por la presencia de celulosa, hemicelulosa y lignina (Lea 2013). Factores como la tendencia hidrofílica, tamaño de partícula y fuerza de centrifugación influyeron directamente en el índice de absorción (Seibel y Beléia 2009). Otros residuos agroindustriales como bagazo de malta ($3.68 \pm 0.08\%$), indicaron que las fibras vegetales poseen una IAA mayor a las fibras de cereales.

Cuadro 9. Composición de rastrojo de maíz.

Composición	Fibra de maíz (%)	CV (%)
ISA %	0.13	10.81
IAA g gel/g materia seca	9.70	4.22

CV: Coeficiente de variación por triplicado de la muestra.

ISA: Índice de solubilidad en agua.

IAA: Índice de absorción en agua.

El cuadro 10 presenta el índice de solubilidad en agua (ISA) para almidón de papa de 0.47%, estudios previos relacionan directamente la cantidad de amilosa y amilopectina en productos extruidos con almidón de papa con un ISA del 0.70% (Oikoomou y Krokida 2011). La composición del almidón de arroz es cercana a la composición del almidón de papa con 27% amilosa y 73% amilopectina donde determinaciones de la composición química y física del pulido de arroz, encontraron un ISA de 1.36 g/g de materia seca (Rodríguez 2007) cercano a 1.86g/g de materia seca obtenidos en el estudio.

Cuadro 10. Composición del almidón de papa

Composición	Almidón de papa (%)	CV (%)
ISA %	0.47	7.32
IAA g gel/g materia seca	1.86	2.99

CV: Coeficiente de variación por triplicado de la muestra.

ISA: Índice de solubilidad en agua.

IAA: Índice de absorción en agua.

Espesor. El espesor mostró regiones cristalinas más compactas y regiones amorfas más voluminosas (Oliveira *et al.* 2011). El cuadro 11 presenta los tratamientos tres, seis y puntos centrales con un mayor espesor y una cantidad >10% de rastrojo de maíz. Los espesores de las bandejas variaron acorde la proporción de rastrojo de maíz y fueron similares a los presentados por (Jacometti 2015) con proporciones de 10 y 15% de fibra de banano pero menores en las bandejas con bagazo de malta (Ivano 2013) y celulosa (Salgado *et al.* 2008). El tamaño de partícula del material se determinó como uno de los factores que afectaron directamente el grosor del material y las diferencias de espesor en el punto central se atribuyeron al molde utilizado.

Los tratamientos con una cantidad $\leq 10\%$ de rastrojo de maíz mostraron un comportamiento similar en el espesor de bandejas biodegradables de almidón de yuca y fibras de caña de azúcar con 0.75 mm (Vercelheze 2011). En el estudio de las propiedades físicas de espuma con almidón y fibra determinó que bandejas provenientes de cereales como maíz, son más densas que las bandejas de almidón de origen de tubérculos (Glenn *et al.* 2001). A su vez, en espumas de almidón de yuca se reportó que el espesor de las bandejas aumentaba con la adición de fibras (Carr *et al.* 2006) coincidiendo con resultados del tratamiento control.

Cuadro 11. Efecto del rastrojo de maíz y glicerol en el espesor de la bandeja.

Tratamiento	Rastrojo de maíz (%)	Glicerol (%)	Espesor (mm) ± DE
1	3.00	4.00	0.60 ± 0.03
2	3.00	9.00	0.75 ± 0.03
3	17.00	4.00	2.80 ± 0.02
4	17.00	9.00	1.81 ± 0.03
5	0.00	6.50	0.77 ± 0.03
6	20.00	6.50	2.20 ± 0.02
7	10.00	3.00	2.05 ± 0.02
8	10.00	10.00	1.71 ± 0.02
9	10.00	6.50	2.26 ± 0.05
10	10.00	6.50	1.94 ± 0.05
11	10.00	6.50	1.87 ± 0.05

± DE: Desviación estándar por triplicado de la muestra en cada tratamiento.

Los resultados estadísticos en el cuadro 12 como intercepto, la variable independiente lineal relación rastrojo de maíz: almidón X_1 y cuadrática X_1^2 mostraron significancia a una probabilidad <0.10 . El coeficiente múltiple de determinación R^2 demostró que el 88.54% de las variables se ajustaron al modelo y el 11.46% no se ajustaron formando parte del error experimental. El F calculado fue mayor al F tabular y no presentó significancia en la falta de ajuste, determinando un modelo predictivo sobre la espesura en las bandejas (Thompson 1982, Rocha 2009). Por otra parte, no se generó la gráfica por la falta de interacción de ambas variables independientes en la variable respuesta espesor.

La ecuación 12 se generó de los resultados obtenidos en el cuadro 12 para predecir el comportamiento de las variables significativas sobre la espesura del material a partir de la variable independiente lineal y cuadrática porcentaje rastrojo de maíz.

$$\text{Espesor (mm)} = 2.029 - 0.661X_1 - 0.319X_1^2 \quad [12]$$

Cuadro 12. Coeficientes de regresión y significancia de un modelo de regresión polinomial aplicada en el espesor de la bandeja.

Factores	Coeficientes de regresión	Significancia
Intercepto	2.03E+00	3.52E-03 *
X₁	6.61E-01	1.23E-02 *
X₁²	-3.19E-01	6.83E-02 *
X₂	-4.36E-02	6.15E-01 ^{NS}
X₂²	-1.19E-01	3.09E-01 ^{NS}
X₁×X₂	-2.84E-01	1.13E-01 ^{NS}
Falta de ajuste		2.21E-01 ^{NS}
R²		0.88
F: Calculado		16.46
F: Tabular		3.11

X₁: Rastrojo de maíz (%)

X₂: Glicerol (%)

* Significativo

^{NS} No significativo

La variable respuesta espesor generó una interacción con la variable independiente relación rastrojo de maíz y almidón de papa en forma lineal y cuadrática. La cual fue representada en la figura 3 de forma bidimensional presentando una relación inversamente proporcional.

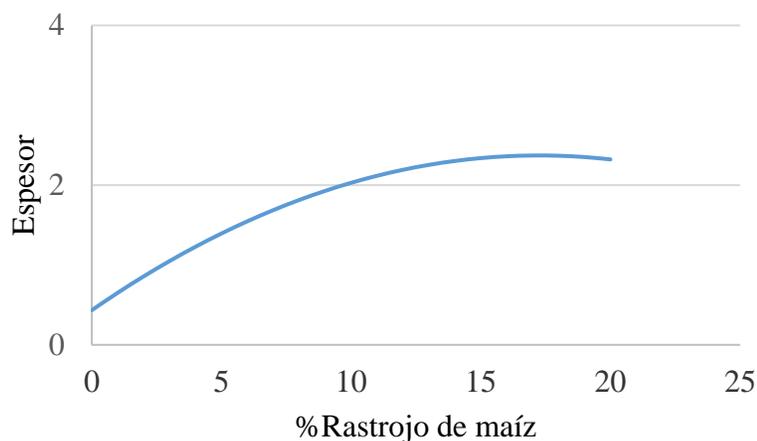


Figura 3. Efecto de la variable independiente rastrojo de maíz en el espesor de la bandeja.

Solubilidad en agua. El cuadro 13 presenta el porcentaje solubilizado en agua de la bandeja, con un máximo de material solubilizado de 83.76% perteneciente al tratamiento ocho, resultados relacionados al estudio de Torres *et al.* (2013). A pesar de las repeticiones del punto central, se presentaron diferencias atribuidas al espesor de cada muestra, contenido de amilopectina y un menor tamaño del gránulo, facilitando la entrada del agua a los espacios intermoleculares que aumentaron la solubilidad de los polímero e interacción

de las moléculas con el agua. El tratamiento menos solubilizado obtuvo 62.83% atribuido al punto axial negativo o tratamiento siete, hipotéticamente se relacionó a la mínima cantidad de glicerol, puesto que la presencia de los tres grupos hidroxilos en la estructura del glicerol, vuelve más soluble el material (Souza *et al.* 2012).

Cuadro 13. Capacidad de solubilidad en agua de la bandeja biodegradable con rastrojo de maíz y glicerol.

Tratamiento	Rastrojo de maíz (%)	Glicerol (%)	Solubilidad en agua (%) ± DE
1	3.00	4.00	75.98 ± 2.50
2	3.00	9.00	72.60 ± 4.83
3	17.00	4.00	76.44 ± 3.14
4	17.00	9.00	77.91 ± 0.77
5	0.00	6.50	76.80 ± 3.34
6	20.00	6.50	81.57 ± 1.24
7	10.00	3.00	62.83 ± 4.18
8	10.00	10.00	83.07 ± 2.76
9	10.00	6.50	78.76 ± 6.31
10	10.00	6.50	81.03 ± 2.03
11	10.00	6.50	74.29 ± 6.17

± DE: Desviación estándar por triplicado de la muestra en cada tratamiento.

La variable solubilidad en el cuadro 14 mostró la ausencia de significancia en los factores, imposibilitando la generación de una ecuación en la solución óptima (Thompson 1982). Sin embargo, estudios demostraron que la naturaleza hidrofílica del glicerol aumenta la solubilidad en agua de las bandejas (Stoffel 2017).

Cuadro 14. Coeficientes de regresión y significancia de un modelo de regresión polinomial aplicada en la solubilidad de la bandeja.

Factores	Coeficientes de regresión	Significancia
Intercepto	7.90E+01	1.98E-03 ^{NS}
X₁	1.56E+00	5.44E-01 ^{NS}
X₁²	3.40E-01	9.07E-01 ^{NS}
X₂	2.45E+00	3.73E-01 ^{NS}
X₂²	-4.03E+00	2.57E-01 ^{NS}
X₁×X₂	1.21E+00	7.30E-01 ^{NS}
Falta de ajuste		6.60E-01 ^{NS}
R²		0.61

X₁: Rastrojo de maíz (%)

X₂: Glicerol (%)

* Significativo

^{NS} No significativo

Color. El color como característica en la bandeja, representa una parte fundamental, por los tipos de materias primas utilizados (Rocha 2009). Las diferencias presentadas en color se atribuyeron a reacciones de maillard y caramelización por la presencia de proteínas y carbohidratos en la matriz polimérica dado la aplicación de altas temperaturas (Jacometti 2015). Las adiciones de fibras en matrices de almidón disminuyeron la luminosidad de los compósitos y aumentaron el índice a* y b*. El cuadro 15 muestra los resultados de la variable respuesta donde el tratamiento control obtuvo la mayor diferencia total de color entre tratamientos por su alta luminosidad con 78.23. A su vez, coinciden con el estudio realizado por (Vercelheze 2011) con una luminosidad de 74.62 y una mínima diferencia atribuida hipotéticamente a la adición de fibra de soya. Los puntos centrales fueron los más próximos entre sí, con una leve diferencia de sensación en color, junto a los primeros dos tratamientos con 3.36 dado la cantidad de fibra y glicerol en los tratamientos. Por otra parte, la variable respuesta aumentó gradualmente conforme la cantidad de fibra, siendo notorio en el tratamiento tres y seis. La intensidad de la diferencia total del color se vio afectada directamente por los matices y la luminosidad de cada tratamiento, en el cuál las muestras más alejadas del estándar presentaron diferencias evidentes en color (ISO 2004).

Cuadro 15. Efecto del rastrojo de maíz y glicerol en el color de la bandeja biodegradable.

TRT	RDM (%)	Glicerol (%)	Color			
			L*	a*	b*	ΔE
1	3.00	4.00	53.50 ± 3.34	9.20 ± 1.00	24.25 ± 1.91	3.36 ± 1.22
2	3.00	9.00	47.59 ± 0.72	10.04 ± 0.22	24.47 ± 0.57	3.34 ± 0.38
3	17.00	4.00	56.42 ± 1.23	7.17 ± 0.16	22.05 ± 0.41	6.35 ± 0.21
4	17.00	9.00	49.37 ± 0.79	8.37 ± 0.07	22.44 ± 0.14	1.30 ± 0.16
5	0.00	6.50	78.23 ± 1.51	0.89 ± 0.25	18.70 ± 1.28	29.28 ± 0.35
6	20.00	6.50	45.49 ± 1.68	9.22 ± 0.34	23.03 ± 0.48	4.90 ± 1.23
7	10.00	3.00	51.53 ± 1.54	7.91 ± 0.59	21.25 ± 1.08	2.44 ± 0.58
8	10.00	10.00	49.04 ± 2.17	8.65 ± 0.34	22.79 ± 0.34	1.39 ± 1.12
9	10.00	6.50	48.29 ± 0.37	9.09 ± 0.22	23.84 ± 0.44	2.19 ± 0.20
10	10.00	6.50	48.77 ± 0.51	10.06 ± 0.38	25.72 ± 0.49	3.26 ± 0.43
11	10.00	6.50	50.35 ± 0.55	7.78 ± 0.30	21.79 ± 0.28	1.68 ± 0.31

±DE: Desviación estándar por triplicado de la muestra en cada tratamiento.

TRT: Tratamiento.

RDM: Rastrojo de maíz.

La variable independiente rastrojo de maíz aumentó acorde una cantidad mayor de fibra mostrado en el cuadro 16. Los factores como intercepto, variable lineal y cuadrática de relación rastrojo de maíz: almidón, variable cuadrática de porcentaje de glicerol, interacción entre variables y la falta de ajuste se identificaron como significativos por el programa. El R² indicó el 64% de los datos ajustados al modelo propuesto y el 36% de los valores no adaptados debido al error experimental y presentó un F calculado mayor al F tabular determinando el modelo como tendencioso (Thompson 1982; Rocha 2009).

Cuadro 16 Coeficientes de regresión y significancia de un modelo de regresión polinomial aplicada en el color de la bandeja.

Factores	Coeficientes de regresión	Significancia
Intercepto	2.38E+00	3.60E-02 *
X₁	-4.19E+00	4.57E-03 *
X₁²	5.88E+00	3.30E-03 *
X₂	-8.20E-01	1.02E-01 ^{NS}
X₂²	-1.71E+00	3.70E-02 *
X₁×X₂	-1.26E+00	8.88E-02 *
Falta de ajuste		8.43E-03 *
R²		0.64
F: Calculado		37.69
F: Tabular		5.27

X₁: Rastrojo de maíz (%)

X₂: Glicerol (%)

* Significativo

^{NS} No significativo

Se generó la ecuación 13 y la figura 4, indicando un efecto sinérgico de las variables reales y dependiente. El delta de color (ΔE) determinó que a menor proporción de rastrojo de maíz en relación al almidón de papa y glicerol, brinda una mejor apariencia a la bandeja.

$$\text{Color } (\Delta E) = 2.379 - 4.190X_1 + 5.877X_1^2 - 1.709X_2^2 - 1.258X_1 \times X_2 \quad [13]$$

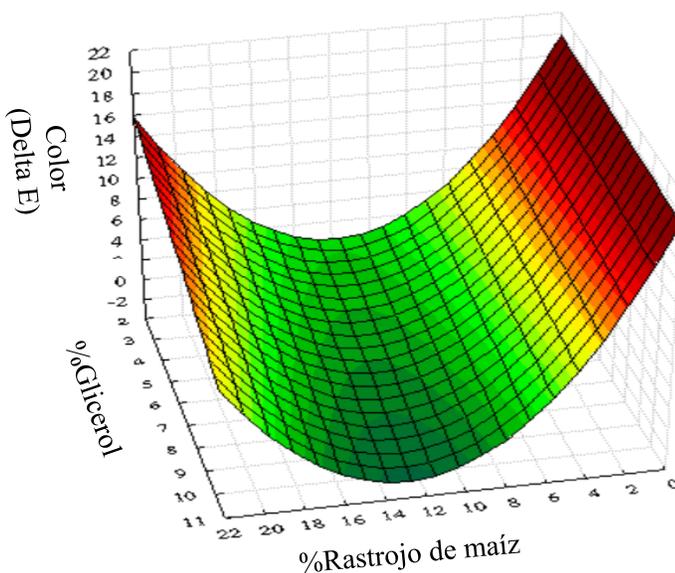


Figura 4. Efecto de las variables independientes rastrojo de maíz y glicerol, en el color de la bandeja.

Propiedades mecánicas.

Dureza. La energía absorbida de la muestra antes de que se destruya, describe el comportamiento de las fibras como un agente reforzador del material. Los resultados del cuadro 17 indicaron una reducción de la dureza de las bandejas con el aumento de la cantidad de maíz (Espina *et al.* 2016), que concuerda con (Cinelli *et al.* 2006); donde la fibra de maíz actuó como un agente diluyente de almidón inhibiendo la dureza. Diversos factores son considerados para la explicación del comportamiento de los tratamientos, por un lado, morfología y tamaño y de la fibra; acompañado hipotéticamente de una mala distribución en la matriz y la composición de fibra de soya adicionada. Cabe recalcar que la adición de fibras abundantes en celulosa a la matriz polimérica mejora las propiedades mecánicas por ende el incremento en dureza en las bandejas (Lopez *et al.* 2014).

Cuadro 17. Efecto del rastrojo de maíz y glicerol en la dureza de la bandeja biodegradable.

Tratamiento	Relación rastrojo: almidón (%)	Glicerol (%)	Dureza (N) \pm DE
1	3.00	4.00	19.11 \pm 4.71
2	3.00	9.00	25.57 \pm 2.07
3	17.00	4.00	33.18 \pm 4.36
4	17.00	9.00	28.54 \pm 4.05
5	0.00	6.50	48.43 \pm 1.10
6	20.00	6.50	25.21 \pm 1.81
7	10.00	3.00	38.78 \pm 4.52
8	10.00	10.00	32.92 \pm 5.95
9	10.00	6.50	30.36 \pm 3.29
10	10.00	6.50	27.36 \pm 6.25
11	10.00	6.50	30.18 \pm 2.02

\pm DE: Desviación estándar por triplicado de la muestra en cada tratamiento.

El cuadro 18 presenta los factores significativos de las variables independientes para dureza en función de los niveles combinados. La interacción de ambas variables muestra que la asignación de valores de una variable influye a la otra variable independiente en función de la variable respuesta. El R^2 obtenido en dureza de la bandeja fue de 13.11%, determinando que el 86.89% de los datos no se ajustaron al modelo y no se debe considerar al análisis. La prueba F con nivel de significancia del 10% generó un F calculado de 23.17 > 3.45 F tabular y la falta de ajuste se mostró como significativa (Molina y Rodrigo 2009). Por tanto, la variable respuesta dureza desarrollo un comportamiento tendencioso.

Cuadro 18. Coeficientes de regresión y significancia de un modelo de regresión polinomial aplicada en la dureza de la bandeja.

Factores	Coefficientes de regresión	Significancia
Intercepto	2.93E+01	1.10E-03 *
X₁	-1.97E+00	8.00E-02 ^{NS}
X₁²	1.33E+00	2.02E-01 ^{NS}
X₂	-8.08E-01	3.07E-01 *
X₂²	8.43E-01	3.56E-01 ^{NS}
X₁×X₂	-2.77E+00	8.09E-02 *
Falta de ajuste		1.63E-02 *
R²		0.13
F: Calculado		23.17
F: Tabular		3.45

X₁: Rastrojo de maíz (%)

X₂: Glicerol (%)

* Significativo

^{NS} No significativo

El efecto de las variables independientes en la variable respuesta dureza se representó en la figura 5, a menor cantidad de glicerol y rastrojo de maíz existe un aumento en la dureza del material. Estudios relacionadas a las propiedades mecánicas concuerdan con los resultados previos, donde, bajas concentraciones de plastificante aumentaron la resistencia y fuerza de ruptura de la matriz polimérica (Oroperaza *et al.* 2016). Por otra parte, caracterizaciones de películas de almidón determinaron que esta materia prima por sí sola reduce la fuerza intermolecular tornando un material más duro (Mali *et al.* 2002).

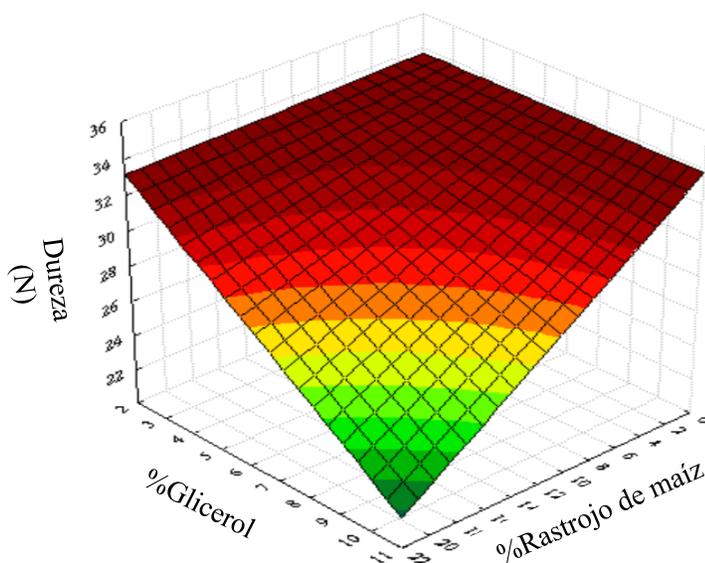


Figura 5. Efecto de las variables independientes rastrojo de maíz y glicerol, en la dureza de la bandeja.

Se generó la ecuación matemática con los valores significativos del coeficiente de regresión, determinado por el intercepto, relación lineal de rastrojo de maíz: almidón y un efecto sinérgico de las variables independientes presentada a continuación.

$$\text{Dureza} = 29.302 - 1.973X_1 - 2.772X_1 \times X_2 \quad [14]$$

Adhesividad. La adhesividad del material es una propiedad reológica importante a escala industrial para el correcto uso de equipos que impulsen la solución filmogénica, evitando obstrucciones en los equipos. Los plastificantes como agua y glicerol formaron un rol importante en la adhesividad de la solución, antes y después de la aplicación de tratamiento térmico y presión. El cuadro 19 presenta los valores bajos de adhesividad a una mayor proporción de rastrojo de maíz y altos para proporciones de rastrojo de maíz $\leq 10\%$. Los resultados coinciden con (Cinelli *et al.* 2006), en el cuál la adición de fibra de maíz incrementó inicialmente el módulo de flexión. Sin embargo, en altas concentraciones dicho módulo se declinó por la sustitución de las fibras reduciendo la cantidad de almidón, induciendo la pérdida de adhesión e irrupción del proceso de formación de poros en la bandeja. El grado de adhesión entre las fibras naturales y la matriz polimérica fue atribuida a la distribución y orientación al azar de los componentes en la solución filmogénica.

Cuadro 19. Efecto del rastrojo de maíz y glicerol en adhesividad de la solución filmogénica.

Tratamiento	Rastrojo de maíz (%)	Glicerol (%)	Fuerza de adhesividad (N) \pm DE
1	3.00	4.00	0.30 \pm 0.01
2	3.00	9.00	0.35 \pm 0.05
3	17.00	4.00	0.23 \pm 0.19
4	17.00	9.00	0.21 \pm 0.24
5	0.00	6.50	0.37 \pm 0.01
6	20.00	6.50	0.17 \pm 0.06
7	10.00	3.00	0.28 \pm 0.03
8	10.00	10.00	0.57 \pm 0.04
9	10.00	6.50	0.71 \pm 0.13
10	10.00	6.50	0.58 \pm 0.06
11	10.00	6.50	0.58 \pm 0.01

\pm DE: Desviación estándar por triplicado de la muestra en cada tratamiento.

El coeficiente de determinación R^2 en el cuadro 20 indicó el 87.29% de los datos ajustados al modelo con un porcentaje de error experimental del 12.71%, una falta de ajuste no significativa y un valor F calculado de 11.86 mayor al F tabular de 3.11. Al cumplir con los tres factores determinados, el modelo se ajustó de carácter predictivo (Thompson 1982).

Cuadro 20. Coeficientes de regresión y significancia de un modelo de regresión polinomial aplicada en adhesividad de la solución filmogénica.

Factores	Coeficientes de regresión	Significancia
Intercepto	6.28E-01	4.89E-03 *
X₁	-6.23E-02	1.47E-01 ^{NS}
X₁²	-1.95E-01	2.60E-02 *
X₂	5.44E-02	1.81E-01 ^{NS}
X₂²	-1.18E-01	6.66E-02 *
X₁×X₂	-1.94E-02	6.61E-01 ^{NS}
Falta de ajuste		3.79E-01 ^{NS}
R²		0.87
F: Calculado		11.86
F: Tabular		3.11

X₁: Rastrojo de maíz (%)

X₂: Glicerol (%)

* Significativo

^{NS} No significativo

La figura 6 se generó en función de las variables independientes con la variable respuesta adhesividad expresada en Newton, a mayor cantidad de glicerol y menor cantidad de fibra produce un efecto directamente positivo en la adhesividad de la solución filmogénica.

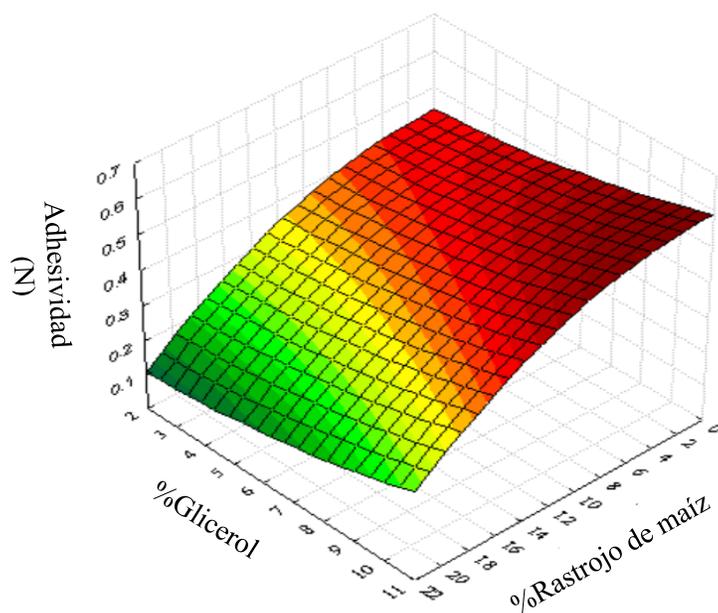


Figura 6. Efecto de las variables independientes rastrojo de maíz y glicerol, en la adhesividad de la solución filmogénica.

La expresión matemática que refleja la adhesividad en la solución filmogénica, se determinó como un modelo cuadrático, que demuestra los factores significativos, las variables independientes relación rastrojo de maíz: almidón y porcentaje de glicerol.

$$\text{Adhesividad} = 0.628 - 0.195X_1^2 + 0.118X_2^2 \quad [15]$$

Tensión. Las propiedades mecánicas de un compuesto cambian con aplicaciones térmicas mejorando su fuerza (Cao *et al.* 2007). Los materiales utilizados en el estudio generan una posible alternativa de empaque para alimentos secos, sin embargo, deben ser mejorados para la utilización en alimentos con un alto contenido de humedad (Reolón y Borges 2010). El cuadro 21 presenta el tratamiento control con la mayor tensión en la bandeja, relacionado al estudio de (Marengo *et al.* 2013), con 13.26 en un ambiente con una humedad relativa de 33% y a medida que aumentaba la humedad relativa la tensión de la bandeja disminuía. Los tratamientos con una baja tensión, se atribuyeron hipotéticamente a la cantidad de amilosa, observando gránulos de almidón en la muestra por su gelatinización incompleta (Deviagi 2013). A su vez, una disminución en la cantidad de glicerol produjo un incremento en la tensión (Lopez *et al.* 2014), como se observó en los tratamientos uno, tres y siete.

Cuadro 21. Efecto de rastrojo de maíz y glicerol en la tensión de la bandeja biodegradable.

Tratamiento	Relación rastrojo: almidón (%)	Glicerol (%)	Tensión	
			(MPa)	(N/cm ²) ± DE
1	3.00	4.00	0.04	4.80 ± 0.56
2	3.00	9.00	0.04	4.80 ± 0.51
3	17.00	4.00	0.06	6.20 ± 1.09
4	17.00	9.00	0.07	7.10 ± 1.01
5	0.00	6.50	0.12	12.10 ± 0.27
6	20.00	6.50	0.04	4.70 ± 0.45
7	10.00	3.00	0.09	9.70 ± 1.13
8	10.00	10.00	0.06	6.20 ± 1.18
9	10.00	6.50	0.03	3.80 ± 0.82
10	10.00	6.50	0.05	5.10 ± 1.15
11	10.00	6.50	0.05	5.00 ± 1.11

±DE: Desviación estándar por triplicado de la muestra en cada tratamiento.

El cuadro 22 presenta los coeficientes de regresión para tensión (MPa) con factores significativos como intercepto, variable independiente lineal y cuadrática relación rastrojo de maíz: almidón, la variable independiente cuadrática porcentaje de glicerol y la falta de ajuste en el modelo. El coeficiente de determinación R² 0.316 estuvo por debajo del límite establecido, por lo tanto, el 68.4% de los datos no se ajustaron al modelo lineal, un F calculado de 12.56 > F tabular de 4.01 y una falta de ajuste significativo. Determinando que dos de los tres factores no cumplen, por lo tanto, el modelo se clasificó como tendencioso.

Cuadro 22. Coeficientes de regresión y significancia de un modelo de regresión polinomial aplicada en la tensión de la bandeja.

Factores	Coeficientes de regresión	Significancia
Intercepto	4.63E-02	8.17E-03 *
X₁	-8.31E-03	8.43E-02 *
X₁²	1.28E-02	5.29E-02 *
X₂	-5.06E-03	1.89E-01 ^{NS}
X₂²	1.04E-02	7.72E-02 *
X₁×X₂	2.25E-03	6.00E-01 ^{NS}
Falta de ajuste		3.72E-02 *
R²		0.31
F: Calculado		12.56
F: Tabular		4.01

X₁: Rastrojo de maíz (%)

X₂: Glicerol (%)

* Significativo

^{NS} No significativo

Los resultados determinaron el comportamiento de los factores sobre la tensión en la bandeja con el intercepto, la variable independiente relación rastrojo de maíz: almidón lineal y la variable independiente porcentaje de glicerol de forma lineal y cuadrática.

$$\text{Tensión (MPa)} = 0.046 - 0.008X_1 + 0.012X_1^2 + 0.010X_2^2 \quad [15]$$

La figura 7 representa la variable respuesta con un efecto en las variables independientes; donde a menor concentración de glicerol y fibra, se da un aumento en la tensión atribuido a la naturaleza del almidón e interacción con los componentes lignocelulósicos de la fibra.

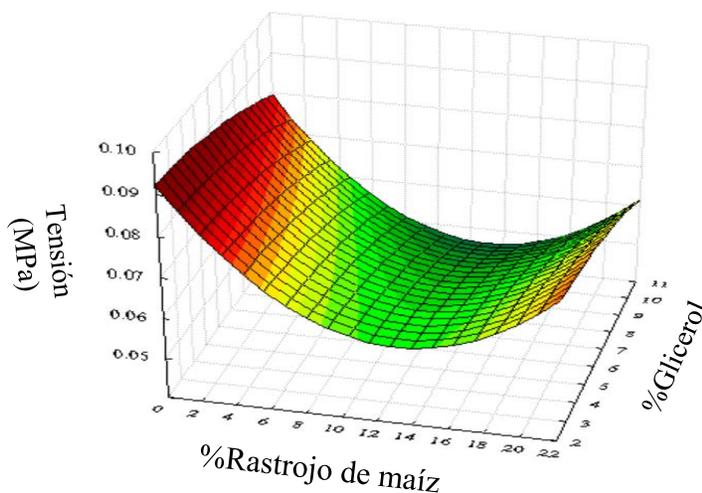


Figura 7. Efecto de las variables independientes rastrojo de maíz y glicerol, en tensión de la bandeja.

Fracturabilidad. La prueba de fracturabilidad se expresa en unidades de fuerza (N) evaluando la integridad de las bandejas durante el esfuerzo. La fracturabilidad evaluó la integridad de las bandejas durante el desplazamiento acorde la cantidad de veces que la fuerza específica ejerció presión (Espina *et al.* 2016). El cuadro 23 presenta los resultados para la variable respuesta fracturabilidad en el cual, el tratamiento cinco, presentó el mayor número de fracturas. Concordando con resultados obtenidos por Marengo *et al.* (2013), con una producción no viable de bandejas a base de almidón, obteniendo materiales de baja flexibilidad. Los materiales con mayor potencial de refuerzo para la aplicación en matrices poliméricas son, bagazo de caña de azúcar, fibra de coco y salvado de soja por la calidad y distribución de celulosa, hemicelulosa y lignina. En el caso de uno de los puntos centrales o tratamiento 10 y el tratamiento seis con mayor cantidad de fibra, la fracturabilidad fue menor, posiblemente por un daño a la integridad de las bandejas o una mala distribución en la matriz (Jang y Lee 2003). Espina *et al.* (2016) menciona que conforme aumentaba la cantidad de fibra, las bandejas eran más débiles.

Cuadro 23. Efecto de la relación rastrojo de maíz: almidón y glicerol en la fracturabilidad de la bandeja.

Tratamiento	Relación rastrojo: almidón (%)	Glicerol (%)	Fracturabilidad (N) ± DE
1	3.00	4.00	18.92 ± 0.06
2	3.00	9.00	22.74 ± 2.60
3	17.00	4.00	32.36 ± 2.03
4	17.00	9.00	28.54 ± 4.05
5	0.00	6.50	47.66 ± 2.59
6	20.00	6.50	25.20 ± 1.80
7	10.00	3.00	35.79 ± 4.52
8	10.00	10.00	32.92 ± 4.23
9	10.00	6.50	30.26 ± 0.86
10	10.00	6.50	27.50 ± 2.15
11	10.00	6.50	28.03 ± 2.55

±DE: Desviación estándar por triplicado de la muestra en cada tratamiento.

El cuadro 24 presenta los factores y coeficientes de regresión para la variable fracturabilidad, con ausencia de significancia en las variables independientes relación rastrojo de maíz: almidón de papa a un nivel de significancia <10%. A su vez, el cuadro mostró trivialidad en los resultados, en el cuál ningún factor fue significativo, por lo tanto, la variable respuesta fracturabilidad se consideró desestimable en el modelo para la optimización de la bandeja. Hipotéticamente relacionado a las variables dureza y tensión ya medidas en la bandeja, es decir, redundante o de bajo impacto, de forma que no logró un efecto relevante en las propiedades mecánicas.

Cuadro 24. Coeficientes de regresión y significancia de un modelo de regresión polinomial aplicada en la fracturabilidad de la bandeja.

Factores	Coeficientes de regresión	Significancia
Intercepto	2.53E+01	2.34E-02 ^{NS}
X₁	-1.57E+00	5.82E-01 ^{NS}
X₁²	3.15E+00	3.87E-01 ^{NS}
X₂	-5.05E-01	8.53E-01 ^{NS}
X₂²	2.11E+00	5.39E-01 ^{NS}
X₁×X₂	-1.91E+00	6.32E-01 ^{NS}
Falta de ajuste		2.19E-01 ^{NS}
R²		0.14

X₁: Rastrojo de maíz (%)

X₂: Glicerol (%)

* Significativo

^{NS} No significativo

Degradabilidad. Los factores implicados en el proceso de biodegradación fueron: humedad, temperatura; pH e índices UV. El cuadro 25 detalla la composición del análisis de suelo realizado por Chariguamán (2015) presentando cambios en la composición química del suelo (Castrillón *et al.* 2006) con efecto significativo del pH en el crecimiento de bacterias, hongos y levaduras. El primer análisis de pH fue de 7.96 tornando un cambio ligeramente menos alcalino a 7.41, una humedad de 4.2% y un aumento de la materia orgánica a 4.55. La alcalinidad del suelo explica su textura franco arcillosa junto a su alto contenido de materia orgánica, ventajoso para el crecimiento de microorganismos. La importancia de los nutrientes esenciales durante el proceso de biodegradabilidad se debió a la relación de retención de agua en el suelo (Bastioli 2006). La baja cantidad de nitrógeno 0.19 y alta relación carbono/nitrógeno 3.03, favoreció la multiplicación microbiana dado la fácil asimilación de cadenas de carbono corto para los microorganismos y reducción de la actividad de protozoarios, predadores principales de bacterias en el suelo (FAO 2006). Los minerales presentes se clasificaron acorde al diámetro de sus partículas: arena, limo y arcilla expresado en porcentaje (Vercelheze 2011). Los suelos con menos de 35% de arcilla poseen alta permeabilidad y baja capacidad de retención de agua (Costa *et al.* 2004), para la mayoría de los microorganismos.

Cuadro 25. Caracterización del análisis de suelo.

Textura	pH	Materia orgánica	N total	Relación C/N	Humedad %
Franco arcilloso	7.41	4.55	0.19	3.03	4.2
Arena(%)					
Limo(%)					
Arcilla(%)					
38					
34					
28					

(Chariguamán 2015) modificado.

En el cuadro 26 se observan los datos monitoreados durante los 40 días del estudio donde la temperatura indujo a las reacciones químicas y aumentó la tasa de crecimiento microbiano, la precipitación incrementa la actividad de agua e inicia la actividad microbiana especialmente en los días 15, 25 y 35. Los efectos de la irradiación UV promovieron reacciones fotoquímicas causando oxidación, disminución del peso molecular del polímero, propiedades mecánicas y el aumento de la biodegradación (Bastioli 2006).

Cuadro 26. Datos de la estación climatológica de Zamorano durante 40 días.

Días	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Índices UV (J/m ²)	Precipitación (mm)
5	23.18 ± 2.88	82.28 ± 10.92	7.21 ± 7.88	0.15 ± 0.84
10	22.83 ± 1.93	87.02 ± 5.71	7.27 ± 7.82	0.05 ± 0.16
15	22.10 ± 3.28	86.51 ± 10.29	6.06 ± 7.82	0.26 ± 0.91
20	22.90 ± 3.52	80.81 ± 10.38	7.04 ± 7.86	0.00 ± 0.00
25	23.51 ± 3.63	81.39 ± 13.54	16.00 ± 7.97	0.60 ± 0.04
30	22.41 ± 2.00	78.29 ± 7.53	7.42 ± 7.57	0.11 ± 0.28
35	22.57 ± 3.22	86.93 ± 9.49	6.26 ± 7.82	0.27 ± 1.29
40	23.52 ± 1.82	88.62 ± 5.38	16.00 ± 7.61	0.14 ± 0.70

Se evaluó el porcentaje de área degradada dado su comportamiento complejo, utilizando los puntos axiales: 0%-20% rastrojo de maíz, 3%-10% glicerol y un punto central de proporciones medias de rastrojo de maíz y glicerol. En el cuadro 27 se muestra una tendencia de biodegradación de los tratamientos en el tiempo iniciando el día cinco con medias estadísticamente significativas predominando el tratamiento 9. Durante los primeros 15 días se mostró la fase de adaptación de los microorganismos dada la disponibilidad del sustrato, donde se observó el crecimiento de hongos en la superficie del material, primeros en iniciar la degradación y activación de la mineralización de componentes complejos como celulosa y lignina (Martins y Marconato 2006). Las bacterias influyen aún más en pH de 8 y 9, mientras que los hongos y levaduras influyen en pH de 5, concordando con la población observada durante el estudio (Castrillón *et al.* 2006). El día 20 del estudio, se identificó un incremento dos veces mayor del área degradada en los puntos axiales versus la última medición y favoreció 11 veces más el punto central con un área degradada del 63.26%, dicha aceleración se relacionó a la precipitación presentada durante esa semana. Sin embargo, el tratamiento cinco se juzgaba como uno de los primeros tratamientos en degradarse dado la cantidad de almidón, fuente rica en carbohidratos y tamaño de partícula (Taiatale *et al.* 2017).

El día 25 muestra claramente la acción de los microorganismos a niveles constantes y el inicio de la fase de desarrollo con diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos y días. Por otra parte, los invertebrados e insectos como colémbolos y larvas de moscas causaron la particularización del material o reducción de tamaño denominado degradación pasiva. Las termitas se alimentaron del material, removiendo los componentes digeribles enzimática, química y mecánicamente, denominada degradación activa (Bastioli 2006). El día 30 presentó un 100% de área degradada para el punto central, atribuido a la

relación rastrojo de maíz: almidón y glicerol e indirectamente mostró que las concentraciones planteadas desde el inicio del estudio obtuvieron la tendencia de biodegradación esperada. Estudios realizados por Cinelli *et al.* (2006) indicaron que la presencia de agua, rastrojo de maíz $\leq 10\%$, elevadas concentraciones de almidón y glicerol $< 10\%$ facilitan la inestabilidad de las interacciones intermoleculares que degradan el material.

El día 40 presentó media con diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos más no entre días. Sin embargo, el segundo tratamiento más degradado fue el punto axial con mayor contenido de rastrojo de maíz dado la atracción de los microorganismos hacia los componentes lignocelulósicos induciendo un rompimiento más acelerado. Y el tratamiento degradado en menor porcentaje fue el punto axial con mayor contenido de glicerol, que a pesar de su capacidad higroscópica en altas concentraciones genera un efecto contrario y brinda un material más compacto (Mali *et al.* 2010). Previa investigación de compostabilidad en empaques biodegradables, conceden una relación inversamente proporcional de biodegradabilidad con las propiedades mecánicas (Dal Bosco 2017). A su vez, la naturaleza hidrofílica del almidón y glicerol vuelve más susceptible el material favoreciendo la degradación por bacterias y hongos (Bergel 2017), en matrices poliméricas con fibras con una notoria colonización de microorganismos dentro de los espacios de la matriz ocupado inicialmente por el almidón (Maran *et al.* 2014)

Cuadro 27. Pérdida de área degradada expresada en porcentaje para bandejas de almidón de papa, rastrojo de maíz y glicerol termoprensadas.

TRT	Porcentaje de área degradada							
	Día 5 Media ± DE	Día 10 Media ± DE	Día 15 Media ± DE	Día 20 Media ± DE	Día 25 Media ± DE	Día 30 Media ± DE	Día 35 Media ± DE	Día 40 Media ± DE
(R 0%) 5 *	0.70 ± 0.63 ^{cZ}	2.86 ± 0.38 ^{cZY}	6.29 ± 1.79 ^{aY}	17.16 ± 1.85 ^{bcX}	47.07 ± 1.02 ^{bW}	63.50 ± 7.64 ^{bV}	66.46 ± 7.22 ^{bV}	66.77 ± 2.88 ^{cV}
(R 20%) 6 **	0.91 ± 0.79 ^{cZ}	3.05 ± 0.56 ^{cZ}	4.88 ± 0.10 ^{aZ}	12.03 ± 8.22 ^{cdY}	22.64 ± 0.78 ^{dX}	36.44 ± 4.57 ^{cW}	31.80 ± 4.24 ^{dW}	79.13 ± 2.27 ^{bV}
(G 3%) 7 +	1.35 ± 1.02 ^{bcZ}	4.71 ± 0.43 ^{abZ}	5.21 ± 0.23 ^{aZ}	20.71 ± 1.46 ^{bY}	36.30 ± 0.55 ^{cX}	32.32 ± 5.91 ^{cY}	44.59 ± 1.09 ^{cW}	75.45 ± 2.56 ^{bV}
(G 10%) 8 ++	1.92 ± 0.61 ^{abZ}	3.87 ± 0.86 ^{bcZ}	2.82 ± 1.14 ^{bZ}	15.26 ± 0.79 ^{bcY}	26.51 ± 0.50 ^{dX}	37.16 ± 8.50 ^{cW}	39.15 ± 1.06 ^{cW}	64.71 ± 1.99 ^{cV}
(R 10%) 9 °	2.39 ± 1.24 ^{aY}	5.04 ± 0.67 ^{aY}	5.50 ± 0.82 ^{aY}	63.59 ± 6.21 ^{aX}	77.16 ± 4.81 ^{aW}	100.0 ± 8.33 ^{aV}	97.31 ± 2.61 ^{aV}	100.0 ± 6.15 ^{aV}
CV (%)	33.28	13.41	15.71	15.20	6.94	6.78	5.19	5.07

CV: Coeficiente de variación; DE: Desviación estándar por triplicado de la muestra en cada tratamiento.

^{a-c}: Medias con letras minúsculas iguales en la misma columna no presenta diferencia estadísticamente significativa entre tratamiento.

^{V-Z}: Medias con letras mayúsculas iguales en la misma fila no presentan diferencia estadísticamente significativa entre día.

*: Control, 0% rastrojo de maíz, 93.50% almidón de papa y 6.5% de glicerol.

** : Tratamiento con 20% rastrojo de maíz, 73.50% almidón de papa y 6.50% de glicerol.

+ : Tratamiento con 10% rastrojo de maíz, 87% almidón de papa y 3% glicerol.

++ : Tratamiento con 10% rastrojo de maíz, 80% almidón de papa y 10% glicerol.

° : Tratamiento con 10% rastrojo de maíz, 83.50% almidón de papa y 6.50% glicerol.

El estudio presentó 12 tratamientos iniciales con cuatro repeticiones del punto central, no obstante, para reducir el error experimental se eliminó un tratamiento central determinado como dato fuera de tipo llevando a cabo una investigación más homogénea. La figura 8 muestra las diferentes concentraciones de rastrojo de maíz, almidón de papa y glicerol obtuvieron diversas tonalidades, el tratamiento control obtuvo un color blanco dado la ausencia de fibra y los demás tratamientos presentaron una tonalidad opaca por la presencia de fibra.

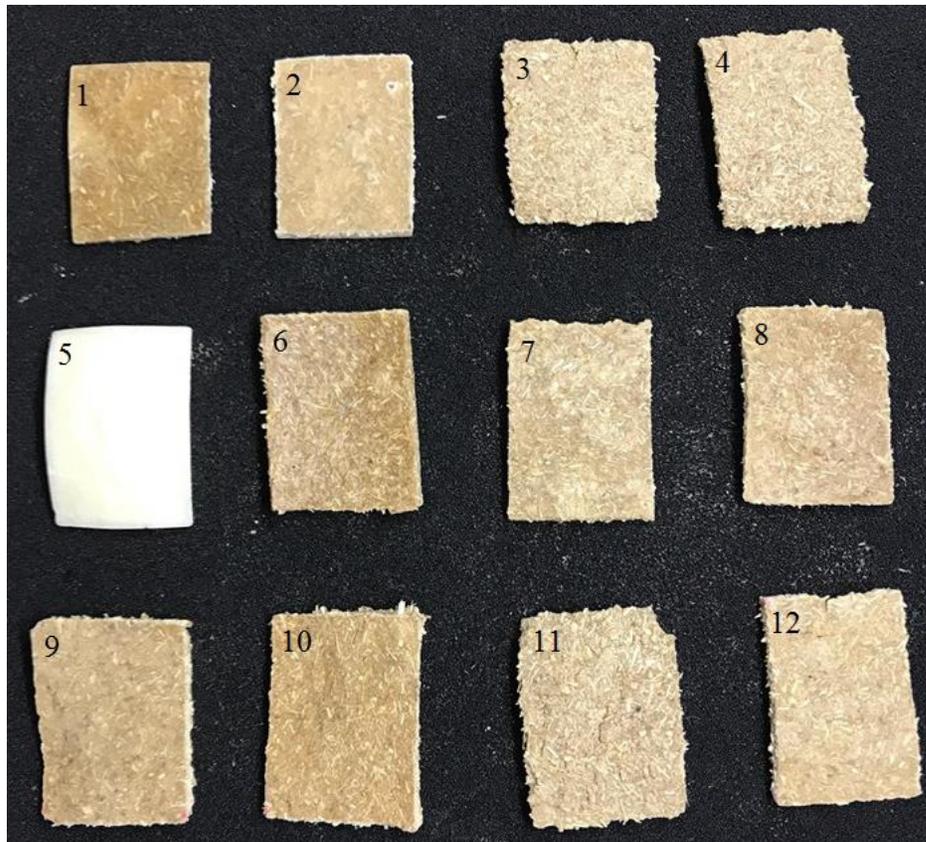


Figura 8. Muestras de los tratamientos para el estudio de biodegradabilidad.

Función de utilidad. La metodología superficie de respuesta, permitió encontrar la combinación óptima de las variables independientes en relación a las variables dependientes a través de 60 simulaciones de las cuales se permitió obtener propiedades mecánicas deseables en una matriz polimérica con fibra, la figura 9 presenta los valores óptimos para la elaboración de una bandeja biodegradable, relación rastrojo de maíz del 2.66%, almidón de papa del 94.34% y glicerol con 3%. Los valores predecibles de cada variable respuesta: color ΔE de 9.07, espesor del 0.57 mm, dureza 31.52 N, fuerza de adhesividad 0.14 N en la solución filmogénica y tensión 0.09 MPa o 9 N/cm².

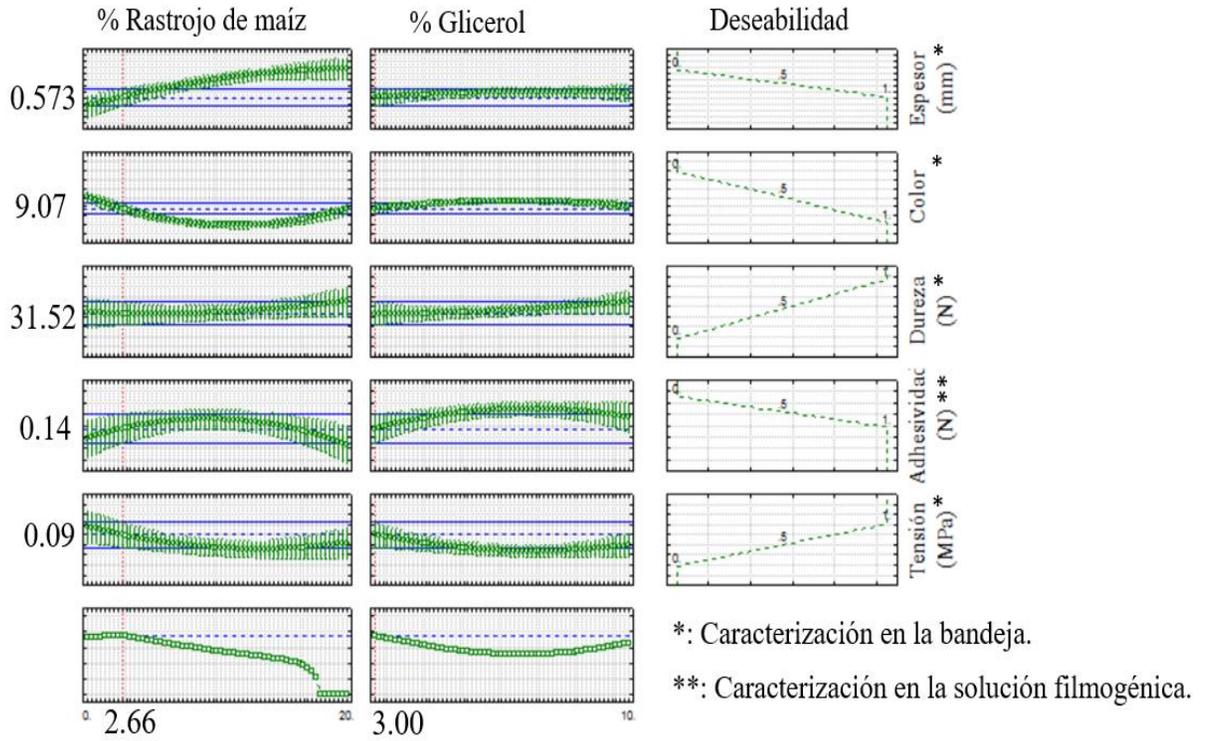


Figura 9. Función de utilidad para la optimización de la bandeja biodegradable.

4. CONCLUSIONES

- La adición de fibra a la matriz polimérica redujo las propiedades mecánicas como dureza, tensión y fracturabilidad de la bandeja debido a la carencia de compuesto celulósico en el rastrojo de maíz.
- Las concentraciones que optimizaron las características físicas de la bandeja fueron 6% de rastrojo de maíz, 84.58% almidón de papa, 9.41% de glicerol.
- Las concentraciones de las variables independientes del punto central obtuvieron una tasa de degradación del 100% en las condiciones estudiadas cumpliendo con la norma ASTM D 5488-944 en un medio húmedo.

5. RECOMENDACIONES

- Utilizar bagazo de caña de azúcar por su mayor contenido de celulosa y hemicelulosa para lograr una matriz polimérica con mejores propiedades mecánicas como tensión, fracturabilidad y dureza.
- Identificar los microorganismos colonizadores de la bandeja biodegradable.
- Extender el estudio de biodegradabilidad en un período establecido por la norma ASTM D 5488-944 en un medio húmedo y un medio seco.
- Evaluar la vida anaquel de la bandeja en condiciones normales.
- Reducir el tamaño de partícula de la fibra.
- Estudiar las propiedades mecánicas de la bandeja biodegradable en un equipo Instron para una mayor precisión y exactitud.
- Analizar los costos para la producción a nivel industrial de bandejas biodegradables.
- Emplear un revestimiento biodegradable en la bandeja para la aplicabilidad en frutas y verduras no climatéricas o alimentos con baja humedad.

6. LITERATURA CITADA

Adeodato M, Altenhofen M, Oliveira L, Masumi M. 2011. Natural-based plasticizers and biopolymer films. *European Polymer Journal*. [consultado 2017 jul 07]. 47(3):254–263. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305710004763>

ADM (Archer Daniels Midland). 2017. SuperB. [consultado 2017 ago 08]. <https://www.adm.com/news/news-releases/adm-further-expanding-specialty-proteins-portfolio>

Alcántara C. sf. Diferencias colorimétricas de los colores base pantone con barnices de sobreimpresión en la industria gráfica. [consultado 2016 sep 27]. <https://es.slideshare.net/CarlosAlcántara/ccolorimetria>

Anderson R. 1982. Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked small grain products. *Cereal chemists Journal*. [consultado 2016 sep 07]. 59(4):265-269. https://www.aaccnet.org/publications/cc/backissues/1982/Documents/chem59_265.pdf

ANKOM. 2006. Crude fiber analysis in feeds by filter bag technique. [consultado 2017 ago 13]. https://agronomy.ifas.ufl.edu/pdfs/crudefiber120606_2000.pdf.

AOAC (Official Methods of Analysis). 1990. 15th ed. Virginia (EEUU): Association of Official Agricultural Chemists. [consultado 2017 oct 19]. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>

ASTM (American Society for Testing and Materials). 2013. Internacional standards. Germany: GmbH & Co. [consultado 2017 oct 19]. http://www.standardsandmore.com/pdf/ASTM_Catalog_2013.pdf

Badui S. 2006. *Química de Los Alimentos*. 5ta ed. Monterrey (México): Pearson; [consultado 2016 ago 29]. <https://es.scribd.com/doc/238214010/Quimica-de-Los-Alimentos-5ta-Edicion-Salvador-Badui-Dergal-FREELIBROS-org>

Bastioli C. 2006. *Handbook of biodegradable polymers*. 1ra ed. Shropshire (UK): Rapra technology. 517 p.

Baú T, García S, Ida E. 2014. Evaluation of a functional soy product with addition of soy fiber and fermented with probiotic kefir culture. *Brazilian Biology and Technology Journal*. [consultado 2017 jul 27]. 57(3):53-56. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-89132014000300014

Bergel F. 2017. Espumas de amido termoplástico com recobrimientos de quitosana e poliácido láctico [Tesis]. Universidade Federal do Rio Grande. Brasil. 88p.

Box G, Draper N. 1959. Response surface design. Journal of the American Statistical Association. [consultado 2017 sep 07]. 54(287):622–654. <https://pdfs.semanticscholar.org/5cd2/6a37b9806307882dd3a7f16892bbe4640651.pdf>

Cao Y, Sakamoto S, Goda K. 2007. Effects of heat and alkali treatments on mechanical properties of kenaf fibers. Study of Yamaguchi University. 16th international conference on composite materials, Enero-Febrero 2006. Kyoto, Japan: Composite materials.

Care M. 2017. La problemática de los plásticos en Europa [internet]. España:GP; [consultado 2017 sep 12]. https://secured-static.greenpeace.org/espana/Global/espana/2017/documentos/oceanos/plasticos_2017.pdf

Carr L, Parra D, Ponce P, Lugão A, Buchler P. 2006. Influence of Fibers on the Mechanical Properties of Cassava Starch Foams. Polymers and the environment. [consultado 2017 jun 07]. 14(2):179–183. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-006-0008-5>.

Carvalho F. 2015. Desenvolvimento de revestimentos biodegradáveis á base de álcool polivinílico para bandejas de amido de mandioca [Tesis]. Universidade Estadual de Londrina. Brasil. 155 p.

Castrillón O, Bedoya O, Montoya D. 2006. Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost. PML. [consultado 2017 sep 07]. 1(2):1-12. http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/512/1/pl_v1n2_87-98_compost.pdf

Chaparro S, Gil J, Aristizábal I. 2012. Physicochemical characteristics and functional properties of vitabosa (*Mucuna deeringiana*) and soybean (*Glycine max*). Ciencia y tecnología de alimentos. [consultado 2017 sep 12]. 32(1):101-111. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612012000100015

Chariguaman E, Cevallos Z. 2016. Efecto de la temperatura y concentración de H₂SO₄ y H₃PO₄ en la producción de azúcares en el pretratamiento de rastrojos de maíz (*Zea mays*) [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 49 p.

Chariguamán J. 2015. Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp) [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 68 p.

Cinelli P, Chiellini E, Lawton J, Imam S. 2006. Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly (vinyl alcohol). Polymer Journal. [consultado 2017 ago 20]. 1(91):1147–1155. https://www.researchgate.net/publication/222578099_Foamed_articles_based_on_potato_starch_corn_fibers_and_poly_vinyl_alcohol

Coreño J, Méndez M. 2010. Relación estructura-propiedades de polímeros. *Química Journal*. [consultado 2017 ago 13]. 21(4):291–299. <http://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v21n4/v21n4a6.pdf>

Costa A, Bigham J, Tormena C, Pintro J. 2004. Clay mineralogy and cation exchange capacity of Brazilian soils from water contents determined by thermal analysis. *Thermochimica acta*. [consultado 2017 jul 17]. 413(2):73–79. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2010000400006

Cruz Y, Cerón A, Garcés L. 2013. Biopolímeros y su integración con polímeros convencionales como alternativa de empaque de alimentos. *Ingeniería de alimentos*. [consultado 2017 jul 11]. 7(2):42-52. <http://web.udlap.mx/tsia/files/2014/12/TSIA-72-Cruz-Morfin-et-al-2013.pdf>

Dal Bosco T. 2017. *Compostagem e Vermicompostagem de Resíduos Sólidos. Biotecnologia aplicada*. 1ra ed. São Paulo (Brasil): Blucher; [consultado 2017 sep 13]. <https://www.blucher.com.br/livro/detalhes/compostagem-e-vermicompostagem-de-residuos-solidos-1260/quimica-107>.

De la Cruz N, Cerón A, Garcés L. 2015. Analysis and modeling of coffee's peel granulometry (*Coffea arabica* L.), Castillo variety. *PML*. [consultado 2017 ago 13]. 10(2):1909-1919. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000200008

Deviagi F. 2013. *Desenvolvimento de bandejas biodegradáveis de amido, bagaço de mandioca e álcool polivinílico com a incorporação de agentes antimicrobianos* [Tesis]. Universidade Estadual de Londrina. Brasil. 168 p.

El Hage R, Chrusciel L, Desharnais L, Brosse N. 2010. Effect of autohydrolysis of *Miscanthus x giganteus* on lignin structure and organosol delignification. *Bioresource technology*. [consultado 2017 sep 13]. 101(23):9321–9339. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085241001148X?via%3Dihub>

Espina M, Cruz J, Siche R. 2016. Propiedades mecánicas de bandejas elaboradas con almidón de especies vegetales nativas y fibras de residuos agroindustriales. *Scientia agropecuaria*. [consultado 2017 ago 28]. 7(2):268-276. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172016000200006&lang=pt

FAO (Food and Agriculture Organization). 2006. *Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible* [internet]. US. Department of Soil. [consultado 2017 sep 13]. http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/ba/organic_matter.pdf

FAO (Food and Agriculture Organization). 2011. *Technology of production of edible flours and protein products from soybeans*. In: FAO ed. *Edible soybean flours and grits*. Haifa, Israel. p. 21-30

Glenn G, Orts W, Nobes G. 2001. Starch, fiber and CaCO₃ effects on the physical properties of foams made by a baking process. *Industrial crops*. [consultado 2017 jul 17]. 14(3):201–212. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669001000851>.

Gontard N, Guilbert S, Cuq J. 1993. Water and Glycerol as Plasticizers Affect Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of an Edible Wheat Gluten Film. *Food Science*. [consultado 2016 dic 08]. 58(1):206–211. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.1993.tb03246.x/abstract>.

Gutiérrez H, De la Vara R. 2008. *Análisis y diseño de experimentos*. 2da ed. Guanajuato(México): Mc Graw Hill. 210 p.

Holgado F, Hernandez M, Torres J, Fernández J. 2010. Composición morfológica y química de los componentes de la planta de maíz. *INTA*. [consultado 2017 ago 13]. 1(4):158-160. http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_holgado_composicion_morfologica.pdf.

Igor J, Velasco V. 2010. Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas a partir de la tilapia roja. *Ciencias agropecuarias*. [consultado 2017 ago 15]. 8(2): 46-56. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v8n2/v8n2a07.pdf>.

ISO (International Organization for Standardization). 2004. *Graphic technology - Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints*. 2da ed. Switzerland: ISO; [consultado 2017 sep 14]. http://www.sovsib.ru/color/iso12647_en.pdf.

Ivano L. 2013. *Bandejas biodegradáveis a base de amido de mandioca e resíduo fibroso da indústria cervejeira* [Tesis]. Universidade Estadual de Londrina. Brasil. 122 p.

Jacometti G. 2015. *Utilização de resíduo fibroso do pseudocaule de bananeira na produção de bandejas biodegradáveis de amido de mandioca por processo de termoformagem* [Tesis]. Universidade Estadual de Londrina. Brasil. 196 p.

Jang J, Lee D. 2003. Plasticizer effect on the melting and crystallization behavior of polyvinyl alcohol. *European Polymer Journal*. [consultado 2016 sep 11]. 1(26):8139-8146. https://www.researchgate.net/publication/244304969_Plasticizer_effect_on_the_melting_and_crystallization_behavior_of_polyvinyl_alcohol.

Lea I. 2013. *Bandejas biodegradáveis a base de amido de mandioca e resíduo fibroso da indústria cervejeira* [Tesis]. Universidade Estadual de Londrina. Brasil. 122 p.

Lopez A, Rodriguez M, De Saja J. 2014. Strategies to improve the mechanical properties of starch-based materials: plasticization and natural fibers reinforcement. *European Polymer Journal*. [consultado 2017 jul 13]. 24(1):1404-1428. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282014000700008&lang=pt.

Mali S, Grossmann M, García M, Zaritzky N. 2002. Microstructural characterization of yam starch films. *Carbohydrate Polymers*. [consultado 2016 ago 16]. 4(1):379–386. https://www.researchgate.net/publication/223069220_Microstructural_characterization_of_yam_starch_films.

Mali S, Grossmann M, Yamashita F. 2010. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. *Ciências Agrárias*. [consultado 2017 sep 15]. 31(1):137–156. <http://www.redalyc.org/html/4457/445744095013/>

Maran JP, Sivakumar V, Thirugnanasambandham K, Sridhar R. 2014. Degradation behavior of biocomposites based on cassava starch buried under indoor soil conditions. *Carbohydrate Polymers*. [consultado 2017 sep 14]. 101(1):20–28. <http://cyber.sci-hub.bz/MTAuMTAxNi9qLmNhcmJwb2wuMjAxMy4wOC4wODA=/maran2014.pdf>. doi:10.1016/j.carbpol.2013.08.080

Marengo V, Vercelheze A, Mali S. 2013. Compósitos biodegradáveis de amido de mandioca e resíduos da agroindústria. *Química Nova*. [consultado 2017 sep 07]. 36(5):10-14. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000500012

Martins S, Marconato J. 2006. Biodegradable polymers - a partial way for decreasing the amount of plastic waste. *Química Nova*. [consultado 2017 sep 07]. 29(4):159-166. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422006000400031

Mello L. 2013. Bandejas biodegradáveis a base de amido de mandioca e resíduo fibroso da indústria cervejeira. Universidade Estadual de Londrina. Brasil. 122 p.

Mohanty A, Misra M, Drzal L. 2001. *Surface Modification of Biopolymers*. Toronto(Canada): John Wiley & Sons. [consultado 2017 jun 03]. [https://books.google.hn/books?id=jWJvCAAQAQBAJ&pg=PA236&lpg=PA236&dq=Mohanty+AK,+Misra+M,+Drzal+LT.+Compos+Interf+2001;8\(5\):313%E2%80%93343&source=bl&ots=dE-PteUQA0&sig=YdOEzvNUonuNFOv61cqTGy3ZEg&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjxy6zr8NLVAhUJySYKHUJ4ARwQ6AEIQzAE](https://books.google.hn/books?id=jWJvCAAQAQBAJ&pg=PA236&lpg=PA236&dq=Mohanty+AK,+Misra+M,+Drzal+LT.+Compos+Interf+2001;8(5):313%E2%80%93343&source=bl&ots=dE-PteUQA0&sig=YdOEzvNUonuNFOv61cqTGy3ZEg&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjxy6zr8NLVAhUJySYKHUJ4ARwQ6AEIQzAE)

Mohy F, Ahmed Z, Abdel A, El-Akel A, Abou S. 2009. Chemical, physical, nutritional and sensory properties of high fiber healthy corn snacks. *Global science*. [consultado 2017 sep 12]. 3(1):53-57. [http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0906/FOOD_3\(1\)/FOOD_3\(1\)53-57o.pdf](http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0906/FOOD_3(1)/FOOD_3(1)53-57o.pdf)

Molina J, Rodrigo M. 2009. Estadísticos de asociación entre variables[internet]. España. Valencia OCW. [consultado 2017 sep 13]. http://ocw.uv.es/ciencias-de-la-salud/pruebas-1/1-3/t_08-1.pdf

Oikoomou N, Krokida M. 2011. Water Absorption Index and Water Solubility Index Prediction for Extruded Food Products [internet]. Greece. FAO. [consultado 2017 ago 07]. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201400182216>

Oliveira L, Sarantópoulos C, Texeira F. 2011. Determinação da força de adesão da metalização com alumínio em filmes plásticos utilizados em embalagens flexíveis. CEP. [consultado 2017 sep 07]. 21(3):233–239. http://www.scielo.br/pdf/po/v21n3/aop_0753.pdf

Oroperaza 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 ago 30]. 1(2):1418-1484. https://www.academia.edu/29685056/Pel%C3%ADculas_biodegradables_a_base_de_almid%C3%B3n_propiedades_mec%C3%A1nicas_funcionales_y_biodegradaci%C3%B3n?auto=download

Prado M, Anzaldo J, Becerra B, Palacios H, Vargas J, Rentería M. 2012. Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. Madera y bosques. [consultado 2017 ago 29]. 18(3):14-20. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712012000300004

Reolón V, Borges J. 2010. Characterization of foams obtained from cassava starch, cellulose fibres and dolomitic limestone by a thermopressing process. Brazilian biology and technology. [consultado 2017 sep 07]. 53(1):78-83. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-89132010000100023&lang=pt

Rocha G. 2009. Obtenção e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de misturas de amido de mandioca e extrato protéico de soja [Tesis]. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Brasil. 92 p.

Rodríguez M. 2007. Determinación de la composición química y propiedades físicas y químicas del pulido de arroz (*Oryza sativa* L.) [Tesis]. Universidad Austral de Chile. Chile. 52 p.

Rubio S. 2013. Revisión de los avances en el desarrollo de polímeros biodegradables, su producción y comercialización en México para su uso en envase y embalaje [Tesis]. Universidad Autónoma de Querétaro. México. 129 p.

Salgado P, Schimidt V, Ortiz S, Mauri A, Laurindo J. 2008. Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fibers obtained by a baking process. Journal of food engineering. [consultado 2017 jul 17]. 85(1):435–443. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300835281>

Seibel N, Beléia A. 2009. Características químicas e funcionalidade tecnológica de ingredientes de soja *Glycine Max* (L.). Carbohidratos e proteínas. [consultado 2017 oct 16]. 12(2):113–122. <http://bjft.ital.sp.gov.br/artigos/html/busca/PDF/v12n2378a.pdf>. doi:10.4260/BJFT20093607

Shimao M. 2001. Biodegradation of plastics. Biotechnology. [consultado 2017 oct 16]. 12(1): 242-247. <http://envismadrasuniv.org/Biodegradation/pdf/Biodegradation%20of%20plastics.pdf>

Shirai M, Grossmann M, Yamashita F, Garcia P, Müller C. 2013. Development of biodegradable flexible films of starch and poly(lactic acid) plasticized with adipate or citrate esters. *Carbohydrate polymers*. [consultado 2017 oct 16]. 92(1):19–22. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861712009551>

Song J, Murphy R, Narayan R, Davies G. 2009. Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. *Biology science*. 364(1526):2127–2139. [consultado 2017 ago 31]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873018/>

Souza A, Benze R, Ferrão E, Ditchfield C, Coelho A, Tadini C. 2012. Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. *Food science and technology*; 46(1):110–117. [consultado 2017 ago 10]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643811003458>

Stasiak M, Molenda M, Opalinski I, Blaszczyk W. 2013. Mechanical properties of native maize, wheat and potato starches. *Czech Journal Food Science*. 31(1):347–354. [consultado 2017 ago 12]. <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/97020.pdf>

Stoffel F. 2017. Desenvolvimento de espumas a base de amido de mandioca [Tesis]. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Brasil. 101 p.

Taiatale I, Dal Bosco T, Bertozzi J, Mali S, Nabeyama R. 2017. Compostabilidade de embalagens biodegradáveis. *Blucher*. [consultado 2017 sep 15]. 4(1):107–133. <http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/openaccess/9788580392371/00.pdf>

Thompson D. 1982. Response surface experimentation. *Journal of food processing and preservation*. *Journal of Food Processing and Preservation*. [consultado 2016 jul 18]. 6(3):155–188. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-4549.1982.tb00650.x/abstract>

Torres R, Montero P, Duran M. 2013. Redalyc. Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*). *Revista Lasallista de Investigación*. 10(2):52–61. [consultado 2017 ago 28]. <http://www.redalyc.org/pdf/695/69529816007.pdf>

Treviño J, Hernández T, Caballero R. 2011. Estudio del valor nutritivo de las hojas y tallo del maíz híbrido tallo azucarado E-10. Instituto de alimentación y productividad animal. CSIC. [consultado 2017 sep 13]. 1(2):286–292. <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/viewFile/542/545>.

Vargas G, Martínez P, Velezmoro C. 2016. Functional properties of potato (*Solanum tuberosum*) starch and its chemical modification by acetylation. *Sc.Agropec*. [consultado 2017 sep 07]. 7(1):223–230. <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/viewFile/1170/1118>. doi:10.17268/sci.agropecu.2016.03.09.

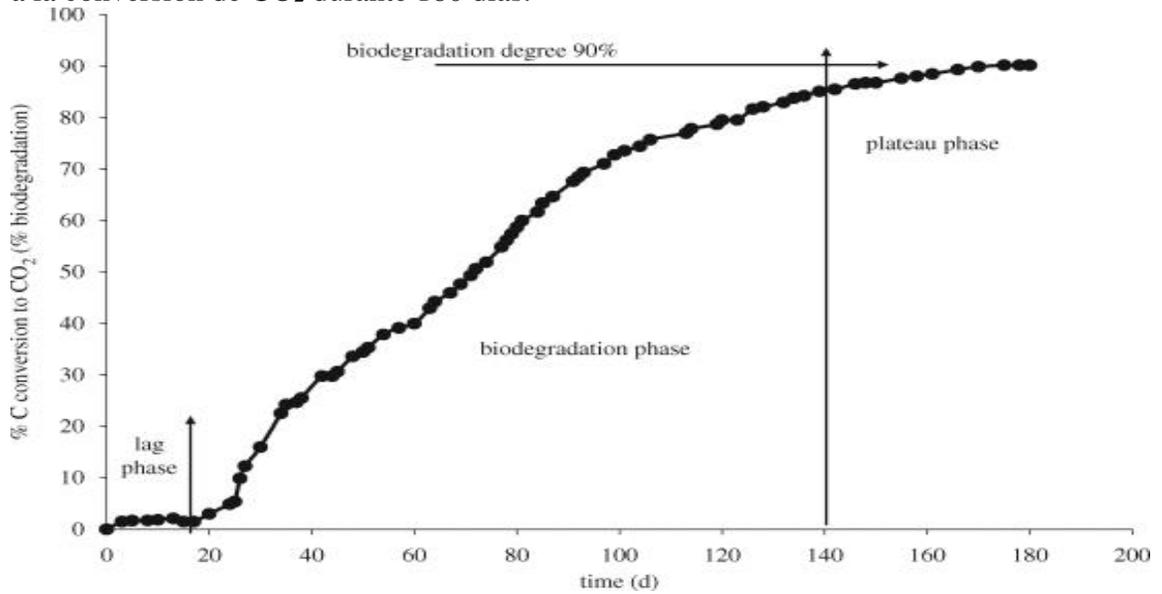
Vercelheze A. 2011. Desenvolvimento de bandejas biodegradáveis de amido de mandioca, fibras do bagaço de cana-de-açúcar e nanoargilas pelo processo de termoformagem [Tesis]. Universidade Estadual de Londrina. Brasil. 122 p.

Vicentini N. 2003. Elaboração e caracterização de filmes comestíveis à base de fécula de mandioca para uso em pós-colheita [Tesis]. Universidade Estadual Paulista. Brasil. 117 p.

Zárate L, Ramírez L, Otálora N, Prieto L, Garnica A, Cerón-Lasso M, Argüelles J. 2014. Extracción y caracterización de almidón nativo declones promisorios de papa criolla. Colombia: ALAP. [consultado 2017 sep 05]. http://www.papaslatinas.org/vol18-1/001_ALM_Zarate_Polanco.pdf.

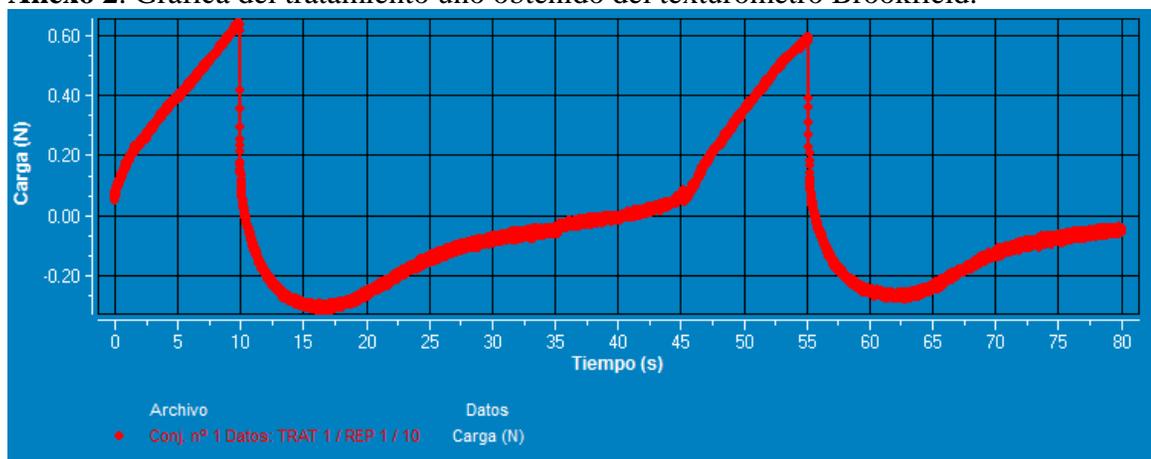
7. ANEXOS

Anexo 1. Ejemplo de las fases de degradación de un polímero biodegradable relacionado a la conversión de CO₂ durante 180 días.



Fuente: (Song *et al.* 2009).

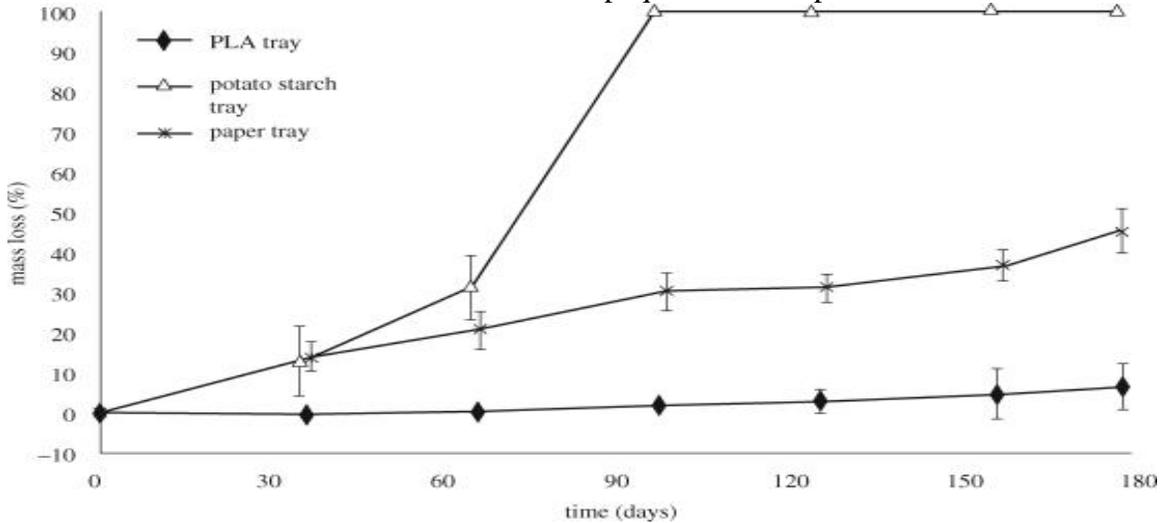
Anexo 2. Gráfica del tratamiento uno obtenido del texturómetro Brookfield.



Anexo 3. Informe de datos del equipo Brookfield.

Descripción Muestra		Notas:
Nombre Producto:	TRAT 1	
Nombre de lote:	REP 1	
Ejemplo:	10	
Dimensiones:		
Forma:	Bloque	
Longitud:	30.00 mm	
Anchura:	30.00 mm	
Altura:	15.00 mm	
Método Test		
Fecha:	01/08/2017	Hora: 01:22:41 p.m.
Tipo de Test:	Compresión	Tpo. Recuperación: 0 s
Objetivo:	10.0 mm	Mismo activador: Falso
Esperar t.:	0 s	Velocidad Pretest: 1.5 mm/s
Carga Activación:	0.067 N	Fr. Muestreo: 100 puntos/seg
Vel. Test:	1 mm/s	Sonda: TA3/100
Velocidad Vuelta:	1 mm/s	Elemento: TA-RT-KI
Contador ciclos:	2	Celda Carga: 4500g
Resultados		
Ciclo 1 Dureza:	0.642 N	
Fuerza adhesividad:	0.314 N	
Adhesividad:	4.35 mJ	
Elasticidad:	10.80 mm	

Anexo 4. Pérdida de masa de materiales de empaque en el tiempo.



Anexo 5. Pérdida de masa de materiales de empaque después de 90 días. (Rápido: 88%, Medio: 40%, Lenta: <5%)

Name	Commercial (C)/experimental (E) material	Material	Principal components (wt%)	Small sample	Whole unit	Rate of degradation
Potato starch	C	potato starch-based tray	potato starch (<75%)	✓	✓	fast
Paper	C	pressed wood pulp plate	wood pulp 70%; starch size 20%; other 10%	✓	✓	medium
PP(A)	E	PP with biodegradability additive	90% PP; 10% bio-additive A	✓		slow

Fuente: (Song *et al.* 2009).

Anexo 6. Parcelas demostrativas del estudio de la bandeja biodegradable.



Anexo 7. Porcentaje de área degradada de las bandejas durante 40 días.

DÍA 5



DÍA 10



DÍA 15



DÍA 20



DÍA 25



DÍA 30



DÍA 35



DÍA 40

