

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Agroindustria Alimentaria
Ingeniería en Agroindustria Alimentaria



Proyecto Especial de Graduación

**Elaboración y caracterización de una película biodegradable utilizando
cáscara de naranja (*Citrus X sinensis*)**

Estudiante

Katherine Sofia Sierra Melendrez

Asesores

Luis Fernando Osorio, Ph.D.

Luis Fernando Maldonado, Ph.D.

Honduras, julio 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ADELA M. ACOSTA MARCHETTI

Directora Departamento de Agroindustria Alimentaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos	13
Ubicación del Estudio.....	13
Materias Primas	13
Equipo Para la Realización de los Análisis de la Harina de Cáscara de Naranja y de las Biopelículas ..	13
Etapa 1. Caracterización del Polvo de Cáscara de Naranja.....	14
Humedad.....	14
Índice de Solubilidad en Agua (ISA) e Índice de Absorción de Agua (IAA).....	14
Color.....	15
Fibra cruda	15
Etapa 2. Elaboración y Caracterización de una Biopelícula a Partir de Polvo de Cáscara De Naranja .	16
Elaboración de las biopelículas	16
Grosor	16
Color del Polvo de Cáscara de Naranja	16
ΔE = diferencia total de color.....	17
Fuerza de Perforación.....	17
Módulo de Young.....	17
Índice de Solubilidad (ISA)	18
Permeabilidad a Vapor de Agua (PVA).....	18
Análisis de Biodegradabilidad	19

Diseño Experimental	19
Formulación	22
Resultados y Discusión.....	23
Caracterización del Polvo de Cáscara de Naranja.....	23
Elaboración y Caracterización de la Biopelícula a Partir de Polvo de Cáscara de Naranja	25
Grosor	25
Resistencia a Perforación.....	27
Elongación.....	30
Fuerza de Tensión	32
Módulo de Young.....	35
Solubilidad.....	37
Permeabilidad a Vapor de Agua	39
Color.....	42
Análisis de Biodegradabilidad	44
Análisis de Formulación Óptima	46
Conclusiones	49
Recomendaciones.....	50
Referencias.....	Error! Bookmark not defined.

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Equipos utilizados en el estudio.....	13
Cuadro 2 Formulación con valores codificados y reales para la realización de la biopelícula.	21
Cuadro 3 Niveles codificados de las variables independientes en el experimento.....	22
Cuadro 4 Descripción del diseño experimental.	22
Cuadro 5 Formulación preliminar de la biopelícula.....	22
Cuadro 6 Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al polvo de cáscara de naranja.	25
Cuadro 7 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en el grosor de la biopelícula.....	26
Cuadro 8 Coeficiente de regresión y probabilidad en el grosor de la biopelícula.....	27
Cuadro 9 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la perforación de la biopelícula.	29
Cuadro 10 Coeficiente de regresión y probabilidad en la resistencia a perforación de biopelícula.	29
Cuadro 11 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la elongación de la biopelícula.	31
Cuadro 12 Coeficiente de regresión y probabilidad en la elongación de la biopelícula.....	32
Cuadro 13 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la fuerza de tensión de la biopelícula.	34
Cuadro 14 Coeficiente de regresión y probabilidad en la fuerza de tensión de la biopelícula.	34
Cuadro 15 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en el Módulo de Young de la biopelícula.	36
Cuadro 16 Coeficiente de regresión y probabilidad del módulo de Young de la biopelícula.....	37
Cuadro 17 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la solubilidad de la biopelícula.....	38
Cuadro 18 Coeficiente de regresión y probabilidad en la solubilidad de la biopelícula.....	39
Cuadro 19 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en el PVA de la biopelícula.	41
Cuadro 20 Coeficiente de regresión y probabilidad en PVA de la biopelícula.	41
Cuadro 21 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la diferencia de color de la biopelícula.....	43
Cuadro 22 Coeficiente de regresión y probabilidad en la diferencia de color de la biopelícula.	43
Cuadro 23 Análisis de biodegradabilidad de las biopelículas después de 21 días.....	45

Cuadro 24 Análisis del tratamiento óptimo, en comparación con los mejores resultados de los 14 tratamientos.....	48
---	----

Índice de Figuras

Figura 1 Flujo de proceso de elaboración de la biopelícula.....	20
Figura 2 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en el grosor de la biopelícula.	27
Figura 3 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la perforación de la biopelícula.	30
Figura 4 Efecto del almidón y cáscara de naranja en la elongación de la biopelícula.	32
Figura 5 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la fuerza de tensión de la biopelícula.....	35
Figura 6 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en el Módulo de Young de la biopelícula.	37
Figura 7 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la solubilidad de la biopelícula.	39
Figura 8 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en el PVA de la biopelícula.	42
Figura 9 Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la diferencia de color de la biopelícula.....	44

Resumen

A nivel mundial, la preocupación por reducir el impacto ambiental en las actividades productivas de cada país, ha llevado a que las empresas desarrollen procedimientos amigables con el ambiente en la creación de bienes y servicios. Una de las soluciones para reducir el desperdicio de alimentos y la contaminación es la creación de empaques biodegradables en la industria de alimentos. Los objetivos de este estudio fueron, elaborar y caracterizar las propiedades fisicoquímicas de una biopelícula elaborada con desecho de cáscara de naranja. Se utilizó la metodología superficie de respuesta definiendo como variables independientes el % de almidón y de cáscara de naranja. Las variables dependientes fueron: Grosor, perforación, elongación, módulo de Young, fuerza de tensión, PVA, solubilidad y color. Se generó una regresión matemática de carácter predictivo sobre el mejor tratamiento. El polvo de cáscara de naranja tuvo una humedad de 7.19%, un contenido de fibra cruda de 16.92%, un índice de solubilidad de 14.90%, y un índice de absorción de agua de 15.02. Se determinó una proporción de 5.36% de almidón de maíz, 1.52% de cáscara de naranja, 87.76% de agua, 5.36% de glicerol y 0.09% de sorbato de potasio, el cual, optimiza los valores de las variables dependientes. La biopelícula desarrollada se puede utilizar para manufacturar empaques amigables con el medio ambiente para diferentes productos.

Palabras clave: Biopelículas, desechos orgánicos, módulo de Young.

Abstract

Worldwide, the concern to reduce the environmental impact in the productive activities of each country has led companies to develop environmentally friendly procedures in the creation of goods and services. One of the solutions, to reduce food waste and contamination, is the development of biodegradable packaging in the food industry. The objectives of this study were to elaborate and characterize the physicochemical properties of a biofilm made with orange peel waste. The response surface methodology was used, defining the percentage of starch and orange peel as independent variables. The dependent variables were: Thickness, perforation, elongation, Young's modulus, tensile strength, PVA, solubility and color. A predictive mathematical regression was generated on the best treatment. The orange peel powder obtained a humidity of 7.19%, a crude fiber content of 16.92%, a solubility index of 14.90%, and a water absorption index of 15.02. A proportion of 5.36% of corn starch, 1.52% of orange peel, 87.76% of water, 5.36% of glycerol and 0.09% of potassium sorbate was determined, which optimizes the values of the dependent variables. The developed biofilm can be used to manufacture environmentally packaging for different products.

Keywords: Biofilms, organic waste, Young's modulo.

Introducción

A nivel mundial la preocupación de reducir el impacto ambiental, en las actividades productivas de un país, ha llevado a que las empresas desarrollen procedimientos amigables con el ambiente en la creación de bienes y servicios. Las empresas, instituciones y organismos internacionales han tratado de concientizar a la población, sobre la utilización de opciones menos contaminantes que no perjudiquen el ecosistema de nuestro planeta (Castillo Criollo y Ochoa Armijos 2018). Una de las soluciones, es la creación de empaques biodegradables en la industria de alimentos, ya que en las exportaciones es indispensable la utilización de empaques ecológicos y aún mejor en un ámbito internacional. Ciertos lugares, como Estados Unidos, países europeos, entre otros, su normativa exige requisitos medioambientales para introducir bienes y servicios hacia dichos mercados, por lo que, además de ser una solución a la problemática, es una forma en que las empresas pueden abrir nuevos mercados internacionales.

La industria alimentaria constituye uno de los sectores más dinámicos y cambiantes, en respuesta a las diferentes necesidades que se presentan en la población cada vez más exigente. En consonancia con ello, el desarrollo e investigación en alimentos nuevos, ha permitido llegar a crear nuevas formulaciones, con un claro avance en cuanto a su naturaleza nutricional. Este avance hace que aparezcan, paralelamente a la producción, una serie de residuos procedentes del procesamiento de las diferentes materias primas alimentarias. Este proceso de reciclaje puede llegar a constituir un problema económico y ecológico importante en muchos casos, mayores que los que la propia producción puede crear (Pérez Sanz 2017). Visualizando este inconveniente, se conoce que estos residuos suelen ser muy ricos en sustancias, no aprovechables por el sector industrial alimentario del que provienen y que, sin embargo, pueden tener un valor muy importante en otros procesos, como ser la industria de empaques (Vargas Corredor y Pérez Pérez 2018).

En vista de los problemas medio ambientales producidos por los desechos alimentarios de la industria, la población en general, y de la fabricación de plástico para diversos productos, las

biopelículas aparecen como buena alternativa para mitigar la contaminación (Mayhuire A et al. 2019). Estas biopelículas tienen la gran ventaja que se descomponen bajo condiciones ambientales, aportando así mismo nutrientes al suelo, para su posterior uso. En tal sentido, la producción competitiva de biopelículas a partir de materias primas disponibles es una tarea que ofrece múltiples posibilidades.

Por las razones antes mencionadas, en el presente informe se describe la elaboración de una película biodegradable a base de cáscara de naranja, almidón de maíz, glicerol, sorbato de potasio y agua. Se utilizó cáscara de naranja, ya que presenta en su composición química 10.89% de fibra y 15.49% de carbohidratos, pero principalmente se utiliza por su contenido de pectina, el cual es de aproximadamente 10.1% en la cáscara de naranja madura. La pectina es considerada un tipo de fibra que suele obtenerse de la cáscara de los cítricos y de la pulpa de la manzana. Dicho polímero está formado por moléculas de ácido D-galacturónico, unidas por enlaces glucosídicos α -D-(1,4), en la cual algunos de los carboxilos pueden estar esterificados con metilos en forma de sal (Arteaga López y Zavala Castillo. 2018).

También se utilizó almidón de maíz, ya que, los almidones tienen un alto potencial para su aplicación como plásticos biodegradables a pesar de su alta permeabilidad al vapor de agua. Para mejorar las propiedades mecánicas y de barrera de las películas de almidón, se puede incorporar nano-compósitos en la matriz, proteínas, fibras, y arcillas (González Soto et al. 2016). Así mismo, se utilizó glicerol, el cual es un alcohol que aporta flexibilidad a las biopelículas debido a su propiedad plastificante. El glicerol en la formulación generalmente hace que el producto final incremente su permeabilidad al vapor, debido a su naturaleza hidrofílica, el cual fácilmente forma puentes de hidrógeno con las moléculas de agua (Enriquez et al. 2012).

El presente estudio se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, la cual cuenta con una serie de plantas industriales de alimentos. La planta Hortofrutícola, es una de las plantas caracterizada por producir muchos de los alimentos que son consumidos dentro de la

universidad, así como otros productos que son comercializados en algunas ciudades vecinas. Sin embargo, así como se generan diversos productos al mercado, así también es generado una serie de residuos.

En este caso, el presente proyecto se centró en la utilización de naranja de la variedad Valencia, la cual es una fruta muy utilizada en la industria, para la elaboración de concentrados comercializados en forma de almíbar, mermelada, jugo y pulpa. Estos se realizan en diferentes presentaciones como libras y litros. Actualmente, esta fruta es proporcionada por la Unidad de Frutales de Zamorano, manejando una cantidad aproximadamente de 2,000-2,500 kg al año, la cual se concentra principalmente en los meses de enero a marzo. El rendimiento de esta fruta es de aproximadamente 51% de pulpa, por lo que el resto es producto de desecho (cáscara, albedo y semilla) en un 49%. Por esa razón, se ha observado la problemática con este producto en cuanto a la generación de residuos, ya que normalmente se desecha, sin darle ningún otro uso. No obstante, esta fruta es muy rica en nutrientes, por lo que se puede aprovechar elaborando otros subproductos dentro de la misma industria, como son los empaques biodegradables. Esto porque las tendencias en el mercado están en constante cambio, por lo que se debe de innovar y desarrollar nuevos productos que satisfagan los requerimientos de los consumidores.

El propósito del estudio fue la creación de un empaque biodegradable elaborado a base de cáscara de naranja para lo cual, se plantearon los siguientes objetivos:

Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de un polvo de cáscara de naranja como nuevo ingrediente para la elaboración de una película biodegradable.

Determinar las concentraciones óptimas de polvo de cáscara de naranja, glicerol y almidón de maíz que brinden las propiedades físicas y mecánicas óptimas en una película biodegradable.

Evaluar las características fisicoquímicas de una biopelícula elaborada con la cáscara de naranja.

Materiales y Métodos

Ubicación del Estudio

El estudio fue realizado en las instalaciones de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; ubicada en el Valle de Yeguaré, Municipio de San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, Honduras. Las muestras de cáscara de naranja fueron obtenidas de la Planta Hortofrutícola. La elaboración de la biopelícula fue realizada en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ).

Materias Primas

Para el desarrollo de la biopelícula y del polvo de cáscara de naranja, se utilizó la cáscara de naranja de la planta de Hortofrutícola. Además, se utilizaron otros ingredientes en la formulación como ser; almidón de maíz (*Zea mays* L.), agua desionizada, glicerol (1,2,3-trihidroxipropano) y sorbato de potasio como fungistático.

Equipo Para la Realización de los Análisis de la Harina de Cáscara de Naranja y de las Biopelículas

En el Cuadro 1 se enumeran los equipos que se utilizaron para evaluar las características fisicoquímicas de las biopelículas a base de cáscara de naranja.

Cuadro 1

Equipos utilizados en el estudio.

Equipo	Marca/Modelo
Balanza analítica	OHAUS, máximo 110g y d = 0.1 mg
Texturómetro	CT3 Brookfield
Horno de convección forzada	Napco, 630
Colorímetro	Colorflex Hunter LAB
Micrómetro digital	Thomas Scientific Traceable®
Centrifugadora	VWR Symphony 4417
Analizador de fibra	ANKOM 220

El proceso de la investigación se dividió en dos etapas con el objetivo de establecer parámetros óptimos, por lo cual se definieron de la siguiente manera:

- Etapa 1: Caracterización del polvo de cáscara de naranja.

- Etapa 2: Elaboración y caracterización de una película biodegradable elaborada a partir de polvo de cáscara de naranja.

Obtención de Muestras

En la etapa inicial, para la toma de las muestras de cáscara de naranja de la planta Hortofrutícola, se obtuvo una cesta representativa del descarte del área de despulpado. Esta se realizó en horas de la tarde, entre las 12:30 a 3:00 pm. Se obtuvieron 20 libras de cáscara de naranja, que se prosiguió a quitarle el albedo, y la pulpa remanente. Luego se cortó en trozos y se llevaron al horno de convección forzada a una temperatura de a 60 °C durante 24 horas. Una vez secas las cáscaras, se pasaron por un molino para obtener polvo de cáscara de naranja.

Etapa 1. Caracterización del Polvo de Cáscara de Naranja

Humedad

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

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

Donde:

m1: Peso del crisol (g).

m2: Peso del crisol más la muestra húmeda (g).

m3: Peso del crisol más la muestra seca (g).

Índice de Solubilidad en Agua (ISA) e Índice de Absorción de Agua (IAA)

Para el ISA y el IAA, se usó el método de Nobosse et al. (2017). Se pesó 2.0000 ± 0.0010 gramos del polvo de cáscara de naranja y se disolvió en 24 mL de agua desionizada, los cuales se colocaron en tubos de centrifugación tarados previamente. Estos se agitaron en el vórtex durante un minuto para homogenizar. Posteriormente, las muestras se almacenaron durante 24 horas a 25 °C. Luego de transcurrido el tiempo, las muestras se centrifugaron a 3000 rpm (Revoluciones por minuto) durante

15 minutos. Luego se obtuvo un gel sedimentado en el tubo, este se separó por decantación de la mezcla soluble. Lo solubilizado del tubo se drenó en un plato petri, que luego se llevó al horno para que se evaporara el agua durante cuatro horas a 105 °C. Posteriormente, se pesó el tubo con el gel y el solubilizado previamente evaporado (Rodríguez-Sandoval et al. 2012). Luego se dejó enfriar las muestras y se realizaron los cálculos por medio de las siguientes Ecuaciones 2 y 3.

$$\text{ISA}(\%) = (\text{Peso seco sobrenadante} / \text{Peso de la muestra}) \times 100 \quad [2]$$

$$\text{IAA} = (\text{Peso del gel} / \text{Peso de la muestra}) \quad [3]$$

Color

Se evaluó mediante el colorímetro Colorflex Hunter Lab, en el cual se utilizan escalas de L a b. La medición se realizó por triplicado y se reportó como valores de L a b, donde: L= Luminosidad (0: negro y 100: blanco). a= -60 a 60, donde los valores positivos indican tonalidades rojas y los valores negativos indican tonalidades verdes. b= -60 a 60, los valores positivos indican tonalidades amarillas y negativos para las tonalidades azules.

Fibra cruda

Se analizaron mediante el método AOAC 962.09. Primero se pesó 1 ± 0.0010 g de muestra, más una prueba en blanco, se agregaron a una bolsa de filtro sellada, luego se preparó una solución de 2000 mL de agua desionizada con 14.308 mL de ácido sulfúrico a 0.255 N (H_2SO_4). También se preparó una solución de 2000 mL de solución con 25 gramos de NaOH a 0.313 N. La extracción se realizó en el equipo ANKOM 220 a una presión de 10 a 25 psi. Primero se realizó un calentado y agitado con la solución ácida (H_2SO_4) durante 30 minutos, luego se realizaron tres lavados por 5 minutos cada uno. Se prosiguió a hacer el calentado y agitado con la base (NaOH), durante 30 min, y luego los lavados. Después se colocaron las muestras en metanol por 5 min y se prosiguió a ponerlas en el horno durante 2 horas a 105 °C. Por último, estas se colocaron en la mufla por 2 horas a 550 °C. El porcentaje de fibra cruda se determinó mediante la siguiente Ecuación 4.

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{(C - (A \times 0.992))}{B} \times 100 \quad [4]$$

Donde:

A=Peso de la bolsa.

B= peso de la muestra inicial.

C= pérdida de peso por ignición de la muestra.

0.992= corrección de cenizas de bolsa en blanco.

Etapa 2. Elaboración y Caracterización de una Biopelícula a Partir de Polvo de Cáscara De Naranja

Elaboración de las biopelículas

Se elaboraron las biopelículas mezclando almidón de maíz, polvo de cáscara de naranja y sorbato de potasio, los cuales conformaron la base seca. Los ingredientes líquidos fueron agua y glicerol. Primero se pesó cada uno de los ingredientes (Figura 1), luego se colocaron en un frasco, y se prosiguió a mezclar junto con temperatura de 60 °C, hasta alcanzar la gelatinización del almidón de maíz en la mezcla (Salmerón Herrera 2019). Luego se añadieron 16 gramos de la mezcla en un plato petri con un diámetro de 8.9 cm (0.26 g/cm²) y se colocó en el horno a 45 °C durante una hora para su secado. Luego se retiró del horno, y se colocó en un desecador con una solución de hidróxido de sodio saturada, y se mantuvo secando por cuatro días para su estabilización con el ambiente. Luego, cuando las muestras ya estaban secas, se prosiguió a realizar los siguientes análisis:

Grosor

Este fue evaluado según Aimoto et al. (2007), utilizando un micrómetro manual con una precisión 0.001 mm, para esto, se tomaron cinco puntos al azar de la biopelícula.

Color del Polvo de Cáscara de Naranja

Se evaluó mediante el colorímetro Colorflex Hunter Lab, por el método de ASTM D6290, en el cual se utilizan escalas de L a b. Las biopelículas se colocaron en el Colorflex hasta obtener los

resultados. Para esto se realizaron tres repeticiones, y luego se determinó un promedio de los valores del color de las muestras, luego se determinó la diferencia de color según la Ecuación 5.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad [5]$$

Donde:

L= Luminosidad (0: negro y 100: blanco).

a= -60 a 60, donde los valores positivos indican tonalidades rojas y los valores negativos indican tonalidades verdes.

b= -60 a 60, los valores positivos indican tonalidades amarillas y negativos para las tonalidades azules.

ΔE = diferencia total de color.

Fuerza de Perforación

Consiste en determinar la fuerza y la distancia que requiere un material para romperse (Cesar 2018). Este análisis se realizó con el texturómetro. En este análisis se aplicó la fuerza necesaria para romper la biopelícula, y se tomaron los datos proporcionados por el texturómetro. Para realizar este análisis, se cortaron tiras de la biopelícula de un tamaño de 45 mm de longitud y 25 mm de ancho. El implemento de perforación se mantuvo a una velocidad de 0.1mm/s, y una distancia entre implemento y base de 50 mm. La fuerza de perforación se calculó en base al desplazamiento de la sonda hasta la rotura y la distancia media de la película según la Ecuación 6.

$$\text{Resistencia a la perforación (h)} = \frac{F_p}{L} \quad [6]$$

Donde:

Fp = Pico de fuerza antes de la ruptura (N).

L = Grosor de la película (mm).

Módulo de Young

En este análisis, incluyó tres parámetros, que son fuerza de tensión, porcentaje de elongación, y módulo de Young, basado en la norma ASTM 828-95. En este análisis se cortaron tiras de 40 mm de

largo y 15 mm de ancho, y el texturómetro con una velocidad de 0.1 mm/s. El módulo de Young se calculó con la Ecuación 7.

$$\text{Módulo de Young} = \frac{\text{Tensión de estrés}}{\text{Deformación}} \quad [7]$$

Índice de Solubilidad (ISA)

Se cortaron dos círculos con diámetro de 15 mm y se pesaron. Uno de ellos se secó 24 horas a 105 °C y luego se pesó. El otro se puso en un tubo de ensayo de 50 mL de agua desionizada durante 24 horas a temperatura ambiente (25 °C), y fue agitado suavemente cada tres horas. Luego para obtener la solubilidad, este círculo fue sacado del tubo de ensayo, y se puso a secar a 105 °C por 24 horas y luego se pesó (Cesar 2018). El % de solubilidad se obtuvo según la Ecuación 8.

$$\% \text{Solubilidad} = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100 \quad [8]$$

Donde:

P_i = Peso inicial (g).

P_f = Peso final (g).

Permeabilidad a Vapor de Agua (PVA)

Este método se realizó por el método de ASTM E96-80. Se cortaron círculos con diámetro de 20 mm y se colocaron en vasos volumétricos con 30 ± 2 gramos de agua desionizada a temperatura ambiente (25 °C). Estos vasos volumétricos se colocaron en desecadores, durante siete días. Se pesaron cada 24 horas y fue calculado según la Ecuación 9.

$$\text{PVA} = C \left(\frac{x}{A \Delta P} \right) \quad [9]$$

Donde:

C = Pendiente, (g/h)

A = area de permeabilidad, (m²)

x = Grosor de la película, (m)

ΔP = diferencia de presiones entre el gel de silicato (0 kPa a 25 °C) y el vapor de agua pura (3.167 kPa a 25 °C).

Análisis de Biodegradabilidad

Este se realizó con muestras de la biopelícula, previamente utilizados en los análisis anteriores. Se cortaron rectángulos de las biopelículas de medidas de 1.5 cm de ancho y 2 cm de largo. Estas muestras se colocaron en un área de suelo, en el cual se esperó tres semanas. Luego de ese tiempo, se observaron los cambios en la biopelícula. Todo el proceso llevado a cabo en las biopelículas se describe en la Figura 1.

Diseño Experimental

Se utilizó un diseño central compuesto, factorial 2^2 de un modelo de segundo orden rotacional, ya que se quiere encontrar la localización del valor óptimo, y que este ayude a proporcionar las estimaciones precisas en todas las direcciones. Se realizaron pruebas preliminares, luego se seleccionó el mejor tratamiento de acuerdo con las mejores propiedades físicas de la biopelícula para posteriormente realizar una optimización mediante un análisis de superficie de respuesta. El número de unidades experimentales para esta metodología fue un completo factorial definido por la Ecuación 10.

$$n = 2^k + 2k + m \quad [10]$$

Donde:

n = número de observaciones.

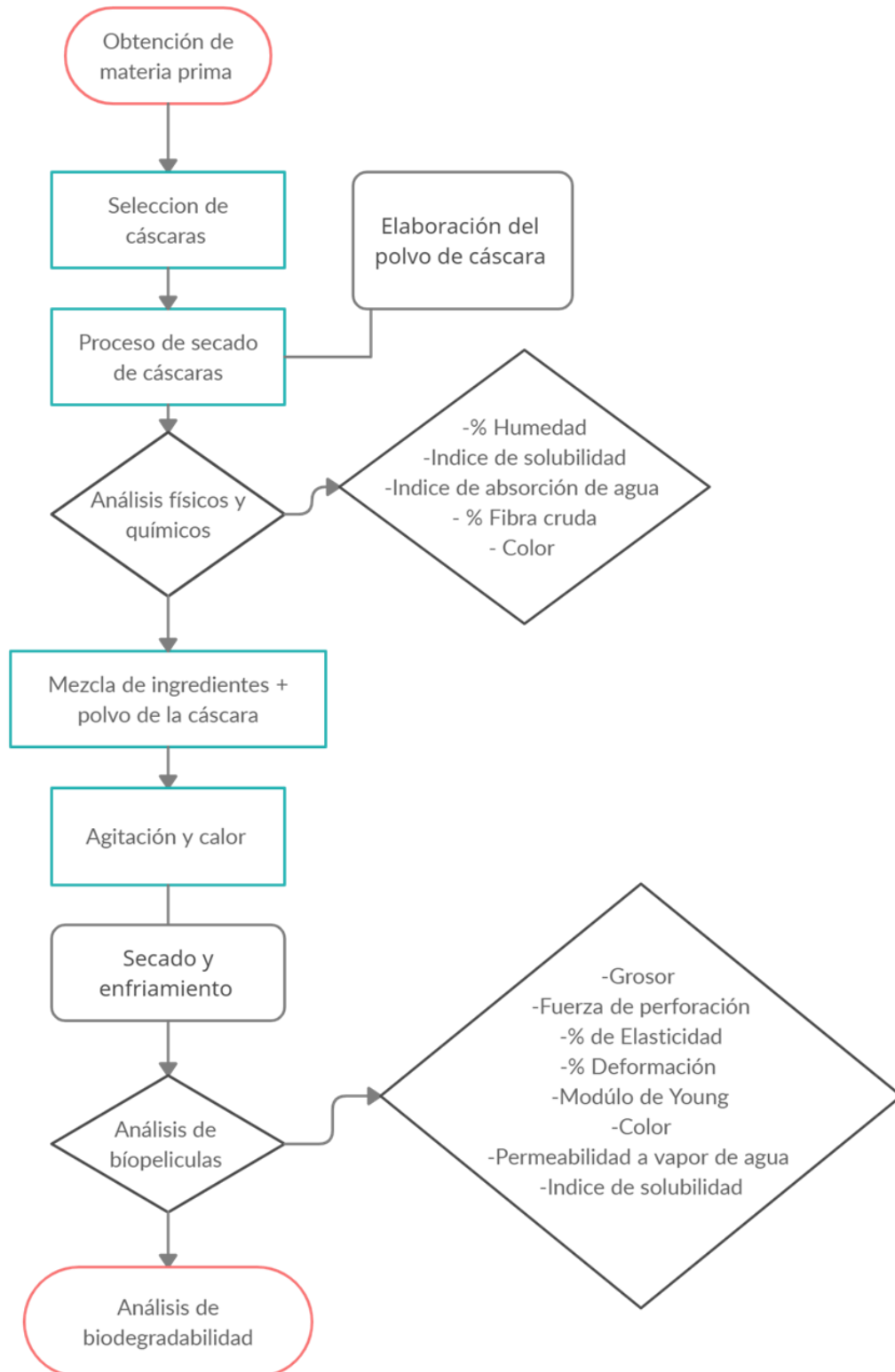
2^k = número de puntos factoriales.

$2k$ = número de puntos axiales.

m = número de réplicas del punto central.

Figura 1

Flujo de proceso de elaboración de la biopelícula.



Este modelo presenta dos niveles axiales, que son codificados como $-\alpha$ y $+\alpha$. El valor de alfa depende del número factorial ($F = 2^k$), del diseño y del número de variables independientes ($K = 2$), y se definió según la Ecuación 11.

$$\pm \alpha = (F)^{1/4} = (2^k)^{1/4} = (2^2)^{1/4} = 1.4142 \quad [11]$$

Se utilizaron dos variables independientes (Porcentaje de cáscara de naranja y almidón) y dos niveles codificados, obteniendo un total de 14 unidades experimentales (Cuadro 2), siendo cuatro factoriales, combinación de los niveles -1 y +1, cuatro axiales $-\alpha$ y $+\alpha$ (Cuadro 3), y seis puntos centrales, sirviendo como estimado del error experimental y determinando la precisión del modelo matemático (Cuadro 4).

Cuadro 2

Formulación con valores codificados y reales para la realización de la biopelícula.

Tratamientos	Niveles codificados		Niveles reales	
	Almidón	Cáscara de Naranja	% Almidón	% Cáscara de Naranja
1	-1	-1	4.00	0.30
2	-1	1	4.00	1.30
3	1	-1	5.10	0.30
4	1	1	5.10	1.30
5	-1.41	0	3.75	0.80
6	1.41	0	5.31	0.80
7	0	-1.41	4.60	0.09
8	0	1.41	4.60	1.51
9 ©	0	0	4.60	0.80
10 ©	0	0	4.60	0.80
11 ©	0	0	4.60	0.80
12 ©	0	0	4.60	0.80
13 ©	0	0	4.60	0.80
14 ©	0	0	4.60	0.80

Nota. ©: Punto central del experimento.

Para poder predecir el comportamiento de cada variable, se realizó un análisis de regresión con un modelo polinomial cuadrático con las variables (X_k) para cada una de las respuestas (Y). Esta predicción se realizó con la Ecuación 12.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 L_1 + \beta_2 C_1 + \beta_3 L_2 + \beta_4 C_2 + \varepsilon \quad [12]$$

Donde:

Y_i = Variable respuesta (Dependiente).

β_0 = Coeficiente de regresión del intercepto del análisis.

β_1, β_3 = Coeficientes de regresión de las variables independientes en forma lineal.

β_2, β_4 = Coeficientes de regresión de las variables independientes de forma cuadrática.

L_1, L_2 = Valores reales de las variables independientes de forma lineal.

C_1, C_2 = Valores reales de las variables independientes de forma cuadrática.

ε = Error experimental.

Cuadro 3

Niveles codificados de las variables independientes en el experimento.

Variables Independientes	Niveles				
	$-\alpha$	-1	0	1	$+\alpha$
% Almidón	3.8	4.0	4.6	5.1	5.3
% Cáscara de Naranja	0.1	0.3	0.8	1.3	1.5

Cuadro 4

Descripción del diseño experimental.

Expresión	Tratamientos	Puntos
$2^k = 2^2$	4	Factoriales
$2k = 2*2$	4	Axiales
m	6	Centrales

Formulación

En el Cuadro 5 se muestra la formulación en porcentaje de las biopelículas, tomando esta formulación preliminar como base, para realizar los catorce tratamientos evaluados.

Cuadro 5

Formulación preliminar de la biopelícula.

% Cáscara de naranja	% Almidón	% Agua	% glicerol	% Sorbato de potasio
0.8	4.6	87.76	5.36	0.09

Resultados y Discusión

Caracterización del Polvo de Cáscara de Naranja

Es fundamental la caracterización de la cáscara de naranja como parte del desarrollo de nuevos productos, ya que mejora el entendimiento de los resultados de los productos elaborados. En el Cuadro 6 se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al polvo de cáscara de naranja.

Se puede observar en el Cuadro 6, que el polvo de cáscara de naranja tiene un contenido de humedad de 7.19%, de igual manera Iftikhar y colaboradores reportaron en su investigación, que la harina de cáscara de naranja contiene 7.62% de humedad (Iftikhar et al. 2019).

En cuanto a la fibra cruda, se obtuvo de este análisis un resultado de 16.92%, diferente a lo reportado por Adewole y colaboradores, con un % de fibra cruda de 12.47 (Adewole et al. 2014). Esto se debió a que en su estudio utilizaron diferentes tiempos y temperaturas, lo cual afectó sus resultados. La cáscara de naranja es una fuente considerable de fibra, comparado con otras harinas. Según Osorio y Rubiano (2019), la fibra permite mejorar las propiedades y obtener un tiempo de degradación considerable. Esto se debe a que las fibras vegetales cuentan con un sin número de propiedades físicas y químicas, que las convierten en un excelente material para ser utilizado en la fabricación textil, de papel, industrial y alimentario, además de ser un recurso renovable y biodegradable, por lo tanto, su impacto ambiental es bajo. Las fibras vegetales están compuestas por polisacáridos que le brindan la rigidez y la flexibilidad a la pared celular. Tienen baja densidad lo que les otorga una elevada resistencia específica, esta condición se debe a su dureza y su relación de forma. Son de origen orgánico, con lo cual son de fácil biodegradabilidad. La resistencia y rigidez de las fibras son proporcionadas por los componentes de celulosa a través de enlaces de hidrógeno y otros enlaces. (Osorio Herrera y Rubiano Hernandez 2019). Por lo que el contenido de fibra dentro de la biopelícula puede afectar positivamente.

En cuanto al índice de absorción de humedad, como se indica en el Cuadro 6, se obtuvo un índice de 15.02, lo cual indica que la cáscara puede absorber 15 veces su peso original en agua, ya que tiene excelentes propiedades absorbentes, esto se debe a que la cáscara de naranja es fuente de pectina. La pectina es un polisacárido que absorbe gran cantidad de agua y es un componente tecnológicamente funcional de interés para la industria de alimentos en el desarrollo de productos debido a que sus propiedades reológicas son apropiadas para la elaboración de jaleas, mermeladas, salsas, entre otros, aportando así a la textura y consistencia. En base a la biopelícula, al momento de formar la mezcla, es bueno tener esas propiedades absorbentes de la pectina, ya que, este tipo de fibra en contacto con el agua forma un retículo en el que el agua queda atrapada es decir es absorbida e incorpora todos los elementos utilizados, esto es importante ya que el agua al ser un plastificante, este mejora la textura y resistencia de la biopelícula (Urango-Anaya et al. 2018).

El índice de solubilidad es la capacidad de una muestra de disolverse en agua. Es definido como el volumen de sedimentos en mililitros después de la centrifugación (GEA 2006). En el cuadro 6 se puede observar un índice de solubilidad de agua de 14.90%. A diferencia de la investigación de Abou-Arab y colaboradores, que obtuvieron un resultado de 29% a 90 °C (Abou-Arab et al. 2017). Esta diferencia se debió a la desigualdad de temperaturas utilizadas en las dos investigaciones, ya que, al momento de secar las biopelículas, Abou-Arab y colaboradores, obtuvieron una solubilidad mayor en comparación a esta investigación, ya que utilizaron una temperatura menor.

Los valores obtenidos de color en la escala HunterLab fueron, para L = 80.48, lo cual indica luminosidad, a =1.81, que indica los valores entre verde y rojo y b = 40.72, que indica los valores con tonalidades de color amarillo.

Cuadro 6

Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al polvo de cáscara de naranja.

Análisis	\bar{X}	D.E.	CV (%)
Humedad (%)	7.19	0.14	2.00
ISA (%)	14.90	0.98	6.59
IAA	15.02	0.82	4.44
Fibra cruda (%)	16.92	1.28	7.56
L	80.48	0.08	0.10
a	1.81	0.01	0.32
b	40.72	0.36	0.88

Nota. \bar{X} : Media. D.E: Desviación Estándar. CV: Coeficiente de Variación. ISA: Índice de solubilidad, IAA: Índice de Absorción de Agua.

Elaboración y Caracterización de la Biopelícula a Partir de Polvo de Cáscara de Naranja

Grosor

Según el diccionario de la lengua española, el grosor es el espesor de un objeto (WordReference 2005). El grosor puede afectar significativamente las propiedades físicas, químicas y mecánicas de una biopelícula. El grosor varió dependiendo de la manera en cómo se dispersó la solución en los platos Petris y de la cantidad de almidón y cáscara de naranja que se utilizó. Como se muestra en el Cuadro 7, el rango entre los tratamientos fue de 0.24 a 0.39 mm. Se obtuvo un coeficiente de variación de 17%, por lo que si hubo variación entre los tratamientos. Además, en el Cuadro 8 se puede observar que el porcentaje de almidón en su función lineal y cuadrática son significativos, lo cual indica que existe un punto más bajo (4.8 mm) y partiendo de ahí, se observa que a medida aumenta el porcentaje de almidón aumenta su grosor, así mismo, si disminuyera el porcentaje de almidón desde el punto más bajo (4.8 mm), también aumentaría el grosor (Figura 2). Esto se debe a la estructura cristalina y compacta que forma el almidón, al poseer en su composición mayor cantidad de amilopectina que amilosa, por esa razón es el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional (Espesante, estabilizante y gelificante). En cuanto a la cáscara naranja, esta fue significativa solo en la parte lineal, ya que a medida aumenta la cantidad de este resulta en un grosor mayor de la biopelícula, y no alcanza un punto óptimo. Según Chrivi y Torres (2019), esta pectina al ser de bajo metoxilo y no contener calcio, este tiene un bajo poder de gelificación (Chrivi Torres y

Palencia Suarez 2019). En la Ecuación 13 se puede observar el comportamiento de las variables para el análisis de grosor:

$$\text{Grosor (mm)} = 3.1068 - 1.2602 L1 + 0.1445 C1 - 0.1960 L2 + \epsilon \quad [13]$$

Donde:

L1 = Almidón lineal.

C1= Almidón cuadrático.

L2= Cáscara de naranja lineal.

ϵ = Error experimental.

Cuadro 7

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en el grosor de la biopelícula.

Tratamientos	% Almidón	% Cáscara de naranja	Grosor (mm)	D.E.	CV (%)
1	4.0	0.3	0.35	0.02	8.86
2	4.0	1.3	0.28	0.03	6.72
3	5.1	0.3	0.39	0.03	7.24
4	5.1	1.3	0.34	0.03	7.91
5	3.8	0.8	0.29	0.03	9.87
6	5.3	0.8	0.38	0.04	9.44
7	4.6	0.1	0.34	0.02	8.72
8	4.6	1.5	0.25	0.03	6.50
9	4.6	0.8	0.29	0.01	1.91
10	4.6	0.8	0.25	0.02	8.47
11	4.6	0.8	0.24	0.02	6.73
12	4.6	0.8	0.24	0.02	7.25
13	4.6	0.8	0.28	0.02	6.63
14	4.6	0.8	0.29	0.01	3.90
CV (%)					17

Nota. CV: coeficiente de Variación.

Cuadro 8

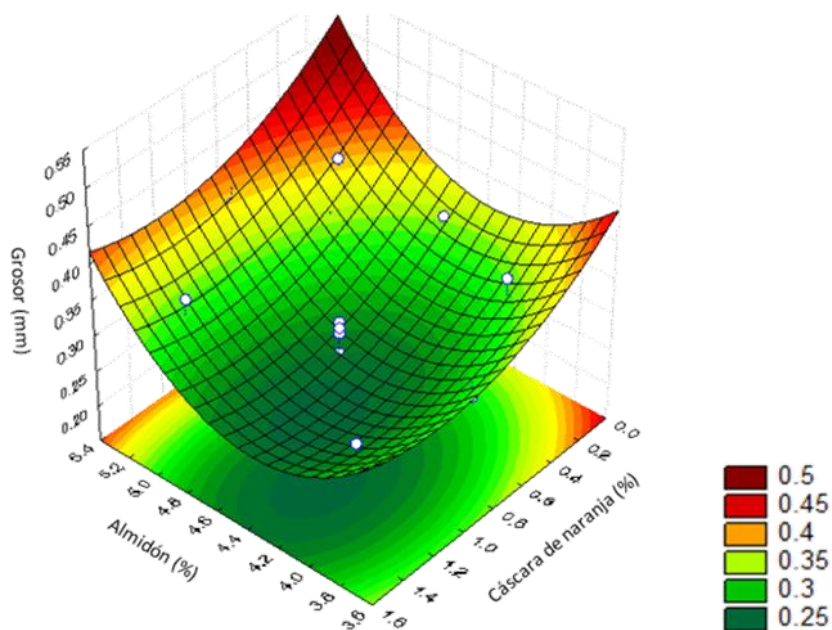
Coefficiente de regresión y probabilidad en el grosor de la biopelícula.

Factor	Coefficiente (β)	Valor P
Intercepto	3.1068	0.0034*
Almidón (L1)	-1.2602	0.0160*
Almidón (C1)	0.1445	0.0042*
Cáscara de naranja (L2)	-0.1960	0.0137*
Cáscara de naranja(C2)	0.0835	0.0626 ^{NS}
	R ²	0.87

Nota. R2: Coeficiente de determinación. Valor con * posee diferencia significativa en el modelo ($P < 0.05$). L1=almidón lineal. C1= almidón cuadrático. L2=Cáscara de naranja lineal. C2=Cáscara de naranja cuadrática. NS= No Significativo.

Figura 2

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en el grosor de la biopelícula.



Resistencia a Perforación

Es una categoría de estándares de prueba que se enfoca en medir la capacidad de una muestra, generalmente película, goma o papel para resistir la rotura de una sonda cuando se aplica fuerza a una velocidad constante (United Testing Systems 2021). El pico de fuerza para la ruptura (N) y el grosor (mm), son los dos factores que afectan el resultado de este análisis. Entre los tratamientos evaluados, como se indica en el Cuadro 9, el tratamiento 12 fue el que obtuvo una mayor resistencia

a la perforación (8.31 N/mm), al ser uno de los tratamientos que contiene mayor cantidad de almidón, y el tratamiento cinco obtuvo la menor resistencia (2.57 N/mm), ya que este en comparación con el tratamiento 12, contiene menor cantidad de almidón, así mismo se puede observar que los dos tratamientos contienen el mismo porcentaje de cáscara de naranja, por esa razón, lo que los hace diferentes es que entre mayor cantidad de almidón hace mejor interacción con la fibra de la cáscara de naranja. Esto se debe a que el % de cáscara de naranja en combinación con el porcentaje de almidón son significativos tanto lineal, como cuadrático (Cuadro 10) en la resistencia de la biopelícula a romperse. Sin embargo, al ser más significativa en la parte cuadrática de ambas variables (Cuadro 10), se obtuvo un punto óptimo como se muestra en la Figura 3. Siendo este 4.6% de almidón y 0.8% de cáscara de naranja, los cuales eran los tratamientos del punto central. Se observó que este tratamiento tiene mayor cantidad de almidón y menor cáscara de naranja. Esto sucede ya que, el almidón tiene una estructura más cristalina y compacta porque contiene el 75% de amilopectina. Asimismo, la pectina forma geles que consisten en moléculas poliméricas con enlaces entrecruzados en la red, interconectada y densa, y esta al ser un tipo de fibra, mejora las características de la biopelícula en combinación con el almidón (Alfonso Garcia 2010). En la Ecuación 14 se puede observar el comportamiento de las variables para el análisis de resistencia de perforación:

$$\text{Perforación } \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right) = -82.8344 + 35.8667L1 - 3.7564C1 + 9.6948L2 - 4.8355C2 + \varepsilon \quad [14]$$

Donde:

L1 = Almidón lineal.

C1= Almidón cuadrático.

L2= Cáscara de naranja lineal.

C2= Cáscara de naranja cuadrático.

ε = Error experimental.

Cuadro 9

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la perforación de la biopelícula.

Tratamientos	% Almidón	% Cáscara de naranja	Resistencia a la perforación (N/mm)
2	4.0	1.3	4.36
1	4.0	0.3	4.88
4	5.1	1.3	6.15
3	5.1	0.3	3.20
5	3.8	0.8	2.57
6	5.3	0.8	7.97
8	4.6	1.5	7.08
7	4.6	0.1	3.26
9	4.6	0.8	7.16
10	4.6	0.8	7.26
11	4.6	0.8	7.92
12	4.6	0.8	8.31
13	4.6	0.8	6.52
14	4.6	0.8	6.66
		CV (%)	32.52

Nota. CV: Coeficiente de Variación.

Cuadro 10

Coeficiente de regresión y probabilidad en la resistencia a perforación de la biopelícula.

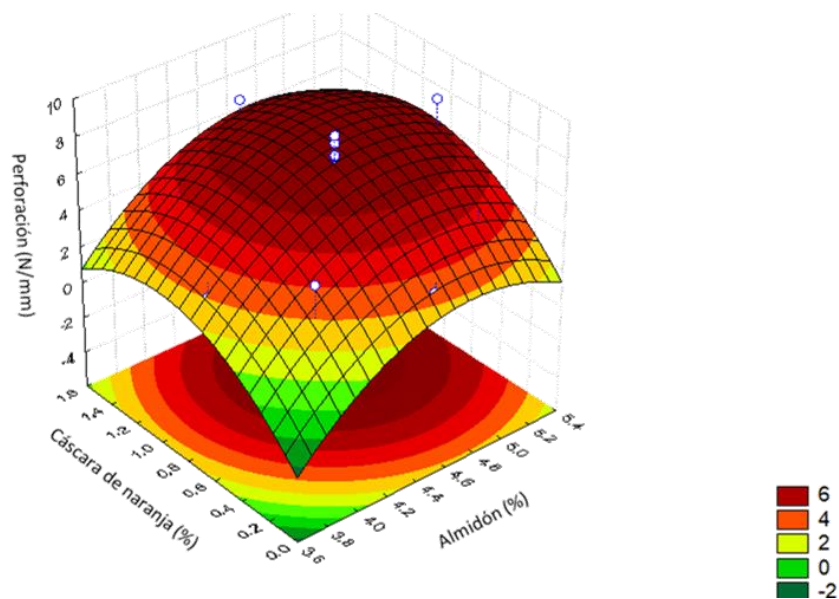
Factor	Coeficiente	Valor P
Intercepto	-82.8344	0.005181*
Almidón (L1)	35.8667	0.013328*
Almidón (C1)	-3.7564	0.007059*
Cáscara de naranja (L2)	9.6948	0.010571*
Cáscara de naranja(C2)	-4.8355	0.005261*
R^2		0.72

Nota. R^2 : Coeficiente de determinación. Valor con * posee diferencia significativa en el modelo ($P < 0.05$). L1=almidón lineal. C1= almidón

cuadrático. L2=Cáscara de naranja lineal. C2= Cáscara de naranja cuadrática.

Figura 3

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la perforación de la biopelícula.



Elongación

Es cuando un cuerpo es sometido a la acción de fuerzas externas y sufre alargamientos o acortamientos en una dirección dada, los cuales reciben el nombre de deformaciones (Kmilytha 2011). El rango de los porcentajes de elongación encontrados varió entre 7.50-30%, estas variaciones se deben al porcentaje de cáscara de naranja. En el Cuadro 11 se observa el porcentaje de elongación para las biopelículas. Se encontró que el tratamiento 4 presentó un mayor porcentaje de elongación en comparación con los otros tratamientos, resultando en un 30% de elongación, y el tratamiento dos obtuvo el menor valor (7.50%). Como se indica en el Cuadro 12, la cáscara de naranja tiene significancia en la parte lineal, ya que, a menor porcentaje de cáscara de naranja, mayor elongación (Figura 4). Esto es diferente a los resultados de Mayhuire y colaboradores en el 2019, que indican que la concentración de pectina influye positivamente en la variable porcentaje de elongación, por esta razón los tratamientos que contenían altas concentraciones de pectina lograron una mayor elongación a diferencia de los tratamientos con menor concentración de este componente (Alata

Mayhure et al. 2019). Asimismo, Ruano y colaboradores reportaron en su investigación, que al aumentar el porcentaje de pectina en sus biopelículas, aumentó el % de elongación (Masuelli 2020; Ruano et al. 2020). Esta diferencia se dio ya que los porcentaje reportados en sus investigaciones, estuvieron entre 50-70% de pectina, a diferencia de este estudio que se usó un máximo de porcentaje de pectina de 1.5%. En la Ecuación 15 se puede observar el comportamiento de las variables para el análisis de elongación:

$$\text{Elongación (\%)} = - 26.5947L2 + \varepsilon \quad [15]$$

Donde:

L2= Cáscara de naranja lineal.

ε = Error experimental.

Cuadro 11

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la elongación de la biopelícula.

Tratamientos	% Almidón	% Cáscara de naranja	Elongación (%)
2	4.0	1.3	7.50
1	4.0	0.3	25.00
4	5.1	1.3	15.20
3	5.1	0.3	30.00
5	3.8	0.8	27.00
6	5.3	0.8	25.03
8	4.6	1.5	24.00
7	4.6	0.1	25.00
9	4.6	0.8	20.00
10	4.6	0.8	25.00
11	4.6	0.8	19.00
12	4.6	0.8	28.00
13	4.6	0.8	24.00
14	4.6	0.8	15.03
CV (%)			27.67

Nota. CV: Coeficiente de Variación.

Cuadro 12

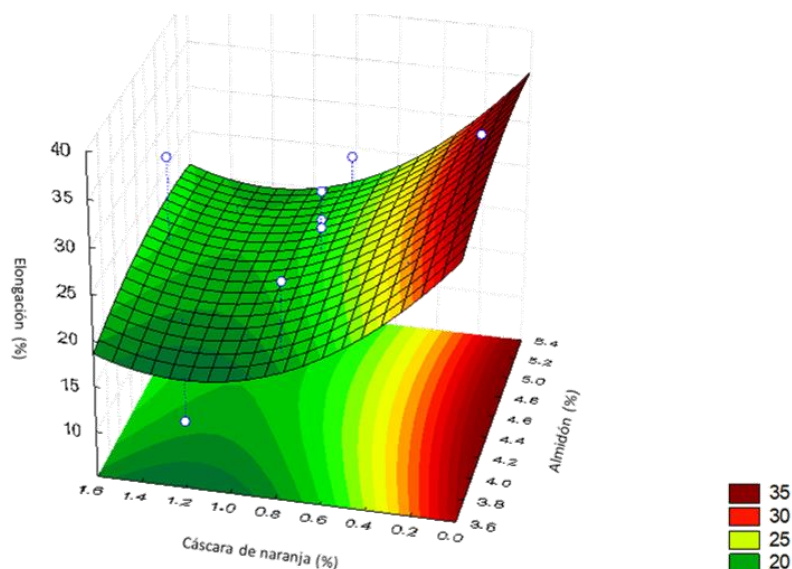
Coefficiente de regresión y probabilidad en la elongación de la biopelícula.

Factor	Coefficiente	Valor P
Intercepto	-12.6463	0.9189 ^{NS}
Almidón (L1)	20.1451	0.7045 ^{NS}
Almidón (C1)	-2.0799	0.7332 ^{NS}
Cáscara de naranja (L2)	-26.5947	0.0432*
Cáscara de naranja(C2)	11.0297	0.1719 ^{NS}
	R ²	0.34

Nota. R²: Coeficiente de determinación. Valor con * posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05). L1=almidón lineal. C1= almidón cuadrático. L2=Cáscara de naranja lineal. C2= Cáscara de naranja cuadrática. NS= No Significativo.

Figura 4

Efecto del almidón y cáscara de naranja en la elongación de la biopelícula.



Fuerza de Tensión

Es la carga máxima que puede soportar un material sin fracturarse al ser estirado, dividida por el área de la sección transversal original del material (The Editors of Encyclopaedia Britannica 2020). Se considera como tal, a la reacción que opone el material de un cuerpo frente a una sollicitación externa (De tensión, compresión, cortante) que tiende a producir un cambio en su tamaño o forma (Kimilytha 2011). En el Cuadro 13, se pueden observar los resultados de la fuerza de tensión (MPa). en los cuales se encontró que los tratamientos seis y ocho, son los que obtuvieron mayor fuerza de

tensión (Figura 5). En el Cuadro 14 se observa que existe significancia lineal para el porcentaje de almidón y de cáscara en los resultados del análisis de la fuerza de tensión. Estos resultados coinciden con la investigación de Mayhuire y colaboradores en el 2019, que reportaron que la resistencia a la tensión aumenta por efecto de la adición de pectina (Alata Mayhuire et al. 2019). Así mismo, López y colaboradores indican que la pectina tiene un efecto positivo al aumentar la fuerza de tensión al contrario de la elongación, esto se debe a que la pectina forma estructuras con enlaces entrecruzados, que permiten una mayor compactación en la estructura. El almidón de maíz tiene una mayor fuerza de tensión porque la estructura del almidón de maíz es más compacta, a comparación con otros tipos de almidones evaluados, como arroz y papa (Lopez Domene et al. 2019). En la Ecuación 16 se puede observar el comportamiento de las variables para el análisis de fuerza de tensión:

$$\text{Fuerza de tensión (MPa)} = 0.59203L1 + 0.38845L2 + \varepsilon \quad [16]$$

Donde:

L1 = Almidón lineal.

L2= Cáscara de naranja lineal.

ε = Error experimental.

Cuadro 13

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la fuerza de tensión de la biopelícula.

Tratamientos	% Almidón	% Cáscara de naranja	Fuerza de tensión (MPa)
2	4.0	1.3	0.08
1	4.0	0.3	0.16
4	5.1	1.3	0.31
3	5.1	0.3	0.12
5	3.8	0.8	0.15
6	5.3	0.8	0.45
8	4.6	1.5	0.41
7	4.6	0.1	0.11
9	4.6	0.8	0.28
10	4.6	0.8	0.36
11	4.6	0.8	0.24
12	4.6	0.8	0.36
13	4.6	0.8	0.26
14	4.6	0.8	0.21
		CV (%)	46.84

Nota. CV: coeficiente de Variación.

Cuadro 14

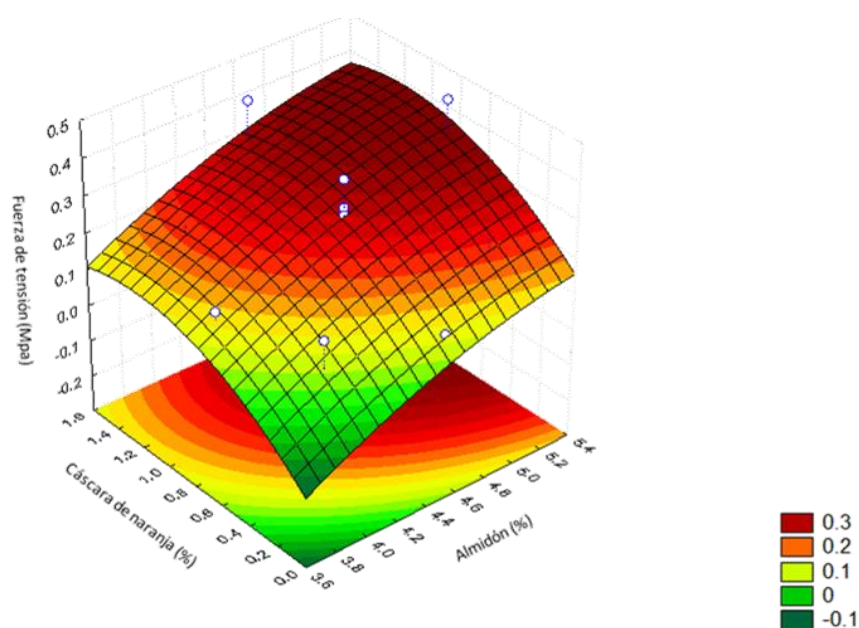
Coefficiente de regresión y probabilidad en la fuerza de tensión de la biopelícula.

Factor	Coefficiente	Valor P
Intercepto	-1.59604	0.3578 ^{NS}
Almidón (L1)	0.59203	0.0181*
Almidón (C1)	-0.04969	0.5471 ^{NS}
Cáscara de naranja (L2)	0.38845	0.0287*
Cáscara de naranja(C2)	-0.15852	0.1467 ^{NS}
R ²		0.55

Nota. R²: Coeficiente de determinación. Valor con * posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05). L1=almidón lineal. C1= almidón cuadrático. L2=Cáscara de naranja lineal. C2= Cáscara de naranja cuadrática. NS= No Significativo.

Figura 5

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la fuerza de tensión de la biopelícula.



Módulo de Young

Es la constancia de la relación entre tensiones y deformaciones específicas (Kimilytha 2011). En el Cuadro 15 se observa que el mayor valor reportado en MPa es para el tratamiento cuatro, y el valor más bajo fue el del tratamiento siete, el cual contiene poca cantidad de almidón y el menor porcentaje de cáscara (Figura 6). Así mismo en el Cuadro 16 se muestra la significancia lineal del % de almidón y de cáscara de naranja para el módulo de Young. Estos resultados coinciden con Lopez y colaboradores, donde obtuvieron los valores más altos en módulo de Young, para el almidón de maíz (Lopez Domene et al. 2019). Por otro lado, en la investigación de Sun en el 2014, se indicó que al preparar una solución de 7.5 g de almidón de maíz, 3 g de glicerol y 100 mL de agua destilada, se obtuvo un módulo de Young de 1.82 MPa (Sun et al. 2014), los cuales se asemejan a los resultados obtenidos en este estudio, con un resultado de 1.72 MPa, con proporciones de almidón, glicerol, y agua similares. Esto se debe a que los factores que influyen son la fuerza de estrés ejercida y la deformación lograda, por lo que, a una mejor estructura formada de las biopelículas, mayor su módulo de Young. Esto coincide con la definición de Newcomb Spring Corp, la cual indica que el módulo de

Young es la medida de la tenacidad y rigidez del material del resorte, o su capacidad elástica (Newcomb Spring Corp 2018). Mientras mayor el valor (módulo), más rígido el material. A la inversa, los materiales con valores bajos son más fáciles de doblar bajo carga. Esta variable está relacionada con la resistencia a la perforación y la fuerza de tensión, ya que entre mayor módulo de Young se tendrá una fuerza de tensión y resistencia a la perforación mayor. En la Ecuación 17 se puede observar el comportamiento de las variables para el análisis de módulo de Young:

$$\text{Módulo de Young (MPa)} = 0.43972L1 + 1.78329L2 + \varepsilon \quad [17]$$

Donde:

L1 = Almidón lineal.

L2= Cáscara de naranja lineal.

ε = Error experimental.

Cuadro 15

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en el Módulo de Young de la biopelícula.

Tratamientos	% Almidón	% Cáscara de naranja	Módulo de Young (MPa)
2	4.0	1.3	1.16
1	4.0	0.3	0.61
4	5.1	1.3	1.72
3	5.1	0.3	0.41
5	3.8	0.8	0.59
6	5.3	0.8	1.60
8	4.6	1.5	1.25
7	4.6	0.1	0.35
9	4.6	0.8	1.26
10	4.6	0.8	0.88
11	4.6	0.8	1.11
12	4.6	0.8	1.15
13	4.6	0.8	0.98
14	4.6	0.8	1.40
CV (%)			40.91

Nota. CV: Coeficiente de Variación.

Cuadro 16

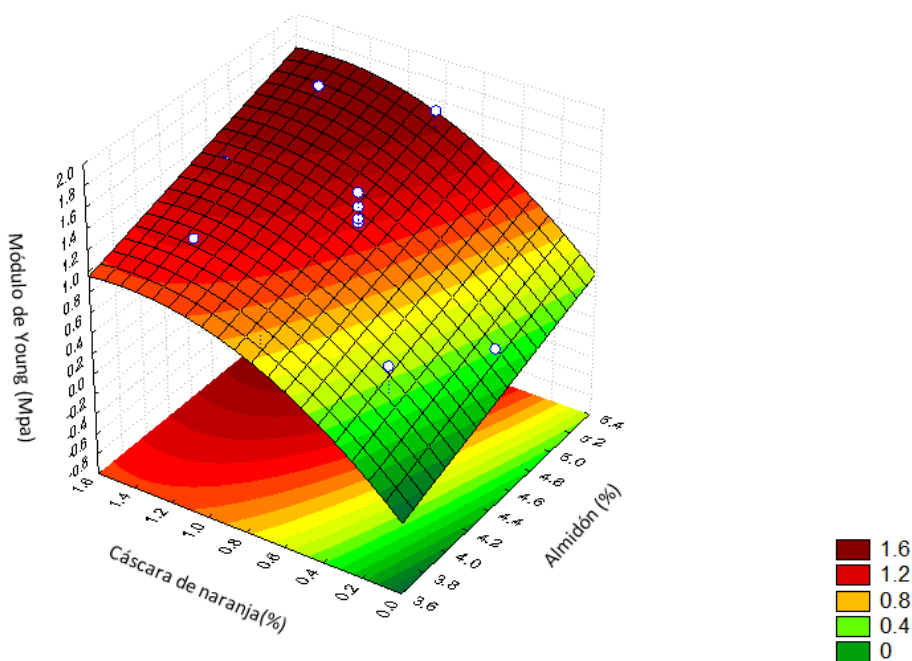
Coefficiente de regresión y probabilidad del módulo de Young de la biopelícula.

Factor	Coefficiente	Valor P
Intercepto	-1.83926	0.7130 ^{NS}
Almidón (L1)	0.43972	0.0203*
Almidón (C1)	-0.00374	0.9877 ^{NS}
Cáscara de naranja (L2)	1.78329	0.0019*
Cáscara de naranja(C2)	-0.62456	0.0736 ^{NS}
	R ²	0.78

Nota. R²: Coeficiente de determinación. Valor con * posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05). L1=almidón lineal. C1= almidón cuadrático. L2=Cáscara de naranja lineal. C2= Cáscara de naranja cuadrática. NS= No significativo.

Figura 6

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en el Módulo de Young de la biopelícula.

**Solubilidad**

Está definida como la capacidad de un material o muestra de disolverse en un volumen de agua. En el Cuadro 17, se observan los resultados del % de solubilidad de las biopelículas. En el Cuadro 18, se observa que no hay diferencia significativa, ya que todos los 14 tratamientos evaluados se solubilizaron con valores semejantes, por esa razón el coeficiente de variación es de 8.15%. Así mismo

en la Figura 7, se observa el valor óptimo para solubilidad, siendo el tratamiento 10, con 4.6% de almidón y 0.8% de cáscara de naranja. Esto se relaciona con los resultados de Galus y su equipo de investigación, que indicaron que cuando la pectina se combina con otros polisacáridos se obtienen biopelículas continuas, homogéneas y transparentes que poseen un carácter hidrofílico (Sabina Galus y Lenart 2013). Por esa razón, las biopelículas al ser hidrofílicas se solubilizaron en mayor proporción. Así mismo, al usar 300 rpm en la preparación de la mezcla, las moléculas de pectina reducen su tamaño, y su distancia entre poros, por lo que aumenta su área superficial, y cuando sucede esto, la pectina absorbe una mayor cantidad de agua, lo cual hace que, al momento de ubicar la biopelícula en agua, las moléculas de oxígeno e hidrogeno interactúen entre sí.

Cuadro 17

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la solubilidad de la biopelícula.

Tratamientos	Almidón %	Cáscara de naranja %	Solubilidad %
2	4.0	1.3	70.25
1	4.0	0.3	68.72
4	5.1	1.3	64.74
3	5.1	0.3	70.42
5	3.8	0.8	69.64
6	5.3	0.8	62.80
8	4.6	1.5	63.72
7	4.6	0.1	65.80
9	4.6	0.8	74.95
10	4.6	0.8	82.52
11	4.6	0.8	63.36
12	4.6	0.8	75.31
13	4.6	0.8	75.20
14	4.6	0.8	71.88
		CV (%)	8.15

Nota. CV: coeficiente de Variación.

Cuadro 18

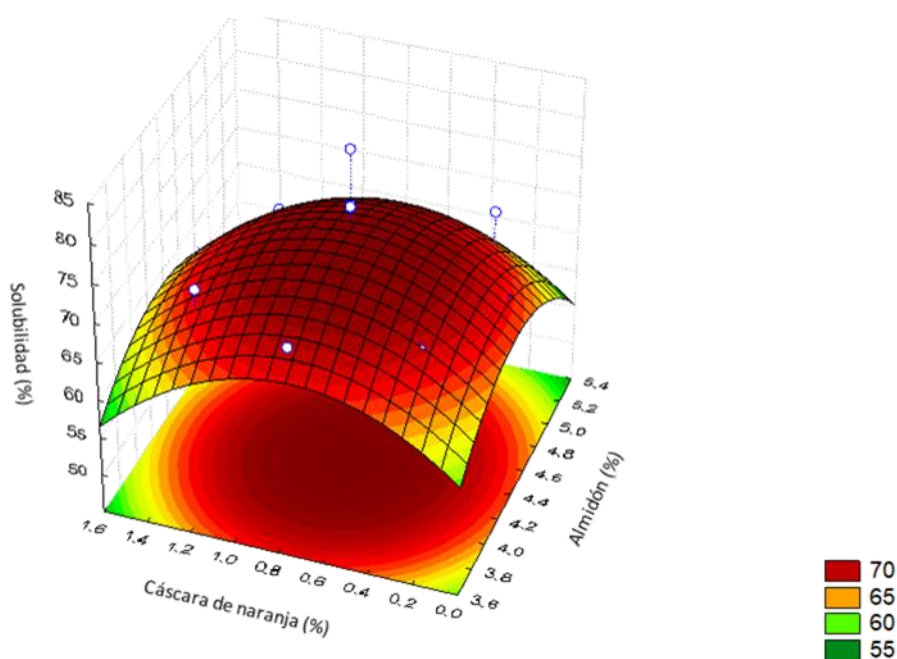
Coefficiente de regresión y probabilidad en la solubilidad de la biopelícula.

Factor	Coefficiente	Valor P (NS)
Intercepto	-136.814	0.4223
Almidón (L1)	92.332	0.4474
Almidón (C1)	-10.51	0.2279
Cáscara de naranja (L2)	22.613	0.7046
Cáscara de naranja (C2)	-15.239	0.1576
	R ²	0.45

Nota. R²: Coeficiente de determinación. Valor con * posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05). L1=almidón lineal. C1= almidón cuadrático. L2=Cáscara de naranja lineal. C2= Cáscara de naranja cuadrática. NS= No Significativo.

Figura 7

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la solubilidad de la biopelícula.

**Permeabilidad a Vapor de Agua**

Se mide como la masa de agua que atraviesa una superficie determinada de un material en un tiempo determinado. Esta es una propiedad importante para los materiales destinados al sector de empaques, ya que está directamente relacionada con la vida útil y estabilidad del producto envasado (Aimplas 2014). En el Cuadro 19 se observan los valores de permeabilidad a vapor de agua

para los tratamientos, y en el Cuadro 20 se refleja la significancia lineal que tiene el porcentaje de almidón y la cáscara de naranja en la permeabilidad, así como la significancia cuadrática para el porcentaje de almidón. El tratamiento tres fue el que obtuvo el mayor valor, conteniendo un porcentaje de cáscara de naranja de 0.3 y una mayor cantidad de almidón (5.1%). El tratamiento ocho obtuvo el menor valor de permeabilidad y contenía el mayor porcentaje de cáscara (Figura 8). Esto coincide con los valores encontrados por Anbari y colaboradores, ya que ellos a medida aumentaban el % de cáscara de naranja, se disminuía la permeabilidad (Con un 0% de cáscara de naranja, obtuvo una permeabilidad de $1.62E-05$, y con un 1% de cáscara obtuvo $4.17E-06$ g/m.h. kPa). Esto es positivo, ya que quiere decir que a mayor porcentaje de cáscara, mejora la permeabilidad en las biopelículas (Anbari et al. 2019). Esto es porque la pectina bajo ciertas condiciones puede gelificar y constituir una barrera apropiada para la permeabilidad de gases por la estructura que forman al gelificar (Alata Mayhuire et al. 2019). En la Ecuación 18 se puede observar el comportamiento de las variables para el análisis de permeabilidad de vapor de agua:

$$\text{PVA (g/m.h.kPa)} = 0.049595 - 0.020305L1 + 0.002328C1 - 0.002347L2 + \varepsilon \quad [18]$$

Donde:

L1 = Almidón lineal.

C1= Almidón cuadrático.

L2= Cáscara de naranja lineal.

ε = Error experimental.

Cuadro 19

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en el PVA de la biopelícula.

Tratamientos	% Almidón	% Cáscara de naranja	PVA (g/m.h. kPa)
2	4.0	1.3	4.49E-03
1	4.0	0.3	5.58E-03
4	5.1	1.3	5.58E-03
3	5.1	0.3	6.38E-03
5	3.8	0.8	4.46E-03
6	5.3	0.8	5.77E-03
8	4.6	1.5	3.75E-03
7	4.6	0.1	4.74E-03
9	4.6	0.8	4.67E-03
10	4.6	0.8	3.77E-03
11	4.6	0.8	3.80E-03
12	4.6	0.8	3.81E-03
13	4.6	0.8	4.56E-03
14	4.6	0.8	4.54E-03
CV (%)			17.70

Nota. CV: coeficiente de Variación. PVA: Permeabilidad a Vapor de Agua.

Cuadro 20

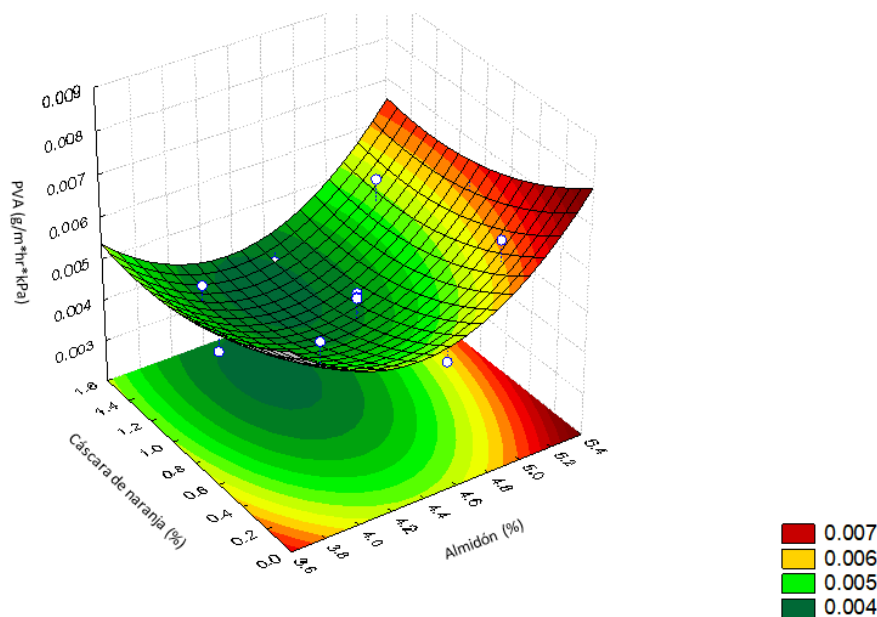
Coefficiente de regresión y probabilidad en PVA de la biopelícula.

Factor	Coefficiente	Valor P
Intercepto	0.049595	0.0064*
Almidón (L1)	-0.020305	0.0261*
Almidón (C1)	0.002328	0.0075*
Cáscara de naranja (L2)	-0.002347	0.0451*
Cáscara de naranja(C2)	0.000952	0.2007 ^{NS}
R ²		0.73

Nota. R²: Coeficiente de determinación. Valor con * posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05). L1=almidón lineal. C1= almidón cuadrático. L2=Cáscara de naranja lineal. C2= Cáscara de naranja cuadrática. NS= No Significativo. PVA: Permeabilidad a Vapor de Agua.

Figura 8

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en el PVA de la biopelícula.



Color

La diferencia de color (ΔE), es el que cuantifica la diferencia entre dos colores de muestras determinadas. En este caso se tomó como control, una muestra con valores de $L=65.48$, $a=-1.96$ y $b=4.50$, el cual no contenía cáscara de naranja. En el Cuadro 21 se presentan los valores de ΔE obtenidos. En el Cuadro 22 se puede observar que las dos variables, % de almidón y cáscara influyen en el color de la biopelícula. El valor más cercano al control fue el del tratamiento uno, ya que como se observa en su formulación tiene bajo porcentaje de cáscara. El valor más alto se obtuvo para el tratamiento cinco, ya que tiene menos cantidad de almidón y mayor cantidad de cáscara, lo cual da un color más amarillo. Por lo que, entre mayor cantidad cáscara de naranja, el ΔE aumentará (Figura 9), esto es positivo, según estudios de mercado realizados a bolsas plásticas, ya que entre los consumidores prefieren los colores blancos y amarillos para contener sus productos en bolsas, así mismo prefieren un color uniforme y no transparente. En la Ecuación 19 se puede observar el comportamiento de las variables para el análisis de color:

$$\Delta E = 56.4938 - 23.5191L1 + 2.6798C1 + 7.8882L2 - 2.5384C2 + \epsilon \quad [19]$$

Donde:

L1 = Almidón lineal.

C1= Almidón cuadrático.

L2= Cáscara de naranja lineal.

C2= Cáscara de naranja cuadrático.

ϵ = Error experimental.

Cuadro 21

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la diferencia de color de la biopelícula.

Tratamientos	% Almidón	% Cáscara de naranja	ΔE
2	4.0	1.3	10.91
1	4.0	0.3	5.44
4	5.1	1.3	11.47
3	5.1	0.3	9.73
5	3.8	0.8	12.10
6	5.3	0.8	11.15
8	4.6	1.5	11.73
7	4.6	0.1	6.00
9	4.6	0.8	9.81
10	4.6	0.8	9.83
11	4.6	0.8	9.01
12	4.6	0.8	9.89
13	4.6	0.8	9.88
14	4.6	0.8	9.88
		CV (%)	19.85

Nota. ΔE : Diferencia de color. CV: Coeficiente de Variación.

Cuadro 22

Coeficiente de regresión y probabilidad en la diferencia de color de la biopelícula.

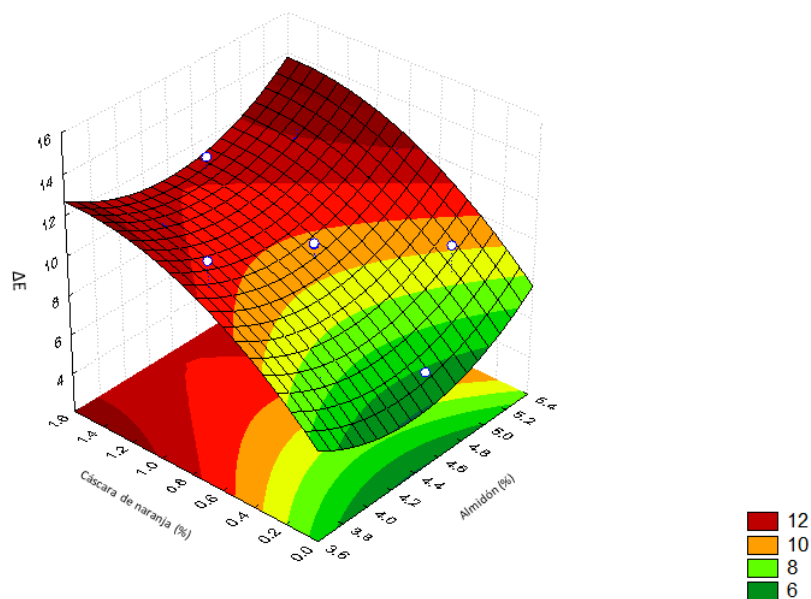
Factor	Coeficiente	Valor P
Intercepto	56.4938	0.00128*
Almidón (L1)	-23.5191	0.01153*
Almidón (C1)	2.6798	0.00146*
Cáscara de naranja (L2)	7.8882	0.00002*
Cáscara de naranja(C2)	-2.5384	0.00414*
R2		0.80

Nota. R²: Coeficiente de determinación. Valor con * posee diferencia significativa en el modelo (P < 0.05). L1=almidón lineal. C1=

almidón cuadrático. L2=Cáscara de naranja lineal. C2= Cáscara de naranja cuadrática.

Figura 9

Efecto de la cáscara de naranja y almidón en la diferencia de color de la biopelícula.































Análisis de Biodegradabilidad

Un polímero biodegradable se puede definir como uno con capacidad para descomponerse químicamente por la acción de microorganismos, obteniéndose diversos productos en función de la ausencia o presencia de oxígeno en el medio. El proceso de biodegradación de un polímero se puede llevar a cabo en diversos ambientes, en función de dónde finalice la vida útil del producto. Los cambios que se observaron después de tres semanas fueron; pérdidas de área de la biopelícula, pérdida de color, pérdida de textura y resultaron más frágiles. Estos cambios se pueden observar en el Cuadro 23, los cuales pudieron ser causados por diferentes tipos de microorganismos que normalmente están presentes en el suelo como ser, bacterias, hongos, protozoarios y nematodos.

Cuadro 23

Análisis de biodegradabilidad de las biopelículas después de 21 días.

Tratamiento	Antes	Después
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

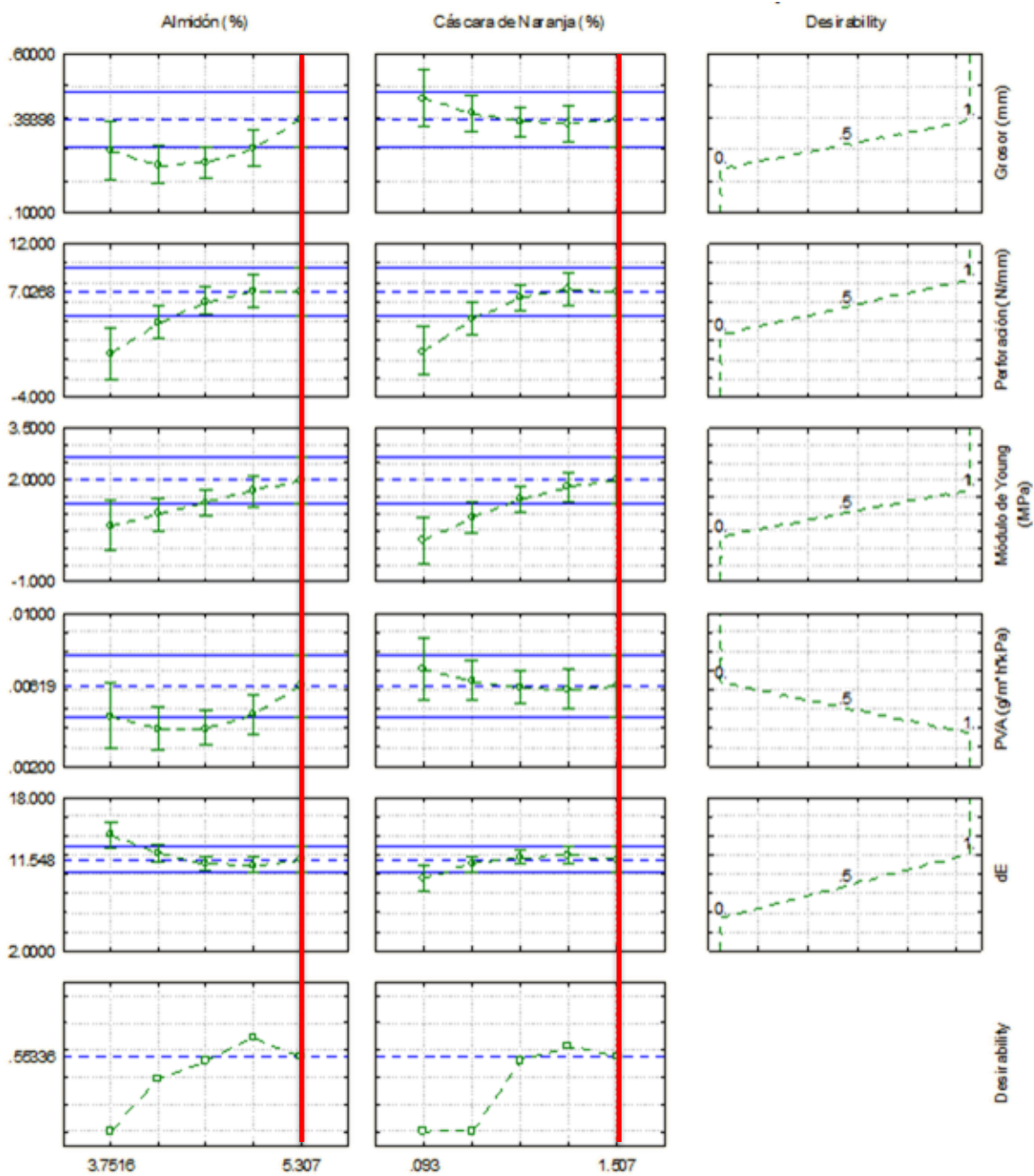
12		
13		
14		

Análisis de Formulación Óptima

Según los resultados obtenidos anteriormente, se obtuvo una predicción de un tratamiento óptimo utilizando el programa STATISTICA®, como se muestra en la Figura 10, tomando en consideración solo los análisis que presentaron un R^2 superior a 0.70, ya que estos son de carácter predictivo. Por lo que se realizó el tratamiento como última fase y se obtuvieron resultados favorables y más altos en comparación con los tratamientos anteriores (Cuadro 24), esto se debe a la maximización en la formulación de porcentaje de cáscara de naranja y almidón.

Figura 10

Análisis de formulación óptima.



En el Cuadro 24 están representados los resultados del tratamiento óptimo, en comparación con los mejores resultados de los 14 tratamientos, los cuales resultarán óptimos en comparación de los analizados anteriormente, exceptuando la permeabilidad a vapor de agua, ya que se utilizó

elmismo porcentaje de cáscara de naranja, como se observó en el Cuadro 20, la cáscara de naranja fue significativa y al tener el mismo porcentaje de cáscara sus resultados fueron similares.

Cuadro 24

Análisis del tratamiento óptimo, en comparación con los mejores resultados de los 14 tratamientos.

Análisis	Tratamiento óptimo	Tratamientos (1-14)
% de Almidón	5.31	--
% Cáscara de naranja	1.51	--
Grosor (mm)	0.18	0.39
Resistencia a la perforación (N/mm)	23.03	8.31
Elongación (%)	40.03	30
Fuerza de tensión (MPa)	1.93	0.45
Modulo de Young (MPa)	3.27	1.72
% Solubilidad	12.76	82.52
PVA (g/m.h. Kpa)	6.01E-03	3.75E-03
ΔE	10.41	12.10

Conclusiones

Se elaboró un polvo de cáscara de naranja con una humedad de 7.19%, un contenido de fibra cruda de 16.92%, un índice de solubilidad de 14.90%, y un índice de absorción de agua de 15.02.

Se determinó que una proporción de 5.31% de almidón de maíz, 1.51% de cáscara de naranja, 87.76% de agua, 5.36% de glicerol y 0.09% de sorbato de potasio, optimiza los valores de grosor, perforación, elongación, fuerza de tensión, módulo de Young, solubilidad, color y permeabilidad a vapor de agua.

La biopelícula desarrollada presenta altos niveles de resistencia a la perforación, módulo de Young, elongación y resistencia a permeabilidad de agua, y se podría utilizar para elaborar empaques de diferentes productos alimenticios sólidos.

Recomendaciones

Realizar una biopelícula a partir de la extracción de pectina de la cáscara de naranja y evaluar la diferencia entre el tratamiento con la cáscara completa y el tratamiento con la pectina extraída de la cáscara.

Realizar un análisis de evaluación de vida de anaquel de alimentos utilizando la biopelícula como empaque envolvente.

Evaluar la biodegradabilidad de la biopelícula en diferentes escenarios como ser, suelo, agua y ambientes controlados.

Realizar análisis microbiológicos a las biopelículas biodegradadas y suelo, para conocer los microorganismos que lo descomponen.

Realizar un análisis de costos para la elaboración de la biopelícula.

Realizar un análisis de comparación de la biopelícula con una bolsa de plástico, para observar su comportamiento con alimentos.

Referencias

- Abou-Arab EA, Mahmoud MH, Abu-Salem FM. 2017. Functional Properties of Citrus Peel as Affected by Drying Methods. *American Journal of Food Technology*. 12(3):193–200. doi:10.3923/ajft.2017.193.200.
- Adewole E, Adewumi D, Jonathan J, Fadaka. 2014. Phytochemical Constituents and Proximate Analysis of Orange Peel (citrus Fruit). *Journal of advanced Botany and zoology*. 1(3):1–2. doi:10.15297/JABZ.V1I3.02.
- Aimoto Shimazu A, Mali S, Eiras Grossmann MV. 2007. Plasticizing and antiplasticizing effects of glycerol and sorbitol on biodegradable cassava starch films. *Ciências Agrárias*; [consultado el 6 de jun. de 2021]. 28(1). <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744083010.pdf>.
- Aimplas. 2014. Ensayos de permeabilidad al vapor de agua para envases. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 21 de may. de 2021]. 4 p. <https://www.aimplas.es/blog/ensayos-de-permeabilidad-al-vapor-de-agua-para-envases/>.
- Alata Mayhuire E, Cuadros Huamaní Y, Miranda Zanard L, Medina de Miranda E. 2019. Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 85(2):231–241. doi:10.37761/rsqp.v85i2.80.
- Alfonso Garcia EE. sep. 2010. Estudio del comportamiento reológico de las pectinas con diferente grado galacturónico obtenida a partir de *Citrus paradisi* (gray fruit) [Tesis]. El Salvador: Universidad de El Salvador. 147 p; [consultado el 21 de may. de 2021]. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/471/1/10136186.pdf>.
- Anbari I, Dakhel A, Adnan A. 2019. The effect of adding local orange peel powder to microbial inhibition and oxidative reaction within edible film component. *Plant Archives*; [consultado el 21 de may. de 2021]. 19(1):1006–1012. https://www.researchgate.net/publication/332080485_The_effect_of_adding_local_orange_peel_powder_to_microbial_inhibition_and_oxidative_reaction_within_edible_film_component.
- Arteaga López LF, Zavala Castillo. S. 2018. Fabricación de plásticos biodegradables a base de pectina-alginato y polímeros de Agave para su utilización en la industria alimentaria. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*; [consultado el 21 de may. de 2021]. 3:678–691. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/10/112.pdf>.
- Castillo Criollo F, Ochoa Armijos KE. 2018. La importancia de utilizar empaques y embalajes amigables con el medio ambiente para exportaciones. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*; [consultado el 21 de may. de 2021]. eng. <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/10/embalajes-medio-ambiente.html>.
- Cesar A. 2018. Desarrollo, caracterización y validación de un bioplástico reforzado con orégano con acción antifúngica contra alternaria (*Alternaria alternata*). [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamerica, Zamorano. 42 p; [consultado el 18 de may. de 2021]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6228/1/AGI-2018-T016.pdf>.
- Chrivi Torres N, Palencia Suarez G. 2019. Evaluación del proceso de obtención de una biopelícula utilizando pectina extraída enzimáticamente de la cáscara de naranja valenciana. [Tesis]. [sin lugar]: Fundación universidad de América. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7625/1/6141295-2019-2-IQ.pdf>.

- Enriquez M, Velasco R, Ortiz V. 2012. Composición y producción de películas biodegradables basadas en almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*; [consultado el 21 de may. de 2021]. 10(1):182–192. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>.
- GEA. 2006. Insolubility Index. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 21 de may. de 2021]. 3 p. https://www.gea.com/en/binaries/A%203%20a%20-%20Insolubility%20Index_tcm11-30907.pdf.
- González Soto RA, Gutiérrez M, Sotelo Bautista M. 2016. Películas de almidón de papa obtenidas por casting y extrusión reforzadas con montmorillonita de sodio modificada. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*; [consultado el 10 de abr. de 2021]. 1(2):627–632. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/8/110.pdf>.
- Iftikhar M, Wahab S, Haq N, Naz Malik S, Amber S, Ullah N, Rehman S. 2019. Utilization of citrus plant waste (peel) for the development of food product. *Bolan Society for Pure and Applied Biology*; [consultado el 21 de may. de 2021]. 8(3):1991–1998. doi:10.19045/bspab.2019.80143.
- Kmilytha. 2011. Elasticidad y elongación. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 21 de may. de 2021]. 2 p. <http://kmilythabargxas.blogspot.com/2011/06/elasticidad-y-elongacion.html>.
- Lopez Domene D, García Quesada JC, Gullon IM, Montalban M. 2019. Influence of Starch Composition and Molecular Weight on Physicochemical Properties of Biodegradable Films. *Polymers*; [consultado 21/05/21]. 11(7):1084. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6680497/>.
- Masuelli M, editor. 2020. *Pectins: Extraction, Purification, Characterization and Applications*. 22ª ed. [sin lugar]: [sin editorial]. 45 p. <https://www.intechopen.com/books/pectins-extraction-purification-characterization-and-applications>.
- Mayhuire A, Huamaní Y, Zanardi L, Esperanza M. 2019. Biopelículas producidas a base de cáscara de naranja y reforzada con celulosa bacteriana. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 85(2):231-241. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2019000200010&script=sci_abstract.
- Newcomb Spring Corp. 2018. Módulo de elasticidad. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 21 de may. de 2021]. <https://www.newcombspring.com/es/resources/helical-spring-elasticity-modulus>.
- Nobosse P, Fombang E, Mbofung C. 2017. The Effect of Steam Blanching and Drying Method on Nutrients, Phytochemicals and Antioxidant Activity of Moringa (*Moringa oleifera* L.) Leaves. *American Journal of Food Science and Technology*; [consultado el 6 de jun. de 2021]. 5(2). file:///D:/OneDrive%20-%20Zamorano/Downloads/ajfst-5-2-4.pdf. doi:10.12691/ajfst-5-2-4.
- Osorio Herrera AP, Rubiano Hernandez KD. 2019. Desarrollo de una biopelícula partiendo de cáscara de banana y fibra natural como agente de refuerzo a nivel laboratorio. Bogotá: Fundación universidad de América, Programa de ingeniería química. 113 p; [consultado el 6 de jun. de 2021]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7594/3/6131074-2019-2-IQ.pdf>.
- Pérez Sanz R. 2017. Residuos en la industria alimentaria, ¿basura o alimento? [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 10 de abr. de 2021]. 2 p. <https://www.cunimad.edu.es/noticias/residuos-en-la-industria-alimentaria-basura-o-alimento/>.
- Rodríguez-Sandoval E, Lascano A, Sandoval G. 2012. Influence of the partial substitution of wheat flour for quinoa and potato flour on the thermomechanical and breadmaking properties of dough. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*; [consultado el 21 de may. de 2021]. 15(1):199–207. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v15n1/v15n1a21.pdf>.

- Ruano P, Lazo Delgado L, Picco S, Villegas L, Tonelli F, Aguilera Merlo ME, Rigau J, Díaz D, Masuelli M. 2020. Extraction and Characterization of Pectins From Peels of Criolla Oranges (*Citrus sinensis*), Experimental Reviews. En: Masuelli M, editor. Pectins: Extraction, Purification, Characterization and Applications. 22^a ed. [sin lugar]: [sin editorial] ; [consultado el 21 de may. de 2021].
- Sabina Galus, Lenart A. 2013. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. Journal of Food Engineering; [consultado el 21 de may. de 2021]. 115(4):459–465. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877412001380>.
- Salmerón Herrera FI. 2019. Elaboración y caracterización de un material biodegradable utilizando desechos de lechuga. [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 58 p; [consultado el 12 de sep. de 2020]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6505/1/AGI-2019-T053.pdf>.
- Sun Q, Xiong L, Li T. 2014. Characterization of Corn Starch Films Reinforced with CaCO₃ Nanoparticles. Plos One; [consultado el 21 de may. de 2021]. 9(9):1–6. doi:10.1371/journal.pone.0106727.g001.
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. 2020. Tensile strength. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 21 de may. de 2021]. 3 p. <https://www.britannica.com/science/tensile-strength>.
- United Testing Systems. 2021. Puncture Resistance Testing. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 21 de may. de 2021]. 2 p. <https://www.unitedtesting.com/en-us/puncture-resistance-testing>.
- Urango-Anaya KJ, Ortega-Quintana FA, Vélez-Hernández G, Pérez-Sierra ÓA. 2018. Extracción Rápida de Pectina a Partir de Cáscara de Maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) empleando Microondas. Información Tecnológica; [consultado el 21 de may. de 2021]. 29(1):129–136. doi:10.4067/S0718-07642018000100129.
- Vargas Corredor YA, Pérez Pérez LI. 2018. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. Revista Facultad de Ciencias Básicas; [consultado el 21 de may. de 2021]. 14(1):59–72. doi:10.18359/rfcb.3108.
- WordReference. 2005. Grosor. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 21 de may. de 2021]. 1 p. <https://www.wordreference.com/definicion/grosor>.