

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Diseño y modelado de una máquina para fabricar envases
biodegradables"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

INGENIERA EN ALIMENTOS

Presentado por:

Angeline Keshia Vargas Pérez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mis maravillosos padres Jorge Vargas y Francia Pérez, a mis grandes hermanos Jorge, César, Paúl y Jeffrey quienes siempre me han protegido, por ser una familia muy unida a pesar de los obstáculos, por demostrarme paciencia en todo, por su gran ayuda y por esperarme en culminar esta etapa.

Angeline Vargas Pérez

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a mi Dios y a mi Virgencita por siempre recibir de sus fuerzas y bendiciones. Toda la dedicación y empeño fue gracias a mis padres, que por sus esfuerzos y sacrificios han deseado lo mejor para mí. A mis cuatro queridos hermanos por demostrarme alegría y cuidar siempre de mí. Agradezco por el amor que me brinda día a día de mi amado Luis, por su gran compañía durante estos años y recibir sus ánimos a pesar de las dificultades. A mi querida Karla Orrala por sus consejos y locuras, considerada como mi hermana. A mis fieles amigos, quienes con sus ocurrencias recibí apoyo de lejos. A mis compañeros Diego Lucero y Dayana Moreano por brindarme ayuda durante este proceso. Finalmente, a mi tutora Ph.D. Sandra Acosta por su enseñanza, por su enorme paciencia, apoyo incondicional y por guiarme en la realización de este proyecto; la considero como una de las mejores docentes y agradecida por la oportunidad de trabajar con ella.

Angeline Vargas Pérez

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Angeline Keshia Vargas Pérez

Sandra Acosta Dávila, Ph. D.

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Autor: Angeline Vargas Pérez



Tutor: Sandra Acosta Dávila, Ph. D.

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo determinar las propiedades físicas de la hoja de achira sin recubrir y con un recubrimiento biodegradable-activo, con el fin de determinar sus características para ser termoformada en platos descartables. El recubrimiento biodegradable-activo fue elaborado con almidón de arroz (A) y gelatina (G) al 2% p/p mezclado en partes iguales (50:50) con la incorporación de glicerol como plastificante al 30% s.t. y aceite esencial de naranja (AEN) al 50%. Esta matriz fue secada por el método de casting para ser caracterizada y poder determinar si posee condiciones para el termoformado. Además, se hicieron pruebas microbiológicas para determinar si el AEN posee características antimicrobianas frente al desarrollo de hongos en las hojas.

Los resultados obtenidos indican que la humedad de las hojas de achira se incrementan a través del tiempo, determinando un tiempo de vida útil de 72 horas antes de su senescencia. La hoja de achira recubierto con la dispersión biodegradable-activo incrementó los valores de espesor y de elasticidad (%E) en un 2,9% y 29,31% respectivamente, con respecto a la hoja no recubierta

La matriz en estado de dispersión, se analizó su comportamiento reológico encontrándose que es pseudoplástico, comportamiento favorable para estructuras que pueden ser sometidas a procesos de termoformado. Las matrices secas en estado de películas se caracterizó en parámetros de humedad, donde se determinó que no hay diferencias significativas entre ellas ($p > 0,05$), pero cuando a la matriz A:G se le incorpora AEN el espesor disminuye en un 12% debido a la presencia del aceite. En la matriz A:G al adicionar AEN, las propiedades mecánicas como la fuerza (F), módulo de Young (ME) y la fractura (TS), presento valores menores que otras matrices, aunque su elasticidad (%E) fue superior. En las pruebas microbiológicas se determinó que el recubrimiento biodegradable con el AEN fue una buena barrera contra el desarrollo de microorganismos, tanto en las pruebas *in vivo* donde no hubo desarrollo de hongos en la superficie de las hojas de achira recubiertas, como en las pruebas *in vitro* donde se desarrolló un halo de inhibición alrededor de la hoja recubierta.

Palabras claves: Arroz, dispersión, aceite esencial de naranja, propiedades mecánicas, hoja de achira.

ABSTRACT

The present study aims to determine the physical properties of the uncoated achira leaf and with a biodegradable-active coating in order to determine its characteristics to be thermoformed in disposable plates. The biodegradable-active coating was made with rice starch (A) and gelatin (G) at 2% w / w mixed in equal parts (50:50) with the incorporation of glycerol as plasticizer at 30% s.t. and 50% orange essential oil (AEN). This matrix was dried by the casting method to be characterized and able to determine if it has conditions for thermoforming. In addition, microbiological tests were made to determine if the AEN has antimicrobial properties against the development of fungi on the leaves.

The results indicate that moisture of achira leaves increase over time, resulting in a shelf time of 72 hours before senescence. The achira leaves coated with the biodegradable-active dispersion increased the values of thickness and elasticity (% E) by 2.9% and 29.31% respectively, with respect to the uncoated leaf. The rheological behavior of the matrix dispersion was found to be pseudoplastic, favorable performance for structures that can be subjected to thermoforming processes.

The dried film was characterized for its humidity parameters, it was determined that there is no significant difference between them (P0.05), However, when the AEN is incorporated to the matrix A:G the thickness decreases by 12 % due to the presence of oil. In matrix A:G when incorporating the AEN, the mechanical properties such as the force (F), Young's modulus (ME) and fracture (TS), present values are smaller than other matrices, although its elasticity (% E) was higher. Microbiological analysis shown that the biodegradable coating with AEN was a good barrier against the growth of microorganisms, both in vivo where no fungal growth on the surface of coated achira leaf, and in vitro where an inhibition halo developed around the coated leaf.

Keywords: *rice, dispersion, orange essential oil, mechanicals properties, achira leaf.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Marco teórico	2
CAPÍTULO 2.....	6
2. Metodología	6
2.1 Materia Prima	6
2.2 Elaboración de la dispersión.....	6
2.3 Reología	7
2.4 Humedad	7
2.5 Espesor.....	7
2.6 Propiedades mecánicas.....	8
2.7 Análisis microbiológico.....	8
2.7.1 <i>in vivo</i>	8
2.7.2 <i>in vitro</i>	9

2.8	Análisis estadístico	9
CAPÍTULO 3.....		10
3.	Resultados	10
3.1	Reología	10
3.2	Humedad	11
3.3	Espesor.....	13
3.4	Propiedades Mecánicas.....	14
3.5	Análisis microbiológico.....	16
3.5.1	<i>in vivo</i>	16
3.5.2	<i>in vitro</i>	17
3.6	Lay-out de la planta	19
3.7	Diagrama de flujo del proceso	20
3.8	Estimación de costos	21
3.9	Costos de producción	22
CAPÍTULO 4.....		23
4.	Conclusiones.....	23
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
MOD	Mano de obra directa
MOI	Mano de obra indirecta
PVP	Precio de venta al público

SIMBOLOGÍA

A	Almidón de arroz
G	Gelatina
GL	Glicerol
AE	Aceite esencial
AEN	Aceite esencial de naranja
s/t.	Sólidos totales
p/p	Peso sobre peso
rpm	Revoluciones por minuto
T _i	Tiempo inicial
T _f	Tiempo final
mm	Milímetros
cm	Centímetros
°C	Grados Celsius
ml	Mililitros
%	Porcentaje
P1	Peso de la cápsula
P2	Peso de la cápsula+muestra
P3	Peso de la cápsula+muestra seca
G'	Módulo de elasticidad
G''	Módulo de viscosidad
F	Fuerza
TS	Tensión a la fractura
ME	Módulo de Young
%E	Porcentaje de elongación
HR	Humedad relativa
µm	Micras
g	Gramos
Kg	Kilogramos
\$	Dólares
MP	Materia prima
kPa	Kilopascal
h	Horas
m	Metros
kW	Kilovatio
min	Minutos
Hz	Frecuencia
L	Litros

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Prensa Universal Shimadzu 10kN	8
Figura 2.2. Hojas de achira recubiertas: dispersión biodegradable-activa AG-AEN	9
Figura 3.1. Elasticidad vs. Frecuencia de las dispersiones A, G, A:G, AG-AEN.....	11
Figura 3.2. Viscosidad vs. Frecuencia de las dispersiones A, G, A:G, AG-AEN.....	11
Figura 3.3. Fuerza vs. Distancia de la Achira y Achira+AG-AEN.....	14
Figura 3.4. Fuerza vs. Distancia de las matrices A, G, A:G, AG-AEN	16
Figura 3.5. Análisis <i>in vivo</i> - desarrollo de mohos: a) Achira y b) Achira+AG-AEN....	17
Figura 3.6. Prueba <i>in vitro</i> - desarrollo de mohos a) Achira y b) Achira+AG-AEN.....	18
Figura 3.7. Lay-out de la planta	19
Figura 3.8. Diagrama de flujo del proceso de elaboración	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Humedad de Achira	12
Tabla 3.2 Humedad (b.h) de las matrices	12
Tabla 3.3 Espesor de la hoja Achira y Achira+AG-AEN	13
Tabla 3.4 Espesor de las matrices A, G, A:G y AG-AEN	13
Tabla 3.5 Propiedades mecánicas F(N), ME, TS y %E de las hojas	14
Tabla 3.6 Propiedades mecánicas F(N), ME, TS y %E de las matrices	16
Tabla 3.7 Costos de materia prima	21
Tabla 3.8 Costos total de producción.....	22

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Desde el año de 1950 se dio paso a la producción y al uso de los plásticos, ya que para el año de 1960 la producción a nivel mundial llegaba a 15 millones t/año y para el 2014 alcanzó hasta 330 millones de t/año. En la actualidad, apenas el 5% total de productos plásticos se recupera mediante el reciclaje (Vásquez, 2016). Los plásticos se prefieren debido a su versatilidad y bajo costo. El uso descontrolado de los plásticos, unido a una sociedad consumista, ha provocado acumulación y daños irreparables en los ecosistemas, debido a que el tiempo que tarda estas en degradarse es entre 10 a 100 años. Una forma de contrarrestar este impacto negativo sobre el ambiente es mediante el uso de materiales biodegradables, tales como hojas de plantas y árboles.

En el Ecuador el consumo de plástico es de 348 984 TM de las cuales el 0.77% corresponde a utensilios descartables (FLACSO-MIPRO, 2011), al no existir en el mercado un producto que provenga completamente de fuentes orgánicos, siendo la necesidad de reemplazar total o parcialmente envases fabricados de origen no degradable por envases elaborados de materiales biodegradable y compostables.

En un esfuerzo por proveer al Ecuador con utensilios 100% biodegradables, este proyecto multidisciplinario propone el diseño de una máquina termoformadora, donde se fabricarán envases utilizando hojas de plantas recubiertos con una dispersión biodegradable con características antifúngicas, para mantener el tiempo de vida útil del utensilio hasta su eliminación final, ofreciendo una alternativa a las industrias de plásticos con la producción de empaques biodegradables y amigables con el medio ambiente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un equipo conformador para fabricar envases biodegradables de consumo masivo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar una formulación a partir de polisacáridos para obtener una matriz biodegradable que pueda ser termoformada junto con la hoja de achira.
- Incorporar a la matriz biodegradable un aceite esencial de naranja para que actúe como de barrera o protección al desarrollo de hongos en las hojas de achira.
- Caracterizar a la matriz biodegradable-activa y a la hoja de achira en cuanto a sus propiedades físicas, reológicas y mecánicas.
- Describir el proceso de fabricación de los platos biodegradables-activos.
- Determinar los costos de producción del plato biodegradable-activo.

1.3 Marco teórico

La preocupación del mundo por el cuidado del medio ambiente ha sido uno de los principales temas de interés y esto ha dado paso a la investigación y al desarrollo de productos que sean eco-amigables permitiendo disminuir la contaminación generado por los desechos acumulables. Muchos de los materiales para empacar o envasar alimentos son de origen plásticos, es decir, polímeros derivados del petróleo, que causan un alto impacto ambiental debido al tiempo de descomposición (C. Vargas et al., 2017). Los plásticos siguen formando parte de nuestra cultura moderna, que incluyen recipientes o platos descartables para el expendio de alimentos, debido a que tienen buenas propiedades de conservación y son baratos, duraderos, impermeables, resistentes, etc. En los últimos años, se han realizado estudios en cuanto a la obtención y uso de materiales biodegradables elaborados a partir de polisacáridos en forma de láminas o envases, con el fin de dar como

una opción al uso de los polímeros sintéticos del petróleo, esto se debe a que dichos materiales presentan semejanzas en cuanto a sus propiedades físicas, química y mecánicas (Laohakunjit & Noomhorm, 2004). Las películas biodegradables se componen de biopolímeros que pueden provenir de diferentes fuentes: animal (colágeno/ gelatina), marino (quitina/quitosan), agrícola (lípidos y grasas e hidrocoloides: proteínas y polisacáridos) y microbiano (ácido poliláctico (PLA) y polihidroxialcanoatos (PHA)), cada una de estos ofrecen diferentes propiedades (Villada et al., 2007). El almidón es el polisacárido más abundante que se encuentra de forma natural, y la fuente de donde proviene son variadas (Domínguez & Jiménez, 2012). El almidón está compuesto por una cadena lineal, conformada por amilosa que le da característica de resistencia a las películas y una cadena ramificada la amilopectina que otorga bajas propiedades a la tracción (Khunae et al., 2007; Tharanathan, 2003). Uno de los polisacáridos usados en este trabajo es el almidón de arroz, seleccionado por su alto contenido de amilosa de alrededor de 30 - 40% (Cano et al., 2014; Khunae et al., 2007), por lo que se traduce en buenas propiedades de barrera (Laohakunjit & Noomhorm, 2004). Las películas de almidón de arroz presentan una mayor fuerza a la tracción y módulo de elasticidad y una baja barrera contra compuestos de alta polaridad (Bourtoom & Chinnan, 2008; Khunae et al., 2007), además buena estabilidad y alta viscosidad (Piyada et al., 2013). Las desventajas de este material es el carácter altamente hidrofílico de los polímeros de almidón de arroz, se ha logrado reducir la hidrofiliidad de las películas de almidón mediante la modificación y la incorporación de otros biopolímeros. Para mejorar las propiedades de flexibilidad y extensibilidad se incorpora plastificantes (Wittaya, 2012), con la finalidad de que aumente la movilidad entre las cadenas poliméricas y reduzca las fuerzas intermoleculares (Lu et al., 2009; Alves et al., 2007). Uno de los plastificantes más estudiado por sus propiedades es el glicerol, ya que mejora la extensibilidad de la película, aumenta la flexibilidad y mejoran las propiedades de barrera de vapor de agua (Domínguez & Jiménez, 2012; Quintero et al., 2010) . Otros de los biopolímeros usados en este trabajo es la gelatina, muy utilizado para la formulación de películas biodegradables, ya que proporciona buena barrera al oxígeno y la luz. Se ha demostrado que la mezcla de almidón de cualquier

variedad y gelatina mejora la extensibilidad y aumenta la resistencia de las películas (Acosta et al., 2015). También se ha demostrado la compatibilidad entre el glicerol y la gelatina, dado que el efecto plastificante se refleja directamente sobre sus propiedades mecánicas (Al-Hassan & Norziah, 2012).

Las películas biodegradables pueden incorporar en su formulación compuestos activos, que mejoran las propiedades funcionales de las películas; en este estudio se utilizó aceite esencial con la finalidad de agregar propiedades antimicrobianas (De Aquino et al., 2015). Estas sustancias activas se originan de varias partes de la planta como son los rizomas, raíces, frutos, hojas, tallos y semillas (Baser & Buchbauer, 2010; Zekaria, 2007); a su vez resultan de una serie de compuestos volátiles complejos como son los alcoholes, fenoles, ésteres, éteres, aldehídos, cetonas compuestos terpénicos (Zurarte & Salgueiro, 2015). Los aceites esenciales han implicado largos y numerosos estudios para comprobar la actividad de los mismos frente al ataque de bacterias, hongos, mohos y levaduras en las etapas postcosechas y de almacenamiento de frutas o verduras en recubrimientos o películas (Ortega-Toro et al., 2017; Ordoñez Bolaños et al., 2014; Teixeira et al., 2014; Al-Hassan & Norziah, 2012; Timóteo et al., 2012; M. Vargas et al., 2006; Reingold et al., 2001). La actividad antimicrobiana de los aceites esenciales está relacionada con la variedad de la estructura química de sus componentes, es decir, de la especie y género de donde provenga como por ejemplo, el cinamaldehído a partir de la canela, el eugenol se obtiene del clavo de olor, el calvacrol en el orégano, el cineol en el eucalipto, el timol del tomillo, entre otros (Zekaria, 2007). Se ha demostrado que los aceites esenciales han sido incluidos para la formulación de recubrimientos para frutas y entre otros alimentos, proporcionándole una propiedad funcional deseada, con el fin de extender la vida útil del alimento (Vazquez & Guerrero, 2013). Estudios realizados por Avila-Sosa et al., 2012, evaluaron la efectividad de los aceites esenciales, por contacto al vapor del orégano mexicano, canela y de limón agregados a las películas comestibles de almidón de amaranto y quitosano en la inhibición de *Aspergillus niger* y *Penicillium digitatum*, en la cual se demostró que las películas a base de quitosano tiene una mejor actividad antifúngica con aceite esencial de canela y orégano. Una de las nuevas

tendencias del mercado actual es la elaboración de utensilios descartables 100% biodegradables utilizando materias prima nativas de una región, como es el caso de las hojas de árboles, cortezas, tallos, etc, con la finalidad de usarlas en especial en países donde no hay regulaciones estrictas para tratar los desechos de plásticos y otros materiales (EcoInventos, 2017; Thorwarth et al., 2016). Ecuador posee una gran variedad de plantas con hojas que pueden ser utilizadas para la elaboración de estos utensilios por técnicas como el termoformado con el fin de que adquieran una forma y tamaño determinado (Andreuccetti, 2016; Sun et al., 2008). Siendo la hoja de Achira (*Canna edulis*) una planta ornamental cultivada en varios sectores del Ecuador (provincias de Azuay y Loja) (Novoa, 2006). Además, de gran interés debido a su resistencia a altas temperaturas, por poseer buenas propiedades mecánicas y por su elevado tiempo de conservación antes de la etapa de pérdida de elasticidad, turgencia y deterioro (Morocho, 2013).

En el presente proyecto, se caracterizará a la hoja de achira y a la matriz biodegradable activa con función antifúngica, que en una segunda etapa serán termoformadas en un equipo para obtener platos descartables de consumo masivo y 100% biodegradables y compostables.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Materia Prima

Almidón de Arroz (A) marca Emsland Group (Gelatinización a 78°C). Gelatina (G) de origen bovino marca Merck de 240⁰ Bloom (gelatinización a 50°C), Glicerol (GL) marca Merck como plastificante. Hojas de Achira proveniente de la provincia de Loja. PDA (Agar Patata Dextrosa) marca Merk. Solución Saturada de Nitrato de Magnesio Hexahidratado 99% marca Acros Organics, USA. Aceite esencial de naranja (AEN) código 40.003/x marca Aromcolor.

2.2 Elaboración de la dispersión

La dispersión se elaboró usando almidón de arroz (A) y gelatina (G) al 2% p/p para cada uno. El almidón fue disuelto en agua destilada, usando baño maría (Thermo Scientific, 18902A, Alemania) a temperatura de 100 °C con agitación por 45 minutos hasta su gelatinización. La gelatina fue disuelta en agua destilada, utilizando una placa calefactora (Ema, 215179, Alemania) a temperatura de 80 °C con agitación por 30 minutos. Posteriormente se mezcló en proporción 1:1 (A:G) adicionando glicerol como plastificante al 30% s.t. El AEN fue incorporado a la matriz A:G en el 50% de los s.t. Tanto las dispersiones A:G como AG-AEN fueron homogenizados (IKA Dispersers T25 digital ULTRA TURRAX®, 25N-25G, Alemania) por 4 minutos a 8000rpm para su presentación como dispersión. Cuando el polímero biodegradable-activo va a ser colocada sobre la superficie de la hoja de achira, su aplicación es por aspersión. Las dispersiones alcanzaron los 30-35°C, se colocaron en moldes de teflón de 24 cm de diámetro una cantidad equivalente a 2% de solidos s.t. Luego las dispersiones fueron secadas por el método de casting por convección natural a 25°C y 58% humedad relativa (HR) por 48 horas a fin de tener láminas para caracterizar. Una vez secas las láminas fueron retiradas de los moldes y colocados en el desecador que contienen una solución saturada de Nitrato de Magnesio hexahidratado para su posterior caracterización.

2.3 Reología

Para la determinación de las propiedades reológicas, las matrices en estado de dispersión se analizaron por duplicado en el reómetro de placas paralelas KINEXUS Pro de la compañía Malvern Instruments Ltd. La frecuencia de barrido aplicada en esta prueba fue de 0,01-10Hz en un régimen lineal, con una tensión constante de 0,5% a 25°C. Mediante estas condiciones, los parámetros reológicos conseguidos fueron módulo elástico G' y módulo de viscosidad G'' fueron obtenidos directamente con la aplicación del software (Rheometry software for KINEXUS, versión 1.6).

2.4 Humedad

Las hojas de achira y las matrices fueron cortadas en pedazos pequeños menores a 50 x 50mm, se usó una balanza electrónica (Sartorius, Md120, Alemania, ±0,0001g) y se pesó aproximadamente 2g de muestra y se llevó a una estufa (Thermo Scientific, Model 3511, EE. UU) a 60°C por 4 horas hasta peso constante. Los resultados se obtuvieron por diferencia de peso, se utilizó la formula (1) (Orrala et al., 2016), este análisis se realizó en el caso de las matrices a los 7 días de elaborarlas y en las hojas a las 24 horas de la recepción y luego a las 72 horas tiempo máximo de conservación de las hojas antes de presentar cambios organolépticos. El ensayo se realizó por triplicado para cada muestra (Acosta, 2014).

$$\% \text{Humedad} = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} \times 100\% \quad (\text{Formula 1})$$

P₁: Peso de la cápsula

P₂: Peso de la cápsula + muestra

P₃: Peso de la cápsula + muestra seca

2.5 Espesor

Se usó un micrómetro electrónico digital (Starret A-IM-221, ST1327137, Estados Unidos). Se tomaron 6 medidas por cada matriz y en hojas de achira con y sin recubrimiento a fin de obtener un valor promedio.

2.6 Propiedades mecánicas

Se usó la prensa universal de ensayos 10 kN (Shimadzu, AG-IS 10kN, Japón) (Figura 2.1), se aplicó el software “TRAPEZIUM X” Versión 2.2. Para cada matriz y la hoja sin y con recubrimiento biodegradable-activo fueron cortadas en tamaño de 100 x 25 mm y se hicieron 4 repeticiones, fueron colocadas en la bordaza de la celda de 100 N (Shimadzu, tipo: SLBL-100N), la fuerza máxima utilizada fue de 35 N, con una extensión máxima de 50mm y la velocidad de elongación de 50mm/min. Se evaluó la Fuerza (N), Modulo de Young (ME) en MPa, Tensión a la Fractura (TS) en MPa y Deformación hasta el punto de fractura E (%).



Figura 2.1. Prensa Universal Shimadzu 10kN

2.7 Análisis microbiológico

2.7.1 *in vivo*

La dispersión AG-AEN fue colocado por aspersion sobre la hoja de achira, puestas en canastillas como se muestra en la figura 2.2, se procedió a realizar una aplicación en ambas caras de las hojas secándose con aire a 22°C y se mantuvieron por 72 horas hasta su observación.



Figura 2.2. Hojas de achira recubiertas: dispersión biodegradable-activa AG-AEN

2.7.2 *in vitro*

Luego de transcurrir las 72 horas las hojas recubiertas con la dispersión biodegradable-activa (AG-AEN) fueron cortadas en la medida de 10 x 10mm con una pinza flameado se sembró en cajas en medio PDA a 25°C, se dejó en estufa por 72 horas y se observó si hubo crecimiento microbiano en placas frente a las hojas no recubiertas como blanco.

2.8 Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado usando Minitab® 17.1.0. Se comparó el tratamiento y el control de las variables con un nivel de confianza del 95%. Cada una de las variables de respuesta consideradas fueron objeto de análisis de media y desviación estándar; ANOVA análisis de varianza. Diferencias significativas por el valor $p < 0,05$ (Orrala et al., 2016). Los resultados se dieron: (a, b, c, diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas entre las matrices. ($p < 0,05$)). Usando la prueba Tukey, se compararon los tratamientos y el control de las variables con un nivel de confianza del 95%, identificando diferencias significativas por el valor $p < 0,05$ (Acosta, 2014).

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Reología

Las propiedades viscoelásticas determinan la viscosidad y las características de elasticidad de las películas. Las matrices biodegradables en estado de dispersión (A, G, A:G y AG-AEN) fueron estudiadas en términos de cambios reológicos, empleando una frecuencia de 0-10Hz. Como se muestran en las figuras 3.1 y 3.2, el incremento en las tendencias de cada dispersión y de estas propiedades se dan a partir de 0,01Hz. Al adicionar el AEN los valores iniciales de G' y G'' son respectivamente 535,5 Pa y 317,3 Pa, es decir, valores mayores a los obtenidos en la mezcla de la dispersión A:G, así mismo la tendencia G' de la dispersión AG-AEN disminuye ligeramente conforme se incrementa la frecuencia. Los valores más bajos de G' los presenta el A y los más altos la G pero cuando se mezclan A:G el valor de este es más cercano al de G notándose la influencia del comportamiento de la G en la mezcla. Se puede observar una gran diferencia entre los valores G'' de A y G, alcanzando valores altos en A conforme incrementa la frecuencia, esto explica por la naturaleza, el porcentaje de sólidos y grado de gelificación. Al incorporar el AEN en A:G tiene una tendencia similar a la dispersión A. Las propiedades reológicas de los almidones dependerá de las diferencias en las estructuras del gránulo del mismo y la relación amilosa:amilopectina (Takahashi & Fujita, 2017) lo que explica las diferencias de valores en las matrices de origen de almidón. En un estudio realizado por Singh et al., 2017, explica el incremento de G' y G'' al aumentar las concentraciones de goma arábica con el fin de mejorar las propiedades viscoelásticas del almidón de tapioca confirmando una fuerte interacción entre la goma arábica-almidón de tapioca del sistema compuesto.

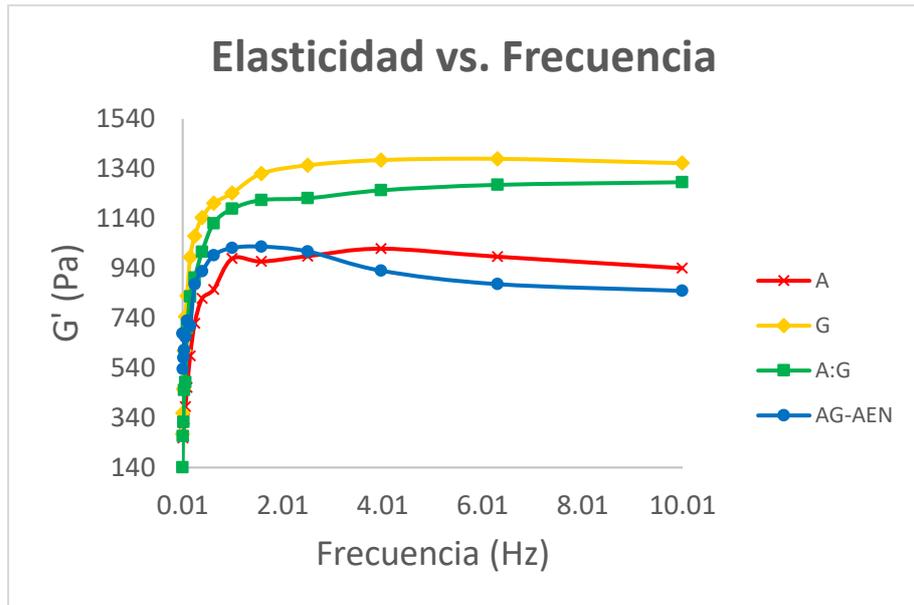


Figura 3.1. Elasticidad vs. Frecuencia de las dispersiones A, G, A:G, AG-AEN

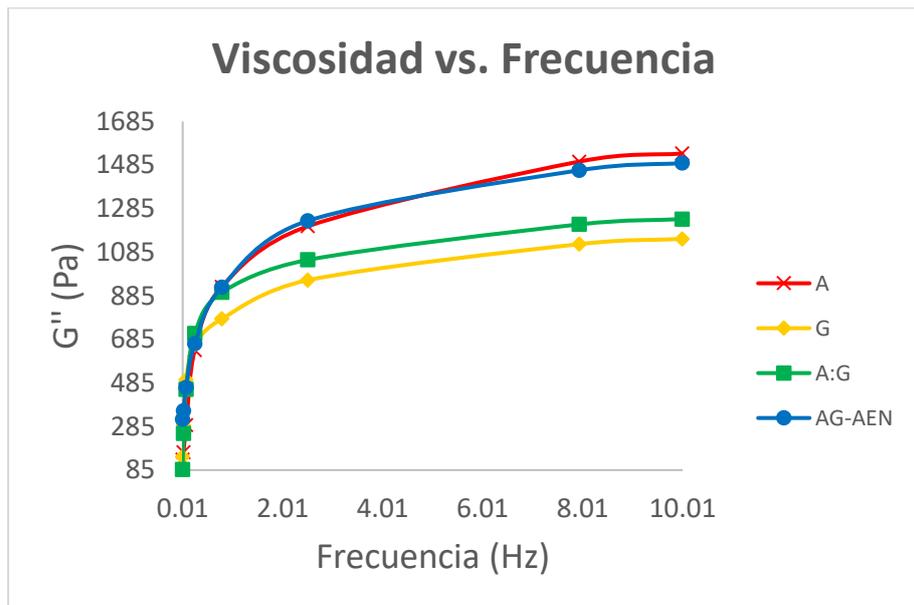


Figura 3.2. Viscosidad vs. Frecuencia de las dispersiones A, G, A:G, AG-AEN

3.2 Humedad

Los resultados de humedad de las hojas de achira se muestran en la tabla 3.1, indicando que la humedad en base seca se incrementó del tiempo inicial al tiempo final en alrededor de un 59% lo que indica que perdió agua durante el almacenamiento y corresponde con la observación de la pérdida de turgencia. Estos datos de humedad se pueden comparar en estudios

realizados con hojas de plátano y de stevia donde la humedad fue del 14% y el 16% respectivamente, valores parecidos a los encontrados en este trabajo (Martínez et al., 2016; Jeria & Pozo, 2011).

Tabla 3.1 Humedad de Achira

Humedad (%)		
Achira	Tiempo (Días)	
	Ti (0 días)	Tf (3 días)
	16,31	27,67

Fuente: Vargas, 2017

Los resultados de humedad obtenidos en base húmedo de las matrices biodegradables se detallan en la tabla 3.2, donde los datos indican que no existe diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las humedades de las distintas matrices, el contenido de humedad de las matrices aumenta al adicionar gelatina, esto puede deberse a la capacidad que tiene la gelatina para disolverse en agua, pero también tiene una mayor facilidad para perder agua. También se observa que la incorporación de AEN en la matriz polimérica de A:G se reduce en aproximadamente en un 14% la humedad pudiendo ser porque el AE forma glóbulos pequeños de grasa aumentando la tensión superficial de la película impidiendo la pérdida de agua. Según Sánchez et al., 2015 y Sánchez-González et al., 2010 la humedad que puede contener las matrices debe estar entre 5-10%, ya que a valores altos se ve aumentada la permeabilidad al vapor de agua disminuyendo la barrera de las películas. Otros investigadores han determinado que en películas a base de extractos pécticos y AE de limón la humedad fue del 11%, mucho más alta que la obtenida en este trabajo, esto puede deberse a la diferencia de matriz.

Tabla 3.2 Humedad (b.h) de las matrices

Humedad (%)	
Matriz	Tiempo (7 Días)
A	7,05(1,02) ^(a)
G	8,51(0,31) ^(a)
A:G	8,33(0,94) ^(a)
AG-AEN	7,13(0,12) ^(a)

Fuente: Vargas, 2017

3.3 Espesor

En la tabla 3.3, se explica estadísticamente que los espesores entre la hoja de Achira y Achira+AG-AEN no muestran diferencias significativas ($p > 0,05$), así mismo se observa que la hoja de achira recubierta con la matriz biodegradable-activa aumentó alrededor del 2,9% de su espesor en comparación a la hoja de achira sin recubrir, lo que nos indica que hubo una buena incorporación de la matriz a la hoja.

Tabla 3.3 Espesor de la hoja Achira y Achira+AG-AEN

Espesor (μm)	
Achira	375,59(10,86) ^(a)
Achira+AG-AEN	387,06(9,34) ^(a)

Fuente: Vargas, 2017

En la tabla 3.4 se muestran los resultados de los espesores de cada una de las matrices, donde los datos indican que entre ellas existe diferencias significativas ($p < 0,05$). Se observa que al adicionar AEN el valor del espesor disminuye aproximadamente un 12% con respecto a la matriz A:G, esto parece indicar que la incorporación del AE facilitó la eliminación de agua celular disminuyendo por consiguiente los espesores. Otros investigadores como (Pazmiño et al., 2016) y (Escalante et al., 2016) encontraron que los espesores pueden variar según la composición de las películas, a su vez, se han obtenido resultados muy variados como en las películas a base de puré de mango con valores de $170\mu\text{m}$, a base de pectina entre $150\text{-}250\mu\text{m}$, salvado de arroz $190\mu\text{m}$, almidón de mango $127\mu\text{m}$ y plátano $113\mu\text{m}$ mencionado por varios autores (Orrala et al., 2016; Sánchez et al., 2015; Sothornvit & Pitak, 2007; Romero-Bastida et al., 2005; Gnanasambadam et al., 1997).

Tabla 3.4 Espesor de las matrices A, G, A:G y AG-AEN

Espesor (μm)	
Matriz	Tiempo (7 días)
A	100,35(1,00) ^(b)
G	114,78(2,14) ^(a)
A:G	103,73(2,65) ^(b)
AG-AEN	90,88(1,54) ^(c)

Fuente: Vargas, 2017

3.4 Propiedades Mecánicas

En la tabla 3.5 se observan las propiedades mecánicas obtenidas para las hojas de achira sin y con recubrimiento biodegradable-activo, donde se puede observar un incremento en %E en la hoja de achira recubierta aproximadamente en un 29,31%, esto podría deberse a que el polímero contribuye a que la hoja sea más elástica.

Tabla 3.5 Propiedades mecánicas F(N), ME, TS y %E de las hojas

Hoja	Fuerza (N)	ME (Mpa)	TS (Mpa)	%E
Achira	7,39(1,27) ^(a)	0,71(0,175) ^(a)	0,90(0,05) ^(a)	10,32(1,52) ^(a)
Achira+AG-AEN	5,12(0,70) ^(b)	0,315(0,13) ^(b)	1,04(0,52) ^(a)	14,60(1,60) ^(b)

Fuente: Vargas, 2017

Siendo el parámetro de la fuerza donde se puede observar la diferencia entre la hoja sola y con el recubrimiento como lo muestra la figura 3.3.

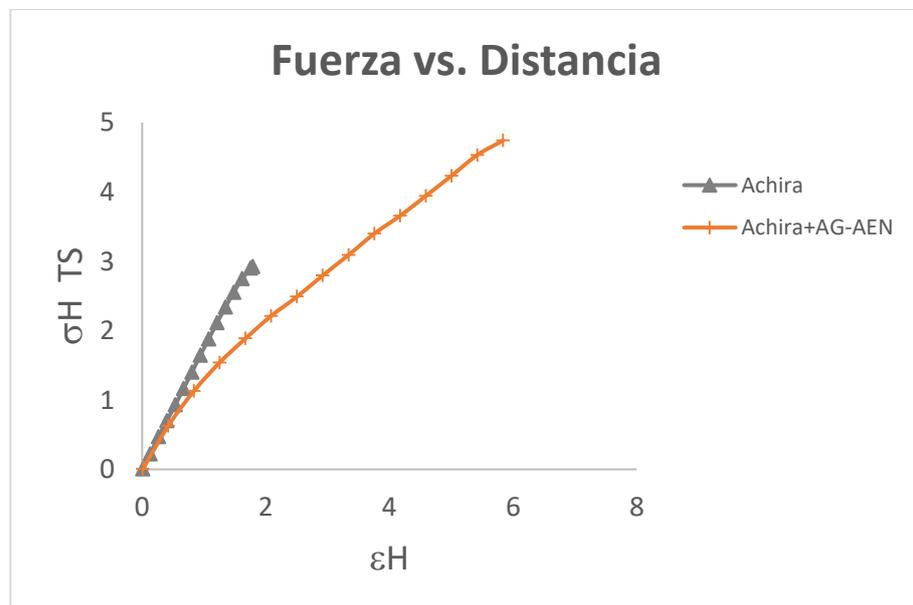


Figura 3.3. Fuerza vs. Distancia de la Achira y Achira+AG-AEN

En la tabla 3.6 se observan los resultados de las propiedades mecánicas de las matrices, donde mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las propiedades mecánicas de Fuerza (F), Módulo de Young (ME) y tensión a la fractura (TS) de las matrices. En el caso de la matriz A tenemos valores de F,

TS y ME muy bajos en relación con los obtenidos para la matriz G. Otros autores demostraron que en matrices sólo de almidón de arroz los valores de TS fue de 1.6Mpa y de ME fue de 21.3Mpa más altos que los obtenidos en este trabajo, esto puede deberse por las diferencias en proporción de los sólidos totales (Jiménez et al., 2012; Dias et al., 2010). Cuando se hace la mezcla A:G se encontraron valores cercano a la matriz G, esto puede deberse a que la gelatina tiene enlaces más fuertes en su estructura. En la matriz A:G cuando se le agrega el AE disminuye considerablemente los valores de F en un 29%, la ME en un 19%, TS en un 23% y %E en un 55%, esto puede deberse a que al incorporar aceite en la matriz esta pierde fuerza pero gana elasticidad, estos datos concuerdan con los encontrados por Marzo, 2010, quien observó un aumento en la capacidad de deformación en películas de zeína cuando incorporó AE de orégano, carvacrol, clavo y eugenol, debido a que se dio una mayor movilidad del AE entre las cadenas poliméricas de la zeína. Sánchez-González et al., 2010 indica que, al aumentar la concentración de aceite esencial de bergamota, limón y de té los valores de propiedades mecánicas decrecen. En oposición a este estudio se encuentra que trabajando a la concentración de 100µl/g de AE de ajo en películas de quitosano no mostraban cambios en las propiedades mecánicas (Acosta, 2014; Pranoto et al., 2005), esto puede deberse al tipo de matriz. En un estudio realizado por Valderrama et al., 2016 en matrices con quitosano observó distintos comportamientos con respecto a los valores de TS y %E al incorporar AE de romero y tomillo, indicando que a concentraciones de bajas de AE de tomillo el valor de TS disminuye y el %E aumenta, mientras que al adicionar AE de romero el valor de TS aumenta y el %E disminuye, sin embargo al aumentar las concentraciones de ambos aceites y en sus mezclas tomillo:romero se obtuvieron valores más altos de TS y más bajos de %E . Kechichian et al., 2010 y Quintero et al., 2010 comprobaron también una disminución de las propiedades mecánicas al adicionar aceites esenciales de canela, naranja, clavo y pimienta a una matriz de almidón Manihot esculenta.

Tabla 3.6 Propiedades mecánicas F(N), ME, TS y %E de las matrices

Matriz	Fuerza (N)	ME (Mpa)	TS (Mpa)	%E
A	2,34(0,48) ^(b)	0,93(0,19) ^(b)	0,58(0,21) ^(b)	64,58(5,42) ^(a)
G	15,33(1,26) ^(a)	5,35(0,37) ^(a)	4,43(0,79) ^(a)	24,91(1,40) ^(c)
A:G	14,70(3,39) ^(a)	5,65(0,73) ^(a)	5,63(0,79) ^(a)	23,95(3,33) ^(c)
AG-AEN	10,34(2,39) ^(a)	4,57(0,93) ^(a)	4,32(1,33) ^(a)	43,63(3,08) ^(b)

Fuente: Vargas, 2017

Siendo el parámetro de la fuerza donde se puede observar que la matriz A presenta menos fuerza, la matriz G y A:G tienen fuerzas similares y cuando se incorpora a la matriz A:G el AEN presenta una fuerza intermedia como se muestra la figura 3.4.

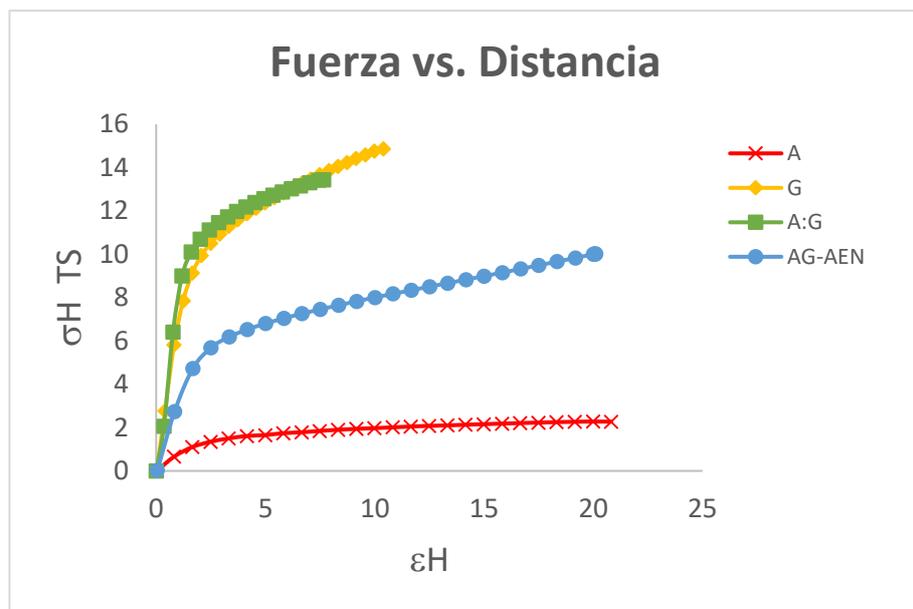


Figura 3.4. Fuerza vs. Distancia de las matrices A, G, A:G, AG-AEN

3.5 Análisis microbiológico

3.5.1 *in vivo*

Los resultados obtenidos a partir del análisis microbiológico *in vivo* de las hojas de achira sin y con recubrimiento en 3 días de ensayo (72 horas), se puede observar en las figuras 3.5.b. que no hubo desarrollo de microorganismos en la superficie de las hojas con el recubrimiento

biodegradable activo; no ocurrió lo mismo con las hojas de achira que no tenían el recubrimiento y para el día 3 presentó pérdida de turgencia en la hoja (Figura 3.5.a).

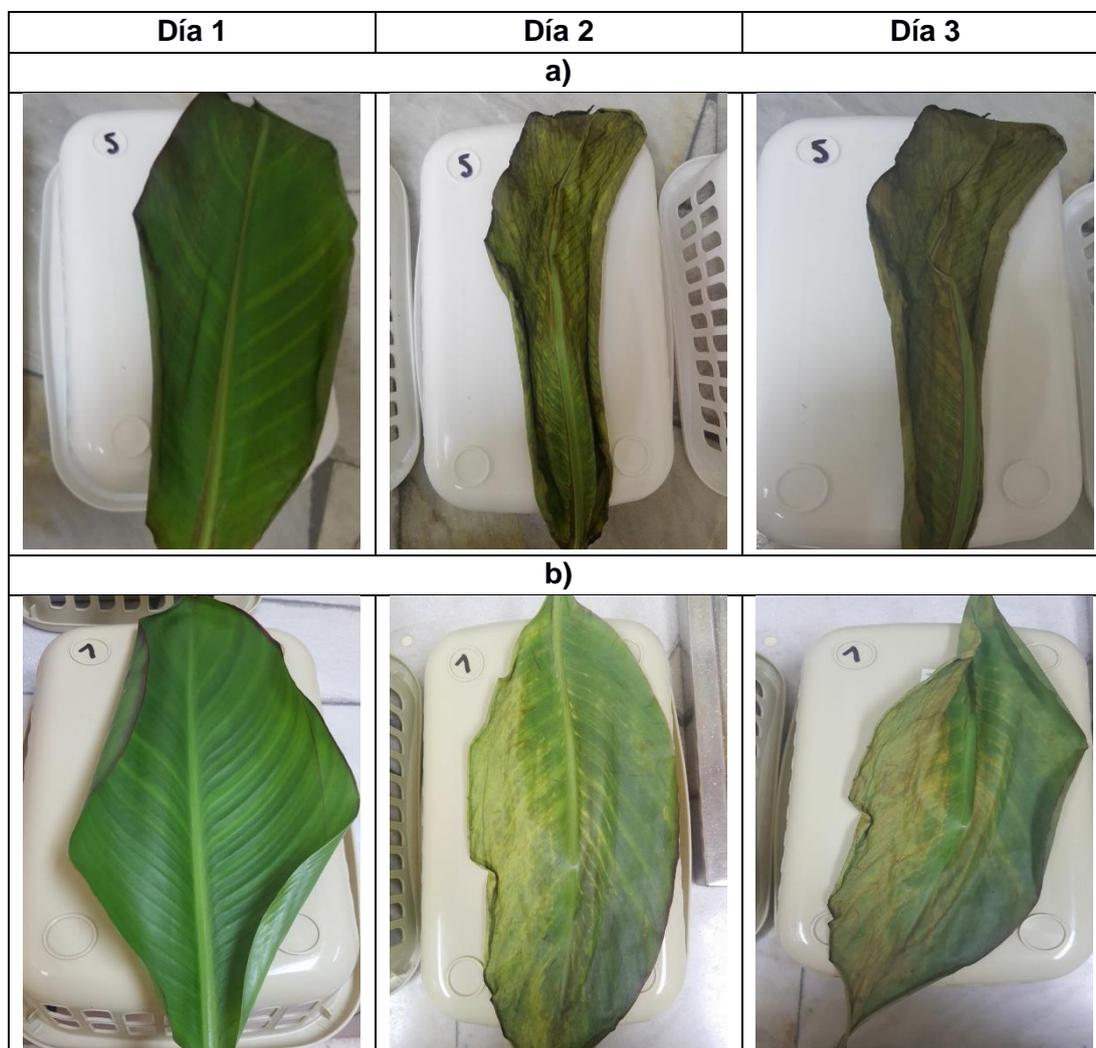


Figura 3.5. Análisis *in vivo* - desarrollo de mohos: a) Achira y b) Achira+AG-AEN

3.5.2 *in vitro*

Los resultados obtenidos en la siembra de la hoja de achira sin recubrimiento en el agar PDA a las 72 horas se observa en la figura 3.6.a, donde hay un crecimiento de los mohos en la superficie y alrededor de la hoja (*Penicillium* sp.). Este desarrollo de hongos no se observa sobre la hoja de achira con recubrimiento biodegradable-activo, lo que nos indica que el recubrimiento tiene un comportamiento inhibitorio positivo alrededor de la hoja como se observa en la figura 3.6.b. En estudios anteriores han demostrado que a concentraciones de 0.1% de aceite esencial de tomillo se reduce el

crecimiento de *Rhizopus stolonifer* en papaya (Bosquez-Molina et al., 2010). En otra investigación se estudió la calidad de las fresas durante el almacenamiento (Bosquez-Molina et al., 2010) en frío mediante la incorporación de películas con quitosano y ácido oleico como agente fungistático, indicando que las fresas tratadas con el recubrimiento mostraron menos infecciones por hongos durante el almacenamiento a altas concentraciones del ácido oléico (M. Vargas et al., 2006), además Avila-Sosa et al., 2010, ha comprobado el efecto inhibitorio del aceite esencial de orégano contra el *Aspergillus nigger* y *Penicillium sp.* añadido en películas de quitosano, amaranto y maíz. En otro estudio también se evaluó el efecto antifúngico del aceite esencial de orégano aplicado en pepinos contra *Colletotrichum gloeosporioides*, indicando que a 1000ppm tuvo el 100% de inhibición de este hongo (Sosa et al., 2016). (Trejo-Ramírez et al., 2016) estudió la actividad antifúngica en pruebas *in vivo* del aceite esencial de eucalipto en frambuesas, demostrando que a concentraciones de 2000ppm se inhibe el 42% del crecimiento micelial de *Botrytis cinérea* y que sirve de control para la podredumbre causado por este hongo. Según (Sánchez-González et al., 2010) establece que algunos componentes del aceite de esencial de bergamota se pierden o se evaporan durante la preparación y secado de las matrices con quitosano disminuyendo el efecto antimicrobiano, además indica que a máximas concentraciones del aceite esencial tuvo un efecto más duradero contra *Penicillium italicum* durante el almacenamiento.

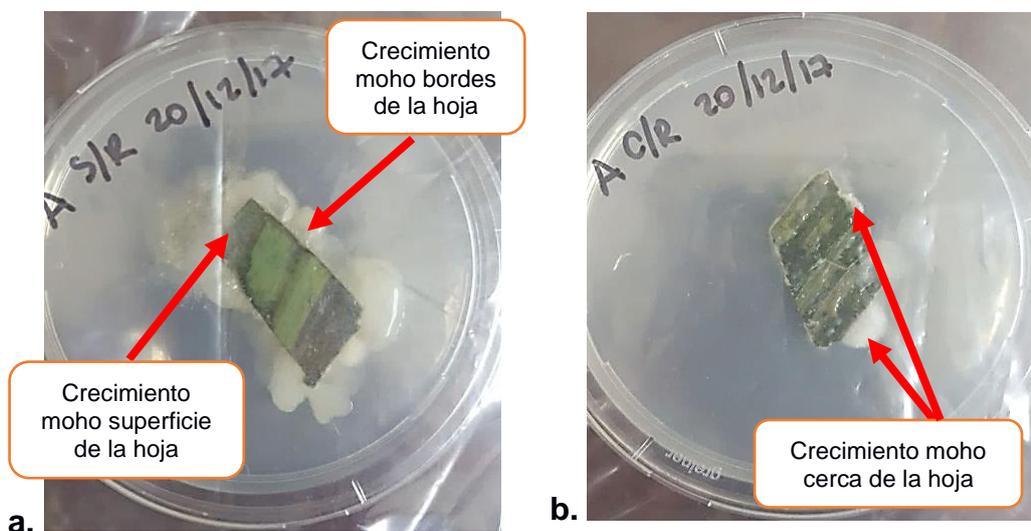


Figura 3.6. Prueba *in vitro* - desarrollo de mohos a) Achira y b) Achira+AG-AEN

3.6 Lay-out de la planta

En la figura 3.7 se presenta el lay-out de la planta en donde se bosqueja la forma en cómo se llevará a cabo el proceso de elaboración de los platos descartables a partir de hojas de Achira con recubrimiento biodegradable-activo.

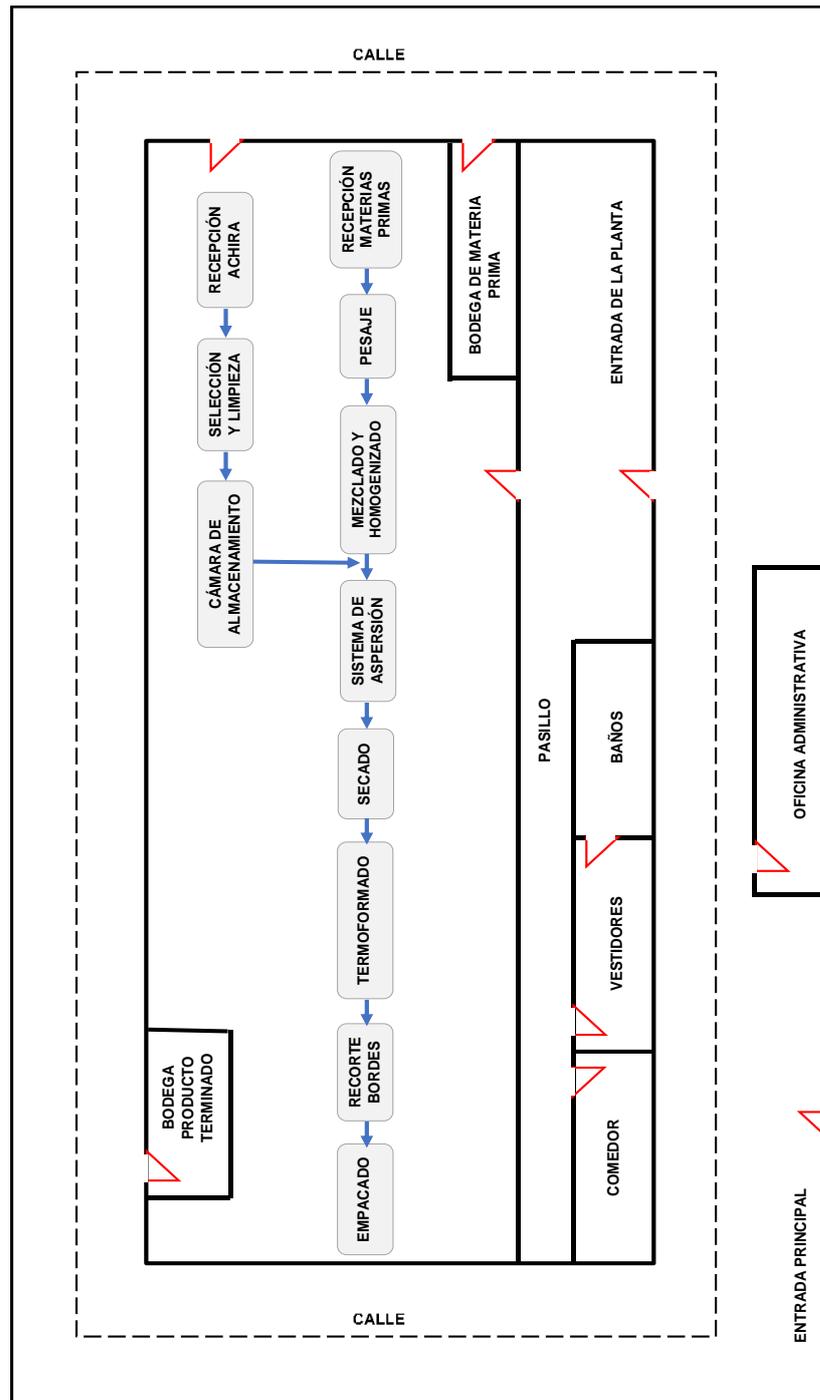


Figura 3.7. Lay-out de la planta

Fuente: Vargas, 2017

3.7 Diagrama de flujo del proceso

En la figura 3.8 se muestran las etapas de cada proceso de elaboración de los envases biodegradables-activos con sus respectivos parámetros de proceso. En el apéndice A se muestra una tabla detallada y la descripción de cada proceso.

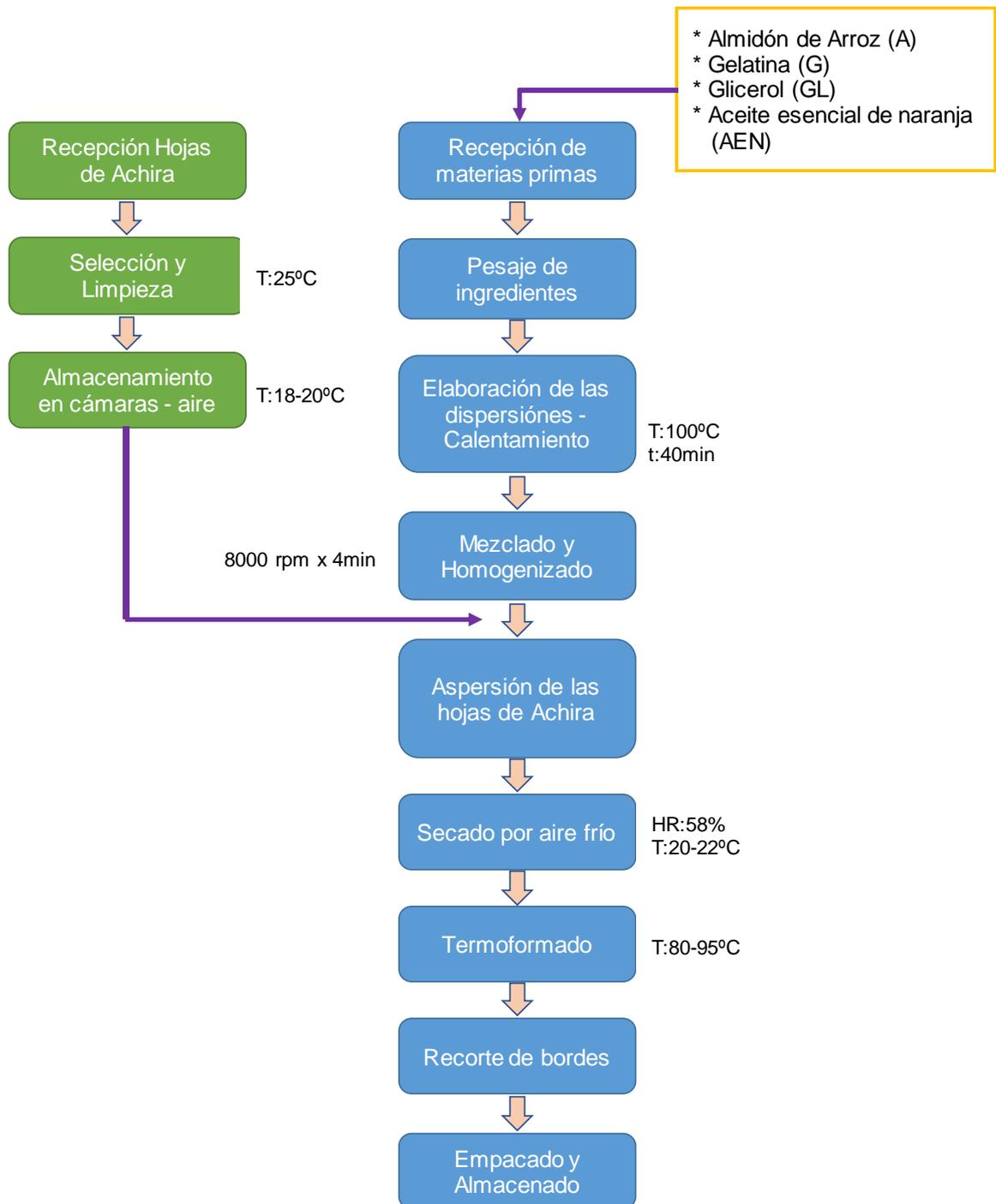


Figura 3.8. Diagrama de flujo del proceso de elaboración

Fuente: Vargas, 2017

3.8 Estimación de costos

El análisis de costos para la elaboración de los platos descartables biodegradables-activos se detallan en el Apéndice B. En la tabla 3.7 se indica el costo de producción por año para la elaboración de los platos descartables, se estimó una producción de 1000 unidades/día y la fabricación de 14,71 L/día de las dispersión biodegradable-activa.

Tabla 3.7 Costos de materia prima

Materia prima	Costo/kg	Kg de materia prima por día	Costo por día	Costo por mes	Costo por año
Achira	\$ 2.15	40	\$ 86.00	\$ 1,892.00	\$ 22,704.00
Aceite esencial naranja	\$ 15.00	0.074	\$ 1.10	\$ 24.28	\$ 291.32
Almidón de arroz	\$ 3.18	0.147	\$ 0.47	\$ 10.29	\$ 123.52
Gelatina	\$ 14.00	0.147	\$ 2.06	\$ 45.32	\$ 543.80
Glicerol	\$ 3.63	0.088	\$ 0.32	\$ 7.05	\$ 84.60
Agua	\$ 0.00023	14.71	\$ 0.00	\$ 0.07	\$ 0.89
TOTAL			\$ 89.96	\$ 1,979.01	\$ 23,748.14

Fuente: Vargas, 2017

En el apéndice C y D se muestra el costo de mano de obra directa e indirecta incluyendo el factor de carga social que es de 1.4. En el apéndice E se muestra el costo de suministros y servicios básicos. En el apéndice F se calculó el costo de energía eléctrica tomando en consideración la potencia y números de equipos detallados en el Apéndice B para una jornada de 8 horas. Como toda maquinaria tiene asignado su tiempo de vida útil ya sea por uso u obsolescencia, el valor que se carga al costo es la depreciación; para los cálculos se aplicó el método lineal debido a que los valores se mantienen iguales cada año de vida útil, para los equipos fue de 10 años, inmuebles y enseres 3 años por la cual se obtuvo el costo de la depreciación anual mediante el precio total y el valor residual (Apéndice G) (Moreno et al., 2017). Además, se calculó costo de mantenimiento anual de los equipos (Apéndice H), también se calculó los costos de los materiales indirectos como cartones y cinta de embalaje (Apéndice I)

3.9 Costos de producción

En la tabla 3.8 se muestra el PVP del costo total de producción de la elaboración del plato descartable a partir de hojas de achira con los costos directos e indirectos; además se muestra los kg estimados para un año y el precio unitario. Se le asignó una utilidad del 10% al precio final.

Tabla 3.8 Costos total de producción

COSTOS DE PRODUCCIÓN	Costo total por año	Unidades producidas por año	Precio unitario de producción
MATERIA PRIMA	\$ 23,748.14	276000	\$ 0.09
MOD	\$ 55,339.20	276000	\$ 0.20
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	\$ 79,087.34	276000	\$ 0.29
MATERIALES INDIRECTOS	\$ 3,379.20	276000	\$ 0.01
MOI	\$ 71,635.20	276000	\$ 0.26
COSTOS DE SUMINISTROS Y SERVICIOS	\$ 7,254.11	276000	\$ 0.03
DEPRECIACIÓN	\$ 1,048.28	276000	\$ 0.00
REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO	\$ 408.40	276000	\$ 0.00
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS	\$ 83,725.19	276000	\$ 0.30
IMPREVISTOS 2%	\$ 1,674.50	276000	\$ 0.01
TOTAL DE COSTOS DE PRODUCCIÓN	\$ 164,487.04	276000	\$ 0.60
		UTILIDAD 10%	\$ 0.06
		PVP	\$ 0.66

Fuente: Vargas, 2017

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES

- Las hojas de achira para la elaboración de platos descartables fueron analizadas en los parámetros de humedad donde se encontró que ésta aumenta con el tiempo en relación con la senescencia, determinando 72 horas como límite para su uso. Cuando a las hojas de achira se le incorporó la película biodegradable-activa estas incrementaron en el %E haciéndose más flexibles, una propiedad que es útil cuando se va a termoformar.
- Cuando el recubrimiento biodegradable está como dispersión se analizó la reología con el fin de determinar su comportamiento, siendo pseudoplásticos que será útil cuando se termoformen.
- Las dispersiones secadas por casting dieron como resultado que la humedad no presenta diferencias significativas entre ellas, además el espesor disminuyó cuando a la matriz A:G se le incorpora el AE, esto se puede relacionar con los resultados obtenidos en las propiedades mecánicas ya que al incorporar el AE la F, el ME y la TS disminuyen en comparación con los datos de la matriz A:G.
- En el análisis microbiológico del halo de inhibición, se observó en las placas de PDA que no hubo crecimiento en la hoja recubierta con la dispersión biodegradable-activa, esto también se observó en las hojas recubiertas y mantenidas a temperatura ambiente, lo que nos indica que el AEN es un buen inhibidor del crecimiento de mohos.
- Los costos finales de producción para la elaboración de los platos descartables fueron de \$0.66 por unidad para una producción de 1000 unidades/día lo que los hace competitivos con otros similares del mercado.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, S. (2014). *Propiedades de films de Almidón de yuca y gelatina. Incorporación de aceites esenciales con efecto antifungico*. Universidad Politécnica de Valencia.

Acosta, S., Jiménez, A., Cháfer, M., González-Martínez, C., & Chiralt, A. (2015). Physical properties and stability of starch-gelatin based films as affected by the addition of esters of fatty acids. *Food Hydrocolloids*, 49, 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.015>

Al-Hassan, A. A., & Norziah, M. H. (2012). Starch-gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.04.015>

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

Andreuccetti, C. (2016). Native and Modified Gelatin Films Produced by Casting , Extrusion , and Blowing Extrusion Processes. *Food Engineering Department*, 8(1), 11–27.

Avila-Sosa, R., Hernández-Zamoran, E., López-Mendoza, I., Palou, E., Jiménez, M., Nevárez-Moorillón, G., & López-Malo, A. (2010). Fungal inactivation by mexican oregano (*lippia berlandieri schauer*) essential oil added to amaranth, chitosan, or starch edible films. *Journal of Food Science*, 75(3). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01524.x>

Avila-Sosa, R., Palou, E., Jiménez Munguía, M. T., Nevárez-Moorillón, G. V., Navarro Cruz, A. R., & López-Malo, A. (2012). Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films. *International Journal of Food Microbiology*, 153(1–2), 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.10.017>

Baser, K. H. C., & Buchbauer, G. (2010). Handbook of Essential Oils Science, Technology, and Applications, 95–112. <https://doi.org/doi:10.1201/9781420063165-c3>

Bosquez-Molina, E., Ronquillo-de Jesús, E., Bautista-Baños, S., Verde-Calvo, J. R., & Morales-López, J. (2010). Inhibitory effect of essential oils against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Rhizopus stolonifer* in stored papaya fruit and their possible

application in coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 57(2), 132–137. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.03.008>

Bourtoom, T., & Chinnan, M. S. (2008). Preparation and properties of rice starch-chitosan blend biodegradable film. *LWT - Food Science and Technology*, 41(9), 1633–1641. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.10.014>

Cano, A., Jiménez, A., Cháfer, M., González, C., & Chiralt, A. (2014). Effect of amylose:amylopectin ratio and rice bran addition on starch films properties. *Carbohydrate Polymers*, 111, 543–555. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.075>

De Aquino, A., Blank, A., & De Aquino Santana, L. (2015). Impact of edible chitosan-cassava starch coatings enriched with *Lippia gracilis* Schauer genotype mixtures on the shelf life of guavas (*Psidium guajava* L.) during storage at room temperature. *Food Chemistry*, 171, 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.077>

Dias, A., Müller, C., Larotonda, F., & Laurindo, J. (2010). Biodegradable films based on rice starch and rice flour. *Journal of Cereal Science*, 51(2), 213–219. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.11.014>

Domínguez, M., & Jiménez, M. (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 2, 110–121.

EcolInventos. (2017). Platos desechables hechos de hojas. Retrieved from <https://ecoinventos.com/platos-desechables-hechos-de-hojas/>

Escalante, P., Villavicencio, M., & Acosta, S. (2016). *Caracterización y Aplicación de Películas Biodegradables con Adición de Fibra*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

FLACSO-MIPRO. (2011). *Elaboración de artículos plásticos para el hogar*. *Boletín mensual de análisis sectorial de MIPYMES*. Retrieved from <https://www.flacso.edu.ec/portal/pnTemp/PageMaster/1ek76ttidig4y5etomj1ag3t7vqou89.pdf>

Gnanasambadam, R., Hettiarachchy, N. S., & Coleman, M. (1997). Mechanical and Barrier Properties of Rice Bran Films. *Journal of Food Science*, 62(2), 395–398. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb04009.x>

Jeria, D., & Pozo, A. (2011). *Estudio Del Secado Convectivo De Hojas De Stevia Rebaudiana Y Factibilidad Técnico-Económica De Una Planta Elaboradora De Edulcorante a Base De Stevia*. Universidad de Chile.

Jiménez, A., Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2012). Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2058–2076. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0835-4>

Kechichian, V., Ditchfield, C., Veiga-Santos, P., & Tadini, C. (2010). Natural antimicrobial ingredients incorporated in biodegradable films based on cassava starch. *LWT - Food Science and Technology*, 43(7), 1088–1094. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.014>

Khunae, P., Tran, T., & Sirivongpaisal, P. (2007). Effect of heat-moisture treatment on structural and thermal properties of rice starches differing in amylose content. *Starch/Staerke*, 59(12), 593–599. <https://doi.org/10.1002/star.200700618>

Laohakunjit, N., & Noomhorm, A. (2004). Effect of plasticizers on mechanical and barrier properties of rice starch film. *Starch/Staerke*, 56(8), 348–356. <https://doi.org/10.1002/star.200300249>

Lu, D., Xiao, C., & Xu, S. (2009). Starch-based completely biodegradable polymer materials. *Express Polymer Letters*, 3(6), 366–375. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2009.46>

Martínez, C., Cayón, G., & Ligarreto, G. (2016). Composición química y distribución de materia seca del fruto en genotipos de plátano y banano. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(2), 217–227. https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num2_art:491

Marzo, I. (2010). *Efecto del tipo y contenido de aceites esenciales sobre las propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles bbasadas en zeina*. Universidad Publica de Navarra.

Moreno, D., Bajaña, M., & Acosta, S. (2017). *Diseño de un equipo para medir la permeabilidad al vapor de agua en películas flexibles*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Morocho, J. (2013). La achira y su aplicación en la cocina de tendencia vanguardista, 11–15.

Novoa, M. (2006). Proyecto de factibilidad para la instalación de una planta procesadora de Almidón de Achira en la provincia de Loja, 11–15.

Ordoñez Bolaños, D. Y., Zuñiga Camacho, D., Hoyos Concha, J. L., Mosquera Sánchez, S. A., & Mosquera Sánchez, L. P. (2014). Efecto de recubrimiento de almidón de yuca modificado y aceite de tomillo aplicado al pimiento (*Capsicum annum*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 795–805. Retrieved from

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000500006

Orrala, K., Solano, P., & Acosta, S. (2016). *Estudio In Vivo e In Vitro del comportamiento de film biodegradable activo como recubrimiento en pepa de cacao (Theobroma cacao L.) para exportación*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Ortega-Toro, R., Collazo-Bigliardi, S., Roselló, J., Santamarina, P., & Chiralt, A. (2017). Antifungal starch-based edible films containing Aloe vera. *Food Hydrocolloids*, 72, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.023>

Pazmiño, K., Quiroz, L., & Acosta, S. (2016). *ESTUDIO DE LA CARACTERIZACIÓN Y COMPORTAMIENTO EN EL TIEMPO DE UNA MATRIZ BIODEGRADABLE OBTENIDA POR PROCESO DE CASTING PARA SER TERMOFORMADO*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Piyada, K., Warayou, S., & Thawien, W. (2013). Mechanical , thermal and structural properties of rice starch films reinforced with rice starch nanocrystals. *International Food Research Journal*, 20(1), 439–449.

Pranoto, Y., Rakshit, S., & Salokhe, V. (2005). Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin. *LWT - Food Science and Technology*, 38(8), 859–865. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.09.014>

Quintero, J., Falguera, V., & Muñoz, A. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga*, 5, 93–118.

Reingold, E., Charness, N., Pomplun, M., & Stampe, D. (2001). Effect of the potassium sorbate and carvacrol addition on the properties and antimicrobial activity of tapioca starch - Hydroxypropyl methylcellulose edible films. *Psychological Science*, 321(December), 48–55. <https://doi.org/10.1002/jlcr>

Romero-Bastida, C., Bello-Pérez, L., García, M., Martino, M., Solorza-Feria, J., & Zaritzky, N. (2005). Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. *Carbohydrate Polymers*, 60(2), 235–244. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.01.004>

Sánchez-González, L., Cháfer, M., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2010). Physical properties of edible chitosan films containing bergamot essential oil and their inhibitory action on *Penicillium italicum*. *Carbohydrate Polymers*, 82(2), 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.047>

Sánchez, D., Contreras-Esquivel, J., Nevárez-Moorillón, G., & Aguilar, C. (2015). Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón Mexicano. *CYTA - Journal of Food*, 13(1), 17–25. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.904929>

Singh, A., Geveke, D., & Yadav, M. (2017). Improvement of rheological, thermal and functional properties of tapioca starch by using gum arabic. *LWT - Food Science and Technology*, 80, 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.059>

Sosa, D., Trejo, M., Lira, A., & Pascual, S. (2016). Aplicación de recubrimientos comestibles adicionados con aceite esencial de orégano en pepino (*Cucumis Sativus L.*). *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 90–95.

Sothornvit, R., & Pitak, N. (2007). Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. *Food Research International*, 40(3), 365–370. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.10.010>

Sun, S., Song, Y., & Zheng, Q. (2008). Morphology and mechanical properties of thermo-molded bioplastics based on glycerol-plasticized wheat gliadins. *Journal of Cereal Science*, 48(3), 613–618. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.01.005>

Takahashi, T., & Fujita, N. (2017). Thermal and rheological characteristics of mutant rice starches with widespread variation of amylose content and amylopectin structure. *Food Hydrocolloids*, 62, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.022>

Teixeira, B., Marques, A., Pires, C., Ramos, C., Batista, I., Saraiva, J. A., & Nunes, M. L. (2014). Characterization of fish protein films incorporated with essential oils of clove, garlic and origanum: Physical, antioxidant and antibacterial properties. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 533–539. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.024>

Tharanathan, R. . (2003). Biodegradable Polymers : Past, Present, and Future. *Trends in Food Science and Technology* 14, 0300(03), 71–78. <https://doi.org/10.13031/2013.41300>

Thorwarth, B., Fiechter, C., Stolz, D., & Zolgadri, P. (2016). Platos hechos de hojas de plantas. Retrieved from <http://leaf-republic.com/>

Timóteo, N., Athayde, A. J., Vasconcelos, C. E., Veríssimo, C., de Melo e Silva, S., Sousa da Silva, R., ... Leite, E. (2012). Efficacy of the application of a coating composed of chitosan and *Origanum vulgare L.* essential oil to control *Rhizopus stolonifer* and *Aspergillus niger* in grapes (*Vitis labrusca L.*). *Food Microbiology*,

32(2), 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.07.014>

Trejo-Ramírez, V., Trejo-Márquez, M., Pascual, S., & Lira, A. (2016). Extracción de aceite esencial de eucalipto y su aplicación como agente antifúngico en un envase activo para conservación de frambuesa. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 60–65.

Valderrama, N., Algecira, N., & Albaracín, W. (2016). Efecto del almacenamiento sobre las propiedades físicas de las películas de quitosano con inclusión de aceites esenciales de tomillo y romero. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 21(1), 141–156. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620160001.0013>

Vargas, C., Costa, T., Rios, A., & Flores, S. (2017). Comparative study on the properties of films based on red rice (*Oryza glaberrima*) flour and starch. *Food Hydrocolloids*, 65, 96–106. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.11.006>

Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2006a). Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 41(2), 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.016>

Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2006b). Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan – oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology* 41, 41, 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.016>

Vásquez, L. (2016). Plástico Desechable. Retrieved from <http://www.nacion.com/revista-dominical/plastico-desechable-un-asesino-silencioso/VFLRFTV5KZGXHC3QSDHTTR5H3U/story/>

Vazquez, M., & Guerrero, J. (2013). Recubrimiento de frutas con biopelículas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 5–14. Retrieved from <http://web.udlap.mx/tsia/files/2014/12/TSIA-72-Vazquez-Briones-et-al-2013.pdf>

Villada, H., Acosta, H. A., & Velasco, R. J. (2007). Biodegradables biopolymers naturals used in biodegradable. *Polymer*, 12(4), 5–13. Retrieved from <http://www.unicordoba.edu.co/revistas/rta/documentos/12-2/122-1.pdf>

Wittaya, T. (2012). Rice Starch-Based Biodegradable Films: Properties Enhancement. *Structure and Function of Food Engineering*, 103–134. <https://doi.org/10.5772/47751.hancement>

Zekaria, D. (2007). Los aceites esenciales, una alternativa a los antimicrobianos. *Laboratorios Calier*, 1–6.

Zurarte, M., & Salgueiro, L. (2015). Bioactive Essential Oils and Cancer. *Bioactive Essential Oils and Cancer*, 1, 19–21. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19144-7>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Descripción del proceso de elaboración de envases biodegradables-activos

Etapa	Equipo	Descripción
Recepción de materias primas y achira	-	Las materias primas como A, G, GL, AEN y Achira son receptadas y almacenadas en bodega hasta su paso posterior.
Selección y limpieza	Lavadora de hojas de Achira	Las hojas de achira una vez receptadas se hace la respectiva limpieza con agua a 25°C para el retiro de cualquier agente en una lavadora de hojas de achira y luego se seleccionan aquellas hojas que se encuentran en buen estado.
Almacenamiento en cámaras con aire	Cámara de almacenamiento	Las hojas de achira limpias pasan a la cámara de almacenamiento con flujo de aire hasta su paso posterior. La temperatura debe estar entre 18-20°C.
Pesaje de ingredientes	Balanza electrónica	Las materias primas como A, G, GL, AEN y agua son pesados bajo su formulación establecida.
Elaboración de la dispersión - calentamiento	Tanques de acero inoxidable con calefacción eléctrica y agitador	Las materias primas como A y G junto con el agua ingresan en un tanque de acero inoxidable con calefacción eléctrica y agitación para la elaboración de la dispersión. Se llevan a una temperatura de 100°C por 40 min.
Mezclado y Homogenizado	Homogenizador	Las dispersiones A y G ingresa directamente al tanque agitador homogenizador, la misma que permitirá mezclar junto con el GL y el AEN. El objetivo de homogenizar es obtener una dispersión más uniforme sin separación de fases y ayuda a romper los glóbulos del AEN para que se pueda mezclar de una manera más efectiva con el almidón. Este proceso se da por 4 min a 8rpm.
Recubrimiento de las hojas de Achira	Banda transportadora con aspersores	Mediante una banda transportadora se colocan las hojas de achira para ser bañadas por aspersion de la dispersión elaborada.
Secado por aire fría	Banda transportadora secado con aire frío	Las hojas pasan a través de una banda transportadora que presenta secadores que permitirán fluir corrientes de aire a una temperatura entre 20-22°C con HR de 58%.

Termoformado	Máquina Termoformadora de platos	Las hojas de achira secadas son formadas para pasar a la máquina termoformadora a una temperatura entre 80-95°C para el moldeo y formación del plato descartables biodegradable-activo.
Recorte de bordes	-	Los platos formados después del termoformado son recortados en sus bordes para eliminar el exceso de la hoja.
Empacado	-	Se lo realiza de manera manual.

Fuente: Vargas, 2017

APÉNDICE B

Descripción de equipos y costos

EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	COSTO
Balanza Electrónica - recargable	Capacidad: 40kg	\$ 40.00
	Marca: Yongzhou	
	Modelo: YZ-918	
Lavadora de hojas de Achira	Capacidad: 1000kg/h	\$ 400.00
	Potencia: 0.75 kW	
	Marca: Kaifeng Rainbow	
	Modelo: RBVW-1000	
Tanque de acero inoxidable- calefacción eléctrica y agitador	Capacidad: 20L	\$ 400.00
	Potencia: 0.56 kW	
	Marca: Huiheng	
Tanque Homogenizador	Capacidad: 20L	\$ 2,000.00
	Potencia: 3 kW	
	Marca: ULTRA TURRAX	
	Modelo: UTS 115KD	
Banda transportadora con aspersores	Producción: 400kg/h	\$ 500.00
	Potencia: 1 kW	
	Marca: Vulcano	
	Modelo: LV-1	
Banda transportadora secado por aire frío	Capacidad: 200kg/h	\$ 500.00
	Potencia: 2 kW	
	Tasa de velocidad: 10- 50r/min	
	Marca: Aslan	
	Modelo: 5000(12fan)	
Máquina termoformadora de platos	Operación: Manual	\$ 1,800.00
	Potencia: 0.9 kW	
	Marca: BIY-V4040A	
	Modelo: Biytech	
Cámara de almacenamiento	Rangos de Temperatura: -50 a 20°C	\$ 1,800.00
	Refrigeración: R22-R404A	
	Dimensiones: 300x300cm	
	Potencia: 0.75 kW	
	Marca: Sanye	
	Modelo: Cuarto Frío III	

Fuente: Vargas, 2017

APÉNDICE C

Costos de Mano de Obra Directa (MOD)

OPERACIÓN	Nº de trabajadores	Salario mensual	Factor de Cargas Sociales	Salario Mensual total	Salario Anual total
Recepción de materia prima	2	\$ 732.00	1.4	\$ 1,024.80	\$ 12,297.60
Lavado y almacenado de hojas de achira. Pesado de materias primas	1	\$ 366.00	1.4	\$ 512.40	\$ 6,148.80
Elaboración de dispersión. Mezclado y homogenizado	1	\$ 366.00	1.4	\$ 512.40	\$ 6,148.80
Baño hojas de achira y Secado por aire frío	1	\$ 366.00	1.4	\$ 512.40	\$ 6,148.80
Termoformado	2	\$ 732.00	1.4	\$ 1,024.80	\$ 12,297.60
Recortado de bordes y Empacado	2	\$ 732.00	1.4	\$ 1,024.80	\$ 12,297.60
TOTAL MOD				\$ 4,611.60	\$ 55,339.20

Fuente: Vargas, 2017

APÉNDICE D

Costos de Mano de Obra Indirecta (MOI)

CARGO	Nº de trabajadores	Salario mensual	Factor de Cargas Sociales	Salario Mensual total	Salario Anual total
Gerente	1	\$ 1,200.00	1.4	\$ 1,680.00	\$ 20,160.00
Secretaria	1	\$ 366.00	1.4	\$ 512.40	\$ 6,148.80
Auxiliar Contable	1	\$ 366.00	1.4	\$ 512.40	\$ 6,148.80
Jefe de Producción	1	\$ 800.00	1.4	\$ 1,120.00	\$ 13,440.00
Jefe de Calidad	1	\$ 800.00	1.4	\$ 1,120.00	\$ 13,440.00
Conserje	1	\$ 366.00	1.4	\$ 512.40	\$ 6,148.80
Limpieza general	1	\$ 366.00	1.4	\$ 512.40	\$ 6,148.80
TOTAL MOI				\$ 5,969.60	\$ 71,635.20

Fuente: Vargas, 2017

APÉNDICE E

Costos de suministros y servicios

Materiales	Unidad	Costo Unitario	Consumo mensual	Costo mensual	Costo Anual
Teléfono	min	\$ 0.05	1200	\$ 60.00	\$ 720.00
Agua	m ³	\$ 0.23	21.31	\$ 4.90	\$ 58.81
Energía Eléctrica	kW.h	\$ 0.09	1656.48	\$ 149.08	\$ 1,789.00
Materiales de limpieza	L	\$ 0.90	75	\$ 67.50	\$ 810.00
Lubricantes	L	\$ 15.35	1.5	\$ 23.03	\$ 276.30
Internet				\$ 300.00	\$ 3,600.00
TOTAL DE SUMINISTROS Y SERVICIOS				\$ 604.51	\$ 7,254.11

Fuente: Vargas, 2017

APÉNDICE F

Costos de consumo de energía eléctrica

Equipo	Nº de equipos	Potencia (kW)	Horas	Costo kW/hora	Costo diario	Costo mensual	Costo anual
Lavadora de hoja de Achira	1	0.75	8	0.09	\$ 0.54	\$ 11.88	\$ 142.56
Tanque de acero inoxidable-calefacción eléctrica y agitador	1	0.56	8	0.09	\$ 0.40	\$ 8.87	\$ 106.44
Tanque Homogenizador	1	3	8	0.09	\$ 2.16	\$ 47.52	\$ 570.24
Banda transportadora con aspersores	1	1	8	0.09	\$ 0.72	\$ 15.84	\$ 190.08
Banda transportadora secado por aire frío	1	2	8	0.09	\$ 1.44	\$ 31.68	\$ 380.16
Máquina termoformadora de platos	2	0.9	8	0.09	\$ 1.30	\$ 28.51	\$ 342.14
Cámara de almacenamiento	1	0.75	8	0.09	\$ 0.54	\$ 11.88	\$ 142.56
TOTAL					\$ 7.10	\$ 156.18	\$ 1,874.19

Fuente: Vargas, 2017

APÉNDICE G

Depreciaciones

EQUIPO	Nº de equipos	Tiempo de vida útil (años)	Precio unitario	Precio Total	Valor residual	Depreciación anual
Balanza Electrónica - recargable	1	10	\$ 40.00	\$ 40.00	\$ 4.00	\$ 3.60
Lavadora de hoja de Achira	1	10	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 40.00	\$ 36.00
Tanque de acero inoxidable- calefacción eléctrica y agitador	1	10	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 40.00	\$ 36.00
Tanque Homogenizador	1	10	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00	\$ 200.00	\$ 180.00
Banda transportadora con aspersores	1	10	\$ 500.00	\$ 500.00	\$ 50.00	\$ 45.00
Banda transportadora secado por aire frío	1	10	\$ 500.00	\$ 500.00	\$ 50.00	\$ 45.00
Máquina termoformadora de platos	2	10	\$ 1,800.00	\$ 3,600.00	\$ 360.00	\$ 324.00
Cámara de almacenamiento	1	10	\$ 1,800.00	\$ 1,800.00	\$ 180.00	\$ 162.00
Impresoras	2	2	\$ 85.00	\$ 170.00	\$ 85.00	\$ 42.50
Computadoras	2	3	\$ 400.00	\$ 800.00	\$ 266.67	\$ 177.78
TOTAL						\$ 1,048.28

Fuente: Vargas, 2017

APÉNDICE H

Costos de Mantenimiento y reparación de equipos

EQUIPO	Nº de equipos	Tiempo de vida útil (años)	Precio unitario	Precio Total	Costo de mantenimiento anual
Balanza Electrónica - recargable	1	10	\$ 40.00	\$ 40.00	\$ 1.60
Lavadora de hoja de Achira	1	10	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 16.00
Tanque de acero inoxidable-calefacción eléctrica y agitador	1	10	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 16.00
Tanque Homogenizador	1	10	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00	\$ 80.00
Banda transportadora con aspersores	1	10	\$ 500.00	\$ 500.00	\$ 20.00
Banda transportadora secado por aire frío	1	10	\$ 500.00	\$ 500.00	\$ 20.00
Máquina termoformadora de platos	2	10	\$ 1,800.00	\$ 3,600.00	\$ 144.00
Cámara de almacenamiento	1	10	\$ 1,800.00	\$ 1,800.00	\$ 72.00
Impresoras	2	2	\$ 85.00	\$ 170.00	\$ 6.80
Computadoras	2	3	\$ 400.00	\$ 800.00	\$ 32.00
TOTAL					\$ 408.40

Fuente: Vargas, 2017

APÉNDICE I

Costos de Materiales Indirectos

Materiales	Cantidad mensual	Precio unitario	Costo mensual	Costo anual
Cinta embalaje	88	\$ 0.15	\$ 13.20	\$ 158.40
Cartones	440	\$ 0.61	\$ 268.40	\$ 3,220.80
TOTAL EMBALAJE			\$ 281.60	\$ 3,379.20

Fuente: Vargas, 2017