ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Diseño de un empaque biodegradable activo de Polilactida para cortes finos de carne"

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniera de Alimentos

Presentado por:

María Angélica Vélez Rivera

Ivanna Andrea Villaseca Saltos

Guayaquil – Ecuador

Año: 2020

DEDICATORIA

A Dios, quien me ha acompañado en el transcurso de estos años y me da fuerzas para continuar con mis metas.

A mis padres, Carlos y Lorena, a mis hermanas Karla, Lorena y Alejandra, a mis sobrinos, a mis abuelos, por brindarme su apoyo incondicional y llenarme de consejos y palabras de amor. A pesar de la distancia han sido mi mayor motivación.

A mis amigos quienes me acompañaron en esta etapa y estuvieron en los mejores y peores momentos de mi vida universitaria.

A Iana, que ha sido inspiración y soporte siempre. A Nadia, quien ha estado a mi lado en cada decisión a lo largo de mi carrera. A Jonathan por creer en mí.

A mi compañera de tesis y de aventuras, Ivanna, por la confianza y entrega en cada desafío juntas.

Angélica

DEDICATORIA

Dedicada a Dios, que siempre me acompaña, me da fortaleza y esperanza para cumplir todas mis metas y anhelos.

A mis padres y hermanas, que son parte de este logro, han estado presentes de manera incondicional dándome consejos, ánimos y amor.

A mi team amigos, que son refugio y me han llenado de increíbles experiencias y buenas vibras. A Lucía, que ha sido soporte y ejemplo durante mi carrera universitaria.

A mi simbiosis, Angélica, por la amistad, confianza y todo lo que hemos logrado juntas, a su familia por el cariño brindado.

Ivanna

AGRADECIMIENTO

Principal agradecimiento a Dios y a la Mater, que guiaron nuestro camino y lo llenaron de infinito amor. A todos los mentores y profesores que formaron parte de nuestra carrera universitaria. En especial a nuestro tutor Dr. Rómulo Salazar, quien ha sido un pilar fundamental en nuestro crecimiento profesional, y con su apoyo durante este proceso nos ha motivado al desarrollo e investigación. Enorme gratitud al Dr. Peter Mercea por la predisposición y gentileza en compartir conocimientos esenciales para la culminación de nuestro proyecto de titulación.

Angélica e Ivanna

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *María Angélica Vélez Rivera e Ivanna Andrea Villaseca Saltos* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual".

María Angélica
Vélez Rivera

Ivanna Andrea
Villaseca Saltos

EVALUADORES

MSc. Haydee Torres
PROFESOR DE LA MATERIA

Dr. Rómulo Salazar González
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El consumo de alimentos procesados cada vez es más elevado, trayendo consigo el uso de envases plásticos de un solo uso y la generación de desperdicios. Por ello, ha surgido el interés por el desarrollo de nuevos envases que no solo prometan un menor impacto ambiental sino mejoras en el alimento envasado. La aplicación de nuevas tecnologías, usando compuestos activos y materiales biodegradables es una opción con gran potencial. El objetivo de este trabajo es el diseño teórico de un empaque activo biodegradable constituido por una bandeja de polilactida (PLA) y una película de PLA con aceite esencial de orégano (AEO), dirigida a cortes finos de carne. Este empaque fue diseñado bajo normativas y condiciones de proceso que requieren los materiales biodegradables. La finalidad del empaque es cumplir sus funciones básicas y aportar un efecto antioxidante, para prolongar el tiempo de vida útil del producto. El diseño constó del análisis del proceso de migración a 5%, 7% y 10% de concentración inicial de AEO durante 10 días a 4 °C mediante el uso del software MIGRATEST EXP para obtener una formulación del empaque, tomando como criterio de selección una concentración mínima de AEO en el alimento de 100 ppm. También, se esquematizó la línea de proceso, el cálculo de los costos y el análisis financiero del empaque. Como resultado se planteó una formulación de película de PLA + 10% AEO y una bandeja 90% PLA, con 10% de plastificante para ambos formatos, se obtuvo un precio competitivo en el mercado y una viabilidad rentable del proyecto.

Palabras claves: Polilactida, aceite esencial de orégano, antioxidante, comportamiento migratorio.

ABSTRACT

The consumption of processed foods is increasing every time, bringing with it the use of single-use plastic containers and the generation of waste. For this reason, interest has arisen in the development of new packaging that not only promises a lower environmental impact but also improvements in packaged food. The application of new technologies, using active compounds and biodegradable materials is an option with great potential. The objective of this work is the theoretical design of a biodegradable active packaging consisting of a polylactide (PLA) tray and a PLA film with essential oil of oregano (OEO), intended for meat fine cuts. It was designed under regulations and process conditions that biodegradable materials require. The purpose of the packaging is to fulfill its basic functions and provide an antioxidant effect, to extend the shelf life of the product. The design consisted of the analysis of the migration process at 5%, 7% and 10% of the OEO initial concentration for 10 days at 4 °C using MIGRATEST EXP software to obtain a packaging formulation, taking as a selection criterion a minimum concentration of 100 ppm in the food. Also, the design of the process line, costs calculations and financial analysis of the package were given. As a result, a film formulation of PLA + 10% AEO and a 90% PLA tray, with 10% plasticizer for both formats, it was obtained a competitive price for the market and a profitable viability of the project.

Keywords: *Polylactide, oregano essential oil, antioxidant, migratory behavior.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN I
ABSTRACT II
ABREVIATURA V
SIMBOLOGÍA VI
ÍNDICE DE FIGURAS VII
ÍNDICE DE TABLAS VIII
CAPÍTULO 1 1
1. Introducción 1
1.1. Descripción del problema 2
1.2. Justificación del problema 3
1.3. Objetivos 4
1.3.1 Objetivo General 4
1.3.2 Objetivos Específicos 4
1.4. Marco teórico 5
1.4.1 Polímeros 5
1.4.2 Polímeros biodegradables 5
1.4.3 PLA 6
1.4.4 Aditivos en PLA 7
1.4.5 Empaques biodegradables 7
1.4.6 Empaques activos 8
1.4.7 Aceites esenciales 8
1.4.8 Interacción de empaques biodegradables activos con productos cárnicos. 9
1.4.9 Migración de aditivos a través de matriz polimérica. 10
1.4.10 Métodos de fabricación de empaques plásticos. 10
1.4.11 Productos cárnicos 11
CAPÍTULO 2 12
2. Metodología 12
2.1. Materiales 12
2.1.1 Polilactida (PLA) 12

2.1.2 Aceite de orégano 12
2.1.3 Plastificante 13
2.2. Métodos 14
2.2.1 Diseño del empaque 14
2.2.2 Diseño de la línea de proceso 17
2.2.3 Estimación de costos 18
CAPÍTULO 3 20
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS 20
3.1. Diseño de empaque 20
3.1.1 Uso del software Migratest EXP 20
3.1.2 Formulación 27
3.2. Diseño de línea de proceso 27
3.2.2 Línea de proceso 27
3.2.3 Layout 30
3.3. Costos 32
CAPÍTULO 4 35
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 35
4.1. Conclusiones 35
4.2. Recomendaciones 37
BIBLIOGRAFÍA
APÉNDICES

ABREVIATURA

PLA	Polilactida
AE	Aceite Esencial
AEO	Aceite Esencial de Orégano
RP	Residuos Plásticos
FDA	Food and Drug Administration
PVC	Policloruro de vinilo
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PET	Polietileno tereftalato
PS	Poliestireno
LDPE	Polietileno de baja densidad
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
AS	Australian Standard
CM	Concentración mínima
CORELAP	Computarized Relationship Layout Planning
TMAR	Tasa minima acceptable de rendimiento
TIR	Tasa interna de retorno
VAN	Valor actual neto

SIMBOLOGÍA

g	Gramos
kg	Kilogramo
mm	Milímetros
m^2	Metros cuadrados
cm^2	Centímetros cuadrados
cm^3	Centímetro cúbico
μm	Micras
mol	Cantidad de sustancia
ppm	Partes por millón
v/v	Porcentaje volumen-volumen
atm	Atmósferas
GPa	Gigapascal
MPa	Megapascal

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.1. Propiedades barrera del PLA (Farah et al., 2016) 7
Figura 1.1.2. Interacción Ambiente-Envase-Alimento. Adaptado de García (2016)..... 9
Figura 3.2. Estructura del sistema PLA-Alimento 21
Figura 3.3. Concentración promedio del AEO en el proceso de migración vs tiempo .. 22
Figura 3.4. Concentración promedio en capas 1, 2 y superfice del alimento. 25
Figura 3.5. Concentración en la superficie vs tiempo 27
Figura 3.13. Tabla relacional de actividades 32
Figura 3.14. Distribución Corelap 33
Figura 3.15. Distribución de áreas 33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.2.1. Propiedades físicas y mecánicas de PLA Ingeo 4042D 12
Tabla 2.2.2. Propiedades de aceite esencial de orégano 13
Tabla 2.2.3. Propiedades físico-químicas de Polietilenglicol 13
Tabla 2.2.4. Dimensiones de formatos de envase 14
Tabla 2.2.5. Cortes finos de carne 14
Tabla 2.2.6. Nomenclatura para tabla relacional de actividades 18
Tabla 2.2.7. Escala y motivos 18
Tabla 3.1. Formulaciones de film y bandeja PLA. 27
Tabla 3.9. Costo unitario de empaques 32
Tabla 3.10. Precio de venta 32
Tabla 3.11. Tabla de costos fijos y variables 33
Tabla 3.12. Punto de equilibrio 33
Tabla 3.14 Valores de TMAR, TIR, VAN y Payback del flujo de caja 34

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Los envases de alimentos juegan un rol fundamental en la vida útil de estos productos luego de ser distribuidos (Belcher, 2006). Debido a las exigencias de la sociedad actual son necesarias nuevas propuestas de empaques que generen un menor impacto ambiental, manteniendo o incluso prolongando la vida útil de los alimentos.

Los polímeros biodegradables, entre ellos la Polilactida (PLA), son una respuesta frente a los problemas que origina el plástico convencional. El PLA se obtiene a partir de recursos renovables y su aplicación en empaques para alimentos es prometedora debido a su fácil procesabilidad y sus propiedades ópticas y mecánicas (Martínez, 2017).

Por otro lado, los aceites esenciales (AE) poseen compuestos activos que tienen un efecto antioxidante, como es el caso del aceite esencial de orégano. Al contener compuestos fenólicos, retienen la formación de radicales libres y evitan la oxidación de las grasas y compuestos presentes en los alimentos (Hernández-Ochoa et al., 2014).

En este sentido, la fabricación de envases biodegradables que contengan compuestos activos son una alternativa segura y sostenible para el envasado y prolongación de la vida útil de los alimentos (Eva Verdejo, 2010).

En el caso de los productos cárnicos, se debe considerar que el consumo de carnes en el mundo para el 2026 se incrementará en un 17% (OCDE & FAO, 2017), por lo que seguramente se incrementará el uso de envases para estos productos.

En este contexto, existe un interés creciente en el desarrollo de empaques dirigidos a productos cárnicos, para satisfacer la demanda y proteger los alimentos de factores externos. Los empaques biodegradables activos pueden

contribuir a una mayor conservación y frescura de los alimentos cárnicos refrigerados, según los indicadores sensoriales y microbiológicos requeridos (Giro et al., 2020).

1.1. Descripción del problema

El plástico es un material que se puede utilizar en varias aplicaciones, por su versatilidad y bajo costo (Perdomo M., 2002). Sin embargo, los residuos plásticos (RP) constituyen el problema ambiental de preocupación global. Debido al diseño de único uso, la generación de RP ocurre de manera frecuente y masiva (Maldonado, 2012). Así, por ejemplo, en el año 2015 se generaron 300 millones de toneladas de RP, de los cuales cerca del 50% corresponde a envases (ONU, 2018). Gran parte de los plásticos de un solo uso se utilizan en envases de alimentos. La mayoría no se pueden reciclar por la complejidad de su estructura (Rodríguez Mercado et al., 2019), y al no degradarse se descomponen en fragmentos conocidos como micro plásticos provocando problemas ambientales, como la afectación de ecosistemas marinos y la obstrucción de drenajes en ciudades (ONU, 2018). Como respuesta a los problemas de los plásticos convencionales surgen los plásticos biodegradables, entre ellos, el PLA.

Por otro lado, las pérdidas a lo largo de la cadena alimenticia afectan la nutrición, causan pérdidas económicas y un impacto ambiental negativo. Un tercio de los alimentos de consumo humano a nivel global se pierden cada año, es decir, 1300 millones de toneladas de producción de comida se desperdician (FAO, 2012). En el mundo, se producen alrededor de 263 millones de toneladas de carne de res anualmente, de las cuales se pierde el 20% debido a problemas de malas prácticas en la etapa de producción y consumo de alimentos (Atanasovski, 2018). Por tanto, las pérdidas en este sector es un problema que requiere soluciones innovadoras. Con la intención de disminuir los RP y alargar la vida útil de productos cárnicos, se propone un diseño de empaque activo biodegradable para cortes cárnicos finos a base de polilactida (PLA) y AE de orégano, que evite la

oxidación del producto, logrando un mayor tiempo de conservación del producto cárnico empacado.

1.2. Justificación del problema

La construcción de un entorno más sostenible es una tendencia actual que lleva a través del diseño, a fomentar una economía circular. Por este motivo, la industria de envases plásticos busca disminuir el impacto ambiental de los materiales de origen fósil que utiliza, por lo que se ha interesado en los polímeros biodegradables. Consecuentemente la fabricación de envases activos de PLA es una alternativa viable que permite la degradación, luego de su uso, convirtiéndose en biomasa y nutrientes.

En la industria de alimentos existe un interés creciente por el uso de empaques biodegradables que garanticen la inocuidad, con el fin de abordar los desafíos medioambientales sin descuidar las condiciones de envasado en beneficio de la calidad del producto. Por ello, los envases activos cada vez toman más protagonismo en el mercado por su función en prolongar la vida útil del producto. La industria de carnes es un sector importante en el mercado ecuatoriano, cuyos productos se elaboran con base en la demanda de diferentes sectores de consumidores, por ejemplo, los cortes finos se destinan a consumidores con un nivel adquisitivo medio-alto y alto (Rodríguez et al., 2019).

En general, el uso de envases activos en cortes finos de carne puede disminuir el desperdicio de carnes debido a que aumenta el tiempo de conservación; sin embargo, el uso de aceites esenciales como componente activo de los envases, podría originar cambios en las características sensoriales del producto envasado. Por tanto, para prevenir un efecto sensorial negativo, en este trabajo se ha seleccionado el aceite esencial de orégano, ya que es una especia de uso común en productos cárnicos, por lo que su presencia en el producto consideramos no causaría un rechazo del consumidor. Además, se espera una

disminución del efecto sensorial final, dado que el producto fresco pasará por un proceso de cocción posterior antes de ser consumido, con lo que los componentes del aceite esencial se volatilizarán.

Por otra parte, se estima que el precio de un envase a partir de PLA y aceite esencial tendría un costo mayor a un envase convencional. Por ello, el envase propuesto en este trabajo está dirigido a un producto cuyo mercado tiene un poder adquisitivo alto y por tanto el consumidor podría realizar la compra del alimento consiente de pagar también por un envase amigable con el medio ambiente. Finalmente, este trabajo se enfocará en el diseño del envase y la migración del compuesto activo como antioxidante, planteando una alternativa de envase biodegradable activo que sea utilizada por industrias cárnicas, y a su vez fomenten una cultura de réplica en otras industrias basado en el uso de envases sostenibles.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un empaque activo biodegradable teórico utilizando polilactida (PLA) y aceite esencial de orégano (*origanum vulgare. L.)* dirigido a una línea de productos cárnicos finos, para la sustitución de envases convencionales y la prolongación de vida útil del producto

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estimar el tiempo de acción del compuesto activo del aceite esencial de orégano durante el contacto con el alimento mediante el uso de modelos basados en la ley de Fick.
- Definir una formulación teórica de película activa biodegradable de polilactida con aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare. L.),* considerando las características de calidad del alimento y los aspectos técnicos y legales pertinentes.
- Proponer el diagrama de proceso de la línea de producción del envase biodegradable activo, seleccionando la tecnología necesaria.

- Calcular los costos de producción de los empaques activos biodegradables propuestos considerando la línea de proceso establecida y las materias primas requeridas.

1.4. Marco teórico

1.4.1 Polímeros

Un polímero es una macromolécula formada por la repetición de unidades químicas simples, de forma lineal o ramificada. Se repite una unidad conocida como unidad monomérica. La longitud de la cadena, denominada grado de polimerización, viene especificada por las unidades repetidas (Hiemenz & Lodge, 2007). Pueden ser de origen natural o biopolímeros y de origen fósil. Los primeros se constituyen principalmente de polisacáridos, proteínas, nucleicos, entre otros. Los segundos se obtienen industrialmente, como el nailon, poliestireno, PVC (López Carrasquero, 2014). Además, se pueden distinguir por ser termoplásticos, la habilidad de poder moldearse al aplicar calor, y termoestables, que aunque se aplique suficiente calor no se deformará (Martinez, 2018).

1.4.1.1 Polímeros más utilizados en la industria de envases de alimentos

Food and Drug Administration (FDA) establece una lista detallada de polímeros aprobados para su uso como material en contacto con alimentos. Entre los más comunes están el polietileno (PE), polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET), poliestireno (PS) y cloruro de polivinilo (PVC) por su bajo costo de producción y buenas propiedades barrera.

1.4.2 Polímeros biodegradables

Los polímeros biodegradables son aquellos que experimentan degradación por acción de microorganismos o reacciones químicas, en un período corto, para dar CO2 y nueva biomasa, más H2O en presencia de oxígeno o CH4 en ausencia de oxígeno (Nair & Laurencin, 2007).

Pueden pertenecer a dos grupos. Polímeros naturales, como polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos; que utilizan la actividad biológica de microorganismos para transformar sustratos en un producto de partida para la polimerización. Polímeros sintéticos como poliésteres, poliuretanos, que son aquellos fabricados por el hombre (Sin et al., 2013).

1.4.3 PLA

El PLA es un polímero de síntesis que pertenece a la familia de los poliésteres alifáticos y es biodegradable/compostable. De este polímero termoplástico de alta resistencia se obtiene películas, piezas moldeadas o fibras. Su estructura estereoquímica se puede modificar a través de la polimerización de isómeros L o D para obtener estructuras amorfas o cristalinas (Auras et al., 2004; Garlotta, 2001). Se puede procesar bajo diferentes técnicas y es asequible a precios razonables (Avérous, 2008). El PLA se degrada por hidrólisis simple del enlace éster a temperaturas superiores a 200 °C, sin necesidad de enzimas; a una tasa que depende del tamaño del objeto, el radio del isómero y la temperatura (Garlotta, 2001).

1.4.3.1 Propiedades de PLA

Las propiedades físicas y mecánicas del PLA están influenciadas por los isómeros, temperatura de proceso y peso molecular. Presenta propiedades interesantes como su alta elasticidad y módulo, pero a su vez es frágil y de baja resistencia térmica (Carrasco et al., 2010). La región cristalina respecto a la región amorfa es importante debido a su influencia sobre la dureza, resistencia a la tracción, rigidez, pliegues y puntos de fusión del polímero (Farah et al., 2016).

1.4.3.2 Propiedades barreras de PLA

Uno de los factores más significativos en el diseño de empaques son las propiedades barreras del polímero, dadas por la permeabilidad de

gases, vapor de agua y/o moléculas de aroma. En la Figura. 1.1.1 se muestran las propiedades barrera de PLA en comparación con otros polímeros comunes, polietileno de baja densidad (LDPE), tereftalato de polietileno (PET) y poliestireno (PS) a 30 ° C, para el N2, O2, CO2 y CH4 (Farah et al., 2016).

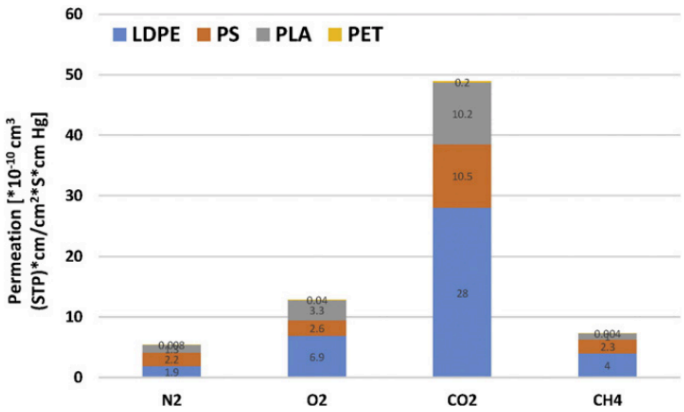


Figura 1.1.1. Propiedades barreras del PLA (Farah et al., 2016)

1.4.4 Aditivos en PLA

El uso de aditivos en PLA tiene la finalidad de, entre otras, evitar el colapso de la película soplada, la reducción de fricción (Courgneau et al., 2011; Salazar Gonzalez, 2013). El desarrollo de empaques requiere de materiales flexibles a temperatura ambiente. Para mejorar la ductilidad del material se modifican las propiedades del polímero vía plastificación, dado que no hay tolerancia para el agrietamiento de la película durante la manufactura (Hassouna et al., 2011).

1.4.5 Empaques biodegradables

Los empaques biodegradables son aquellos que logran descomponerse al estar en contacto con el medio ambiente, éstos deben cumplir con estándares internacionales que verifiquen su biodegradabilidad y compostabilidad. Las normativas más utilizadas son: ISO 17088 Internacional, norma europea EN 13432, ASTM D6400 y AS 4736 de Australia. Un requisito mínino es tener la capacidad de biodegradarse al

menos un 90% en CO_2 por acción de microorganismos, en un período menor a los 6 meses (European Bioplastics, 2015).

Su aplicación en alimentos incluye elementos desechables, películas para envolver, bandejas, etc. El PLA presenta ventajas debido a su versatilidad como polímero, alta transparencia, fácil procesamiento y resistencia a la solubilidad del agua (Siracusa et al., 2008).

1.4.6 Empaques activos

Los empaques activos son sistemas de protección que mantienen la calidad y alargan la vida útil de los alimentos, mediante fenómenos fisicoquímicos añadidos. En general los empaques activos son utilizados para solucionar problemas habituales de deterioro en productos empacados. Existen empaques absorbentes de oxígeno, vapor de agua, CO_2 y etileno, así como también hay empaques que liberan sustancias antioxidantes que evitan la oxidación de los alimentos. Otro tipo de empaque activo son los reguladores de humedad y permeabilidad a gases selectivos, que evitan el deterioro apresurado de los alimentos (Aguirre et al., 2013).

1.4.7 Aceites esenciales

Los AE son compuestos de mezclas complejas volátiles procedentes del metabolismo secundario de las plantas lipofílicas (Usano, Palál, & Díaz, 2014). Son extraídos de diferentes partes de las plantas, frutos, raíces, cortezas y hojas (Acevedo et al., 2013). Se ha reportado que los AE presentan propiedades antioxidantes, antifúngicas y antimicrobianas en los sistemas de empacados activos que permiten extender de vida útil de los alimentos envasados (Aguirre et al., 2013).

1.4.7.1 Orégano

EL AE de orégano (*Origanum vulgare*) se estudia por su efectividad como antimicrobiano y antioxidante por su contenido de compuestos

fenólicos, timol y carvacrol (Altamirano, 2013), compuestos de alta reactividad a radicales libres, mecanismo que evita la propagación de compuestos inestables inhibiendo las reacciones de oxidación en los alimentos (Amadio et al., 2011).

1.4.8 Interacción de empaques biodegradables activos con productos cárnicos

Los envases activos ofrecen características prometedoras a los productos cárnicos en contacto (Domínguez et al., 2018). Su aplicación limita los procesos oxidativos y minimiza la proliferación bacteriana, evitando el deterioro y el riesgo de problemas de inocuidad del alimento (Fang et al., 2017). Los compuestos antioxidantes incorporados en empaques se liberan gradualmente desde la matriz polimérica hacia la superficie de los alimentos. El poder activo dependerá de la concentración de los compuestos orgánicos añadidos. A excesivas concentraciones puede provocar cambios organolépticos no deseados (Fang et al., 2017).

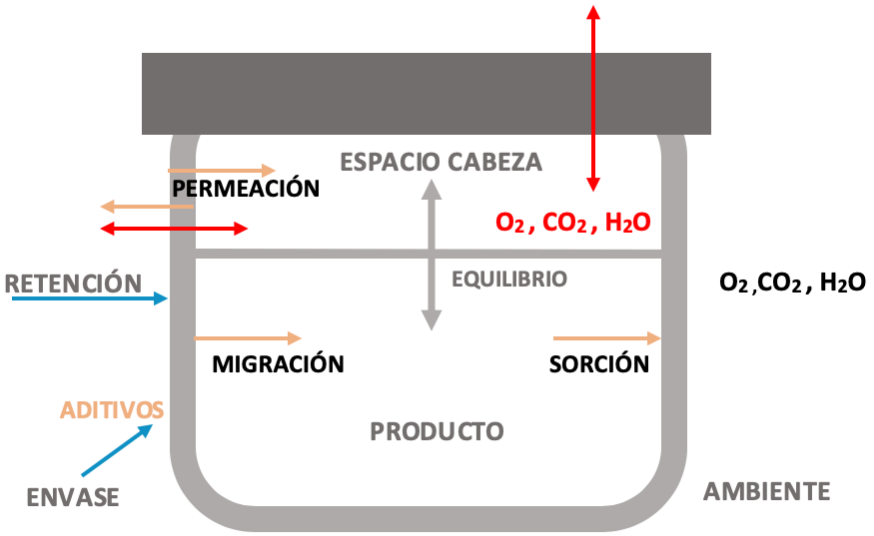


Figura 1.1.2. Interacción Ambiente-Envase-Alimento. Adaptado de García (2016).

1.4.9 Migración de aditivos a través de matriz polimérica.

La migración es el resultado combinado entre procesos difusivos y equilibrio, que provocan la transferencia de compuestos orgánicos de bajo peso molecular desde el empaque plástico al alimento (Martínez, 2017). Este fenómeno se da por mecanismos básicos, la difusión del compuesto migrante en el polímero, la disolución en el entorno o también llamado espacio cabeza, y por último, la disociación en el alimento (Anbinder, 2011).

1.4.9.1 Ley de Fick

El comportamiento de migración de compuestos está basado en la segunda ley de Fick (García, 2016), (1.1):

$$\frac{\partial C_A^P}{\partial t} = D_A^P \frac{\partial^2 C_A^P}{\partial x^2} \tag{1.1}$$

Donde "C_A^P" denota la concentración del aditivo migrante A en el empaque P en función de una dimension “x” , en un tiempo “t” y "D_A^P" es el coeficiente de difusión de “A” en “P” que representa la velocidad con la que se difunde el compuesto migrante, en este caso, el aceite esencial (Navia et al., 2014).

1.4.10 Métodos de fabricación de empaques plásticos.

Los métodos de fabricación varían según el tipo de empaque a realizar, entre los más utilizados están: extrusión, moldeo por soplado, inyección, termo formado (Castro-Aguirre et al., 2016). Para el proceso de fabricación de películas de PLA se utiliza el proceso de extrusión, que se basa en la fundición del polímero y la mezcla de otros materiales mediante el uso de tornillos calentados del equipo extrusor bajo condiciones específicas, dando como resultado una película homogénea

(Chung, 2019). El proceso de elaboración de bandejas usa el termo-formado, que consiste en la deformación de una lámina polimérica por medio de calor y vacío, que toma la forma del molde utilizado (Dasso, 2017).

1.4.11 Productos cárnicos

La calidad de las carnes es juzgada con base en características como la apariencia general del producto, frescura, color, y una vez abierto, la evaluación del olor, sabor y textura. Estos productos son alimentos perecederos con altas cantidades de grasa, factor principal de deterioro de la carne (Dhananjayan et al., 2006). La descomposición se da fácilmente durante su almacenamiento debido a la presencia de radicales libres que provocan cambios organolépticos como sabores rancios y cambios de colores, además de la pérdida de solubilidad de las proteínas (Fasseas et al., 2008).

La exposición del producto al oxígeno facilita el crecimiento microbiano, el desarrollo de sabores, olores desagradables y cambios de color. Este último es dado por la oxidación del átomo de hierro presente en la mioglobina, cambiando de tonalidades rojas brillantes a marrones formando metamioglobina (Guerrero-Legarreta I. & Ramírez-Bribiesca, 2017). En la oxidación de lípidos, además del enranciamiento de la carne, forma aldehídos tóxicos y la pérdida de la calidad nutricional (Gómez-Estaca et al., 2014).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1. Materiales

2.1.1 Polilactida (PLA)

Se eligió PLA Ingeo 4042D en forma de pellets, elaborado por proveedor Natureworks LLC, empresa innovadora y líder en biopolímeros a nivel mundial. Este tipo de PLA contiene 6% de D-lactida, y un peso molecular de 209000 g/mol (Verney et al., 2018). Este grado de biopolímero es destinado específicamente para procesos de extrusión y tiene excelentes propiedades ópticas y de torsión, además de ser gran barrera al sabor, grasa y aceites (NatureWorks, 2018). En la Tabla 2.2.1 se muestran las propiedades del material que constan en la ficha técnica proporcionada por el proveedor (NatureWorks, 2019).

Tabla 2.2.1. Propiedades físicas y mecánicas de PLA Ingeo 4042D

Propiedades físicas	
Densidad	1.24
Transmisión de vapor de humedad (cc-mm/m^2-24hr-atm)	8.30
Transmisión de oxígeno (cc-mm/m^2-24hr-atm)	14
Propiedades mecánicas	
Módulo secante (GPa)	3.302
Resistencia de tracción a la rotura (MPa)	110.1
Propiedades de proceso	
Temperatura de alimentación (ºC)	180°C
Temperatura de fusión (ºC)	(202°C) – (218°C)

El PLA Ingeo 4042D puede usarse para la elaboración de películas y envases en contacto con alimentos, tal como consta en los reglamentos internacionales (FDA, 2005).

2.1.2 Aceite de orégano

Como componente activo a ser incluido en el envase, se seleccionó aceite esencial de orégano con alto contenido de carvacrol, provisto por industria certificada Xi´an WanFun Biotech Co. LTD. Este aceite natural

con poder antimicrobiano y antioxidante, originario de las hojas de la planta *Origanun vulgare,* es obtenido mediante extracción con vapor de agua destilada, a una temperatura de ebullición de 236.8 °C (WanfunBiotech, 2020). En la Tabla 2.2.2 se presentan las propiedades fisicoquímicas del certificado de calidad del aditivo.

Tabla 2.2.2. Propiedades de aceite esencial de orégano

Propiedades	Límites de especificación	Resultado
Apariencia	Color amarillo claro a marrón rojizo	Cumple
Olor	Aroma característico del orégano, herbáceo, fenólico.	Cumple
Densidad relativa (25 ºC)	0.946-0.988	0.979
Índice de refracción	1.495-1.1.505	1.498
Solubilidad	1 volumen de muestra disuelta en 2 volumenes de muestra de etanol al 75%.	Cumple
Contenido	Carvacrol	80.28%

2.1.3 Plastificante

Para la selección del plastificante se consideraron los factores que mejoran el comportamiento del PLA, como la miscibilidad del plastificante con el polímero, la capacidad de deformación, sin afectar las propiedades barrera y mecánicas del material. También, se consideró el peso molecular, debido a que mientras más bajo sea, más eficientes será con el material en contacto (Dasso, 2017). Por ello, se escogió el plastificante Polietilenglicol, elaborado por Merck Group, que satisface todas las característcas mencionadas anteriormente. En la Tabla 2.2.3 se muestran las propiedades del material descritas por el proovedor (Merck, 2018).

Tabla 2.2.3. Propiedades fisicoquímicas de Polietilenglicol

Propiedades fisicoquímicas	
Estado	Líquido
Color	Incolora
Peso molecular	300 g/mol
Punto de fusión ºC	(- 15°C) – (-10°C)
Punto de ebullición ºC	> 220 °C
Densidad (g/cm3) a 20 ºC	1,13

2.2. Métodos

2.2.1 Diseño del empaque

2.2.1.1 Formatos de empaque: bandeja y película

Se plantearon dos formatos de empaque, bandeja biodegradable de PLA y film biodegradable activo de PLA con aceite esencial de orégano. Las dimensiones del empaque fueron seleccionadas con base a medidas estándar de productores de envases para alimentos, específicamente para cortes de carne (SENASA, 2020) y se presentan en la Tabla 2.2.4.

Tabla 2.2.4. Dimensiones de formatos de envase

Formato	Medidas exteriores
Bobina de Film PLA	Largo: 94000 mm Ancho: 250 mm Espesor: 0.030 mm
Bandeja PLA	Largo: 230 mm Ancho: 150 mm Alto: 20 mm Espesor: 0.25mm

2.2.1.2 Medio alimenticio

El empaque fue diseñado para ofrecer un efecto antioxidante al alimento, en este caso, a los cortes finos de carne. En la Tabla 2.2.5 se muestran algunas de las aplicaciones para cortes de res y cerdo.

Tabla 2.2.5. Cortes finos de carne

Res	Cerdo
Porter house	Bife
Rib eye	Picaña
Lomo fino	Lomo fino

2.2.1.3 Concentración mínima de compuesto activo

Se estableció una concentración mínima (CM) de 0.01% (100 ppm) de aceite esencial de orégano en contacto con el alimento. A partir de esta concentración en el alimento, se muestra un efecto significativo en la vida útil del producto gracias al poder antioxidante del aceite esencial

de orégano (Al-Hijazeen et al., 2016). Una vez establecido este valor, es posible determinar la cantidad de aceite esencial de orégano que debe ser incorporada al envase. Con ese fin, se realizó un análisis de migración del compuesto activo mediante el uso del software MIGRATEST EXP.

2.2.1.4 Uso del software Migratest EXP

El punto de partida para el estudio de la interacción entre el envase y el alimento es la transferencia de masa por difusión (2.1). Este proceso se analizó con ayuda del software antes mencionado, mediante algoritmos matemáticos, conociendo las condiciones iniciales y de frontera en el sistema. Además, conociendo el coeficiente de difusión, partición, dimensiones geométricas del envase y concentraciones iniciales del migrante (Piringer & Baner, 2008).

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D\,\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \tag{2.1}$$

donde *x* es el espesor de la membrana, *C* la concentración de permeantes y *t* el tiempo.

Se tomaron en cuenta las siguientes especificaciones teóricas en el uso del software:

1. Un material o artículo plástico en contacto con alimentos puede considerarse como una película/lámina (P) de capa única de espesor finito y constante (d_p) en contacto con un alimento (F).
2. Se asume que durante el proceso de fabricación de P el migrante se distribuye homogéneamente en P, con una concentración inicial ($C_{p,0}$), y que la cantidad no influye en la matriz P.

3. Se asume que no hay resistencia límite para la transferencia del migrante entre P y F.
4. Se asume que la interacción entre P y F es insignificante y no se produce un efecto de hinchamiento de P por la absorción de F durante el proceso de migración.
5. El migrante se distribuye homogéneamente en F y la suma total del migrante en P y F es constante durante el proceso de migración.

El programa comprende una ventana interactiva donde se ingresaron las especificaciones del material, aditivo y alimento. Se establecieron las condiciones de tiempo y temperatura, 10 días y 4°C, respectivamente. Se ingresó al programa el espesor d_p de 30 um de la película de PLA y un área A de 345 cm^2, de acuerdo con las dimensiones del envase. Adicionalmente, se ingresó el nombre y densidad del polímero.

Respecto al compuesto migrante, se usó la molécula de carvacrol debido a que se encuentra en mayor proporción en el aceite esencial de orégano. Se ingresó el nombre 'carvacrol', el peso molecular 150.217g/mol y la concentración inicial. En este punto se realizaron varias corridas del software con diferentes porcentajes de concentración inicial, para establecer la mejor formulación teórica a emplear en el envase de acuerdo con los análisis de migración realizados por el programa. Dado que el programa ofrece un listado de alimentos reales para el análisis de migración, se seleccionó como medio de contacto "carne de cerdo con 10% de grasa", debido a que se lo consideró como el que mejor representa al producto al cual está destinado este trabajo. Finalmente, se seleccionó el coeficiente de difusión mediante una opción que viene incorporada en el software y que se basa en una fórmula desarrollada por FABES, fabricante del programa.

Por último, se fijó el valor de 1 como coeficiente de partición, considerando que el compuesto migrante se disuelve bien en el medio en contacto a 4 °C. Una vez terminado el cálculo numérico, el programa presenta 2 gráficas: el perfil de concentración del migrante en la capa del polímero y la evolución dependiente del tiempo de la concentración promedio del migrante en el medio en contacto.

2.2.1.5 Planteamiento de formulaciones

Para el planteamiento de la formulación del empaque respecto a la cantidad de aceite a utilizar, se tomaron en cuenta dos factores: la concentración mínima del compuesto activo que debe migrar hacia el alimento y la pérdida del compuesto activo durante el proceso de extrusión de la película debido a la volatilización del compuesto. Se plantearon tres diferentes concentraciones del compuesto 5%, 7% y 10% a evaluar. Adicionalmente, se calculó la cantidad de pellets necesarios para elaborar una bandeja y una bobina de film, tomando en cuenta la densidad y volumen del material.

2.2.2 Diseño de la línea de proceso

2.2.2.1 Línea de proceso

El procesamiento del PLA se puede realizar de igual forma que las técnicas empleadas para termoplásticos (Al-Itry et al., 2014; Rauwendaal, 2001). Sin embargo, la técnica y sus parámetros influyen en las propiedades de la pieza a obtener debido a la sensibilidad hidrolítica y térmica de los enlaces del material (Nascimento, 2008). Por lo tanto, la decisión del proceso y equipos para obtener una película activa biodegradable y una bandeja biodegradable se realizó en función de las características del PLA y la escalabilidad de producción tomando en cuenta el mercado disponible.

El diagrama de procesos se diseñó considerando el principio de flujo hacia delante, es decir, desde la recepción de materia prima hasta el

despacho de producto terminado (BPM, 2015). Además, se definieron los equipos más apropiados y la capacidad de estos en función de la demanda a satisfacer.

2.2.2.2 Layout

Se utilizó la metodología de CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning) para definir el layout del diseño de la planta con la línea del proceso, de acuerdo con una calificación de cercanía entre las actividades establecidas para distribuir eficientemente las áreas en un determinado espacio.

Tabla 2.2.6. Nomenclatura para tabla relacional de actividades

CODIGO	PROXIMIDAD	COLOR
A	Absolutamente necesario	Rojo
E	Especialmente importante	Amarillo
I	Importante	Verde
O	Ordinario	Azul
U	Sin importancia	Negro
X	Rechazable	Café

Tabla 2.2.7. Escala y motivos

MOTIVO	
1	Proximidad en el proceso
2	Higiene
3	Control
4	Polvos
5	Malos olores, ruidos, etc
6	Seguridad del producto
7	Utilización material común
8	Accesibilidad

2.2.3 Estimación de costos

Para la estimación de costos del empaque se tomaron en cuenta los costos de materia prima, mano de obra y costos indirectos, que dan lugar

al costo total de producción y al costo unitario del producto (Sinisterra, 2006).

$$Costo\ total = C.materia\ prima + C.mano\ de\ obra + C.indirectos \quad (2.2)$$

$$Costo\ unitario = \frac{Costo\ total}{Unidades\ producidas} \quad (2.3)$$

Una vez obtenido el costo unitario, se aplicó el método de fijación de precios mediante margen de ganancia (Kotler & Keller, 2006)

$$Precio\ de\ venta = \frac{Costo\ unitario}{1-\%\ margen\ de\ ganancia.} \quad (2.4)$$

Además, se realizó el análisis del punto de equilibrio que permite obtener la cantidad de unidades necesarias a producir para igualar los costos y los ingresos. Con una producción arriba del punto de equilibro se logra tener una rentabilidad (Heizer & Render, 2009).

$$Punto\ de\ equilibrio\ en\ unidades = \frac{Costo\ fijo\ total}{1-\ costo\ variables} \quad (2.5)$$

Finalmente, se llevó a cabo el análisis financiero del proyecto, el cual determina la viabilidad económica, el plazo de recuperación de inversión y la rentabilidad. Se utilizaron indicadores financieros tales como la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR), la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y el Payback.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Diseño de empaque

3.1.1 Uso del software Migratest EXP

Para la veracidad de los cálculos del proceso de migración en el software, se debe considerar valores de coeficiente de difusión y partición más aproximados al comportamiento real del proceso. El coeficiente de difusión en PLA, se calculó con la ecuación de Arrhenius usando la energía de activación obtenida en resultados experimentales con un compuesto de similar peso molecular al de éste estudio (Auras et al., 2006). Para el coeficiente de difusión del alimento, 'carne de cerdo con 10% de grasa', se utilizó la fórmula de 'FABES' desarrollada por la compañía del software con datos reales del proyecto 'FACET' de migración en alimentos reales (FABES, 2008).

En cuanto al coeficiente de partición, ratio de solubilidad en equilibrio, no se cuenta con información en la literatura sobre PLA-'carne de cerdo con 10% de grasa'. Por lo tanto, se asumió el valor de 1; es decir en equilibrio, el medio absorberá el 100% de la concentración inicial de AEO a 4 °C. A pesar de la incertidumbre de coeficiente de partición, se realizaron algunas corridas en el software con valores mayores, 10 y 25, y estos no influyeron significativamente el resultado final.

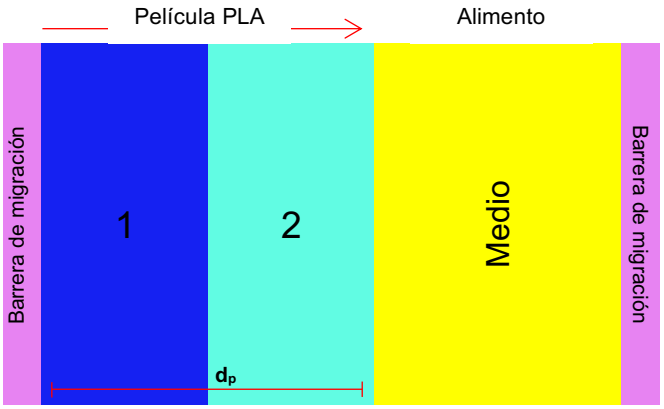


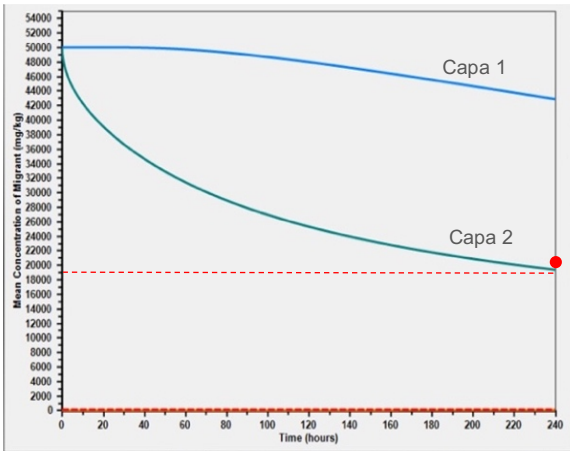
Figura 3.2. Estructura del sistema PLA-Alimento

Desde el punto de vista del programa MIGRATEST EXP, la película de polímero de espesor dp se considera como dos o más capas virtualmente cortadas dp1, dp2, … dpn < dp que están en perfecto contacto entre sí (Apéndice A). En la Figura 3.2 se observa el sistema entre la película, con dos divisiones imaginarias, y el medio en contacto. Cada división es de 15um para obtener una película de 30um como se definió inicialmente en las dimensiones del envase. En la Figura 3.3 se muestra la concentración promedio del aceite esencial de orégano en el proceso de migración dependiente del tiempo durante 10 días a 4 °C , 5% (a), 7% (b) y 10% (c) de AEO. El eje X representa las horas a las cuales se ha ejecutado la simulación, y el eje Y denota las concentraciones promedio del compuesto migrante en mg/kg.

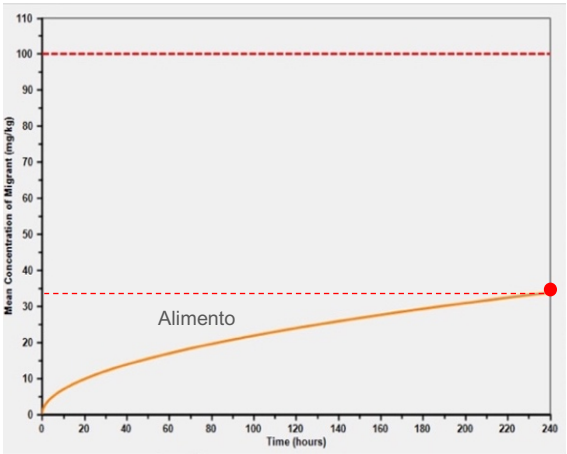
Las concentraciones promedio en el alimento son calculadas por el software con base en las concentraciones de varios puntos a lo largo del espesor del alimento y la concentración en la superficie del alimento. Bajo estas condiciones la concentración promedio en la película de PLA, capa 1 y capa 2 disminuyen. Sin embargo, es de interés analizar la capa 2 debido a que se encuentra más cerca de la superficie del alimento.

En la Figura. 3.3. a1, para una concentración inicial del 5% de AEO en la película, se muestra una disminución de 50000 a 19000 ppm, representando una migración del 68% de contenido inicial de aceite esencial, es decir, del 5% inicial adicionado a la película, queda en la capa 2 un contenido del 1.9% de AEO. En la Figura. 3.3. a2 se puede observar que esta migración de AEO se refleja en el medio en contacto, alcanzando una concentración promedio de 34 ppm a los 10 días. En esta figura, la línea roja a la altura de 100 ppm representa la concentración mínima necesaria para lograr un efecto antioxidante significativo.

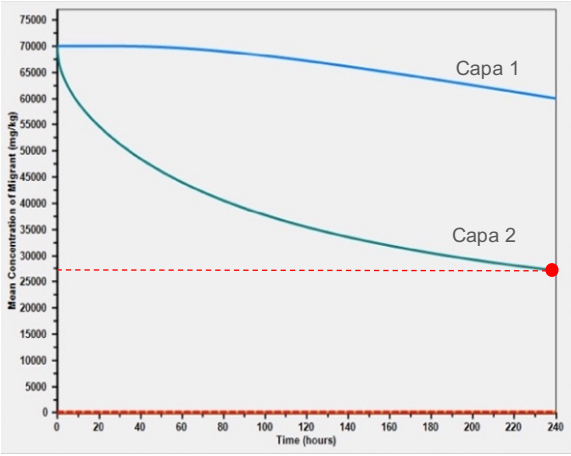
(a1)



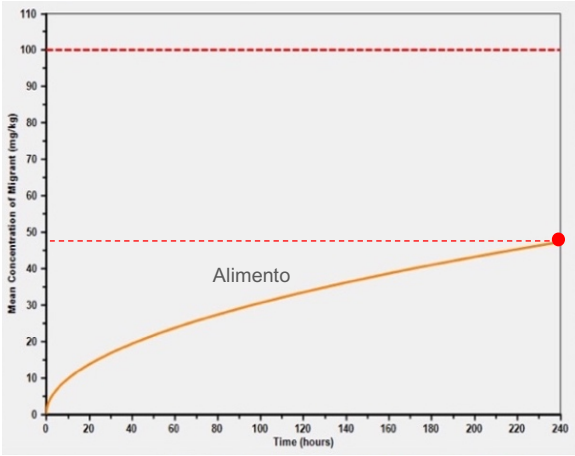
(a2)



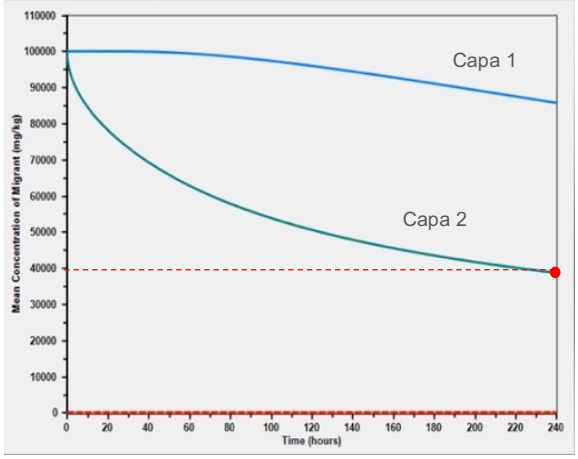
(b1)



(b2)



(c1)



(c2)

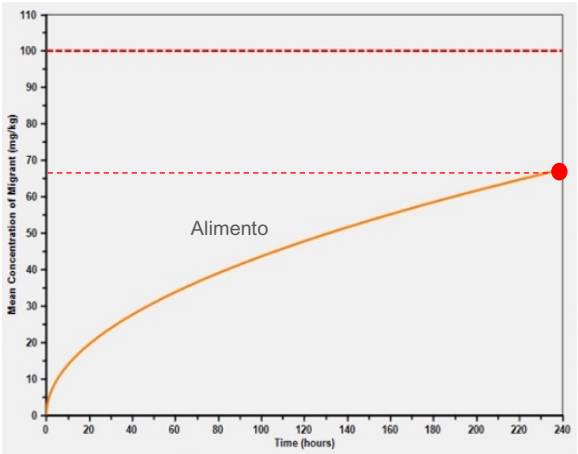


Figura 3.3. Concentración promedio del AEO en el proceso de migración vs tiempo

Así mismo, cuando la concentración inicial en PLA es de 7% de AEO, la migración del aditivo desde la matriz polimérica hacia el medio en contacto de la capa 2 es de 70000 a 27500 ppm; es decir, 60.7% de contenido inicial de aceite esencial ha migrado, es decir, del 7% inicial adicionado a la película, queda en la capa 2 un contenido del 2.75% de AEO (Figura 3.3. b1), y la concentración promedio en el alimento en este caso es de 47 ppm (Figura 3.3. b2). Por último, con una concentración inicial de 10% de AEO se observa una migración desde 100000 a 40000 ppm, representando una migración del 60% y un contenido restante de 4% de AEO en la capa 2 al cabo de 10 días. Esta migración de AEO originó una concentración promedio de 67 ppm en el alimento (Figura 3.3. c2.)

Dado que la concentración promedio en el alimento se calcula con las concentraciones a diferentes espesores del alimento, se elaboró la Figura 3.4 con el fin de observar el perfil de concentración de AEO en mg/kg a lo largo del espesor del sistema película de PLA-Alimento al cabo de 10 días a 4 °C. En esta figura, el eje X representa el espesor en micras y el eje Y la concentración del migrante en mg/kg, por lo que las primeras 30 um, que se observa de color morado y celeste, representan el espesor de la película y el espesor restante, que se muestra en color amarillo, el alimento. En la Figura 3.4., el comportamiento de las curvas es similar para todos los casos debido a que las condiciones son iguales a excepción de la concentración inicial de AEO. Por lo tanto, la variable a analizar es la concentración en la superficie del medio y la profundidad que alcanza el migrante para cada caso durante el proceso de migración.

A 5%, 7% y 10% de concentración inicial de AEO, la concentración en la superficie del medio es de 290 ppm, 400 ppm y 575 ppm respectivamente. Por otro lado, a 9000 um (0.90 cm) de profundidad en el alimento la concentración es 0 ppm para todos los casos (Figura 3.4). Esto significa que en el centro del alimento la concentración será nula y la oxidación se podrá prevenir principalmente en la superficie.

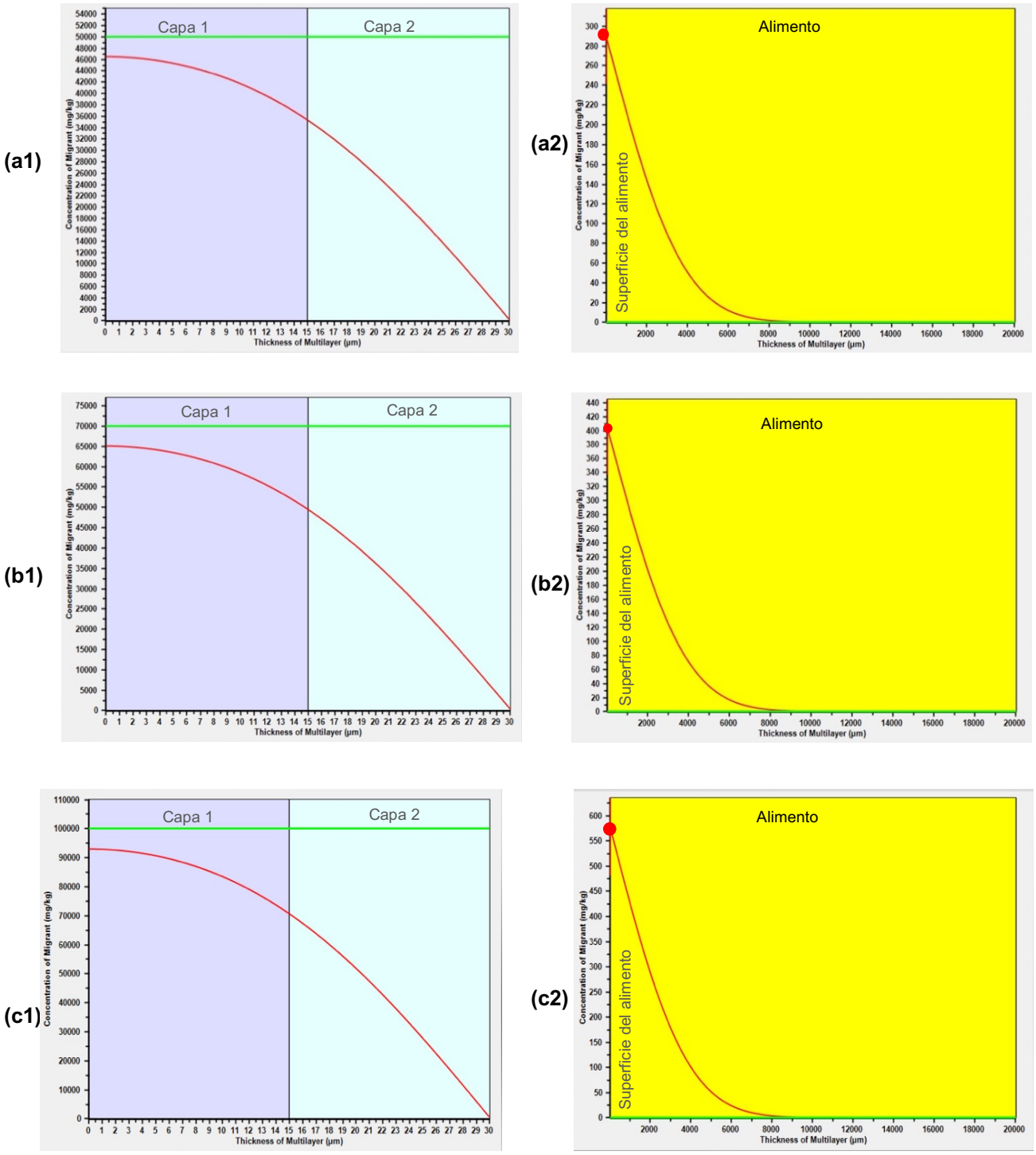


Figura 3.4. Concentración promedio en capas 1, 2 y superfice del alimento.

La literatura científica reporta que tratamientos con 0.1% de AEO aplicados directamente en la elaboración de hamburguesas de carne inhiben significativamente la oxidación de lípidos, en comparación a 0.02% durante los primeros 16 días, lo que representa una dependencia de la concentración en el efecto antioxidante (Sanchez-Escalante et al., 2003).

Cuando la concentración del migrante sea al menos 100 ppm, se puede tener un efecto antioxidante similar al reportado en literatura, con una extensión de vida útil de 8 a 12 días y un aumento del 50% en tiempo de conservación (Al-Hijazeen et al., 2016). Otros autores mencionan una reducción de hasta tres veces en el grado de oxidación de lípidos a concentraciones de 100-200 ppm de AEO en productos cárnicos (Al-Hijazeen et al., 2016; Botsoglou et al., 2003; Chouliara et al., 2007). Por el contrario, concentraciones muy altas de AEO, mayores a 400 ppm aproximadamente, causarían un efecto negativo en las características organolépticas del producto (Al-Hijazeen et al., 2016).

Si se incrementa el tiempo en la simulación de la migración del aditivo, es probable que la concentración en la superficie del producto aumente; sin embargo, el estudio fue realizado a 10 días dado que es el tiempo que normalmente este tipo de alimentos se encuentra en estanterías de los supermercados.

A partir de los resultados obtenidos con el software MIGRATEST se elaboró una gráfica concentración en la superficie del alimento versus tiempo (Figura 3.5). En esta gráfica se observa que para alcanzar la CM a concentraciones de 5%, 7%, 10%, son necesarios 30, 17 y 13 horas, respectivamente.

Como se puede observar en la Figura 3.5. la concentración de 10% alcanzó un valor igual a 400 ppm en la superficie del producto al cabo de 160 horas de contacto, mientras que las concentraciones de 7% y 5% no llegan a los 400 ppm en la superficie del alimento cumplidas las 360

horas de contacto (15 días), sino que a dicho tiempo alcanzan valores de 320 ppm y 230 ppm, respectivamente. Con base en estos resultados, se seleccionó la concentración de 5% de AEO para la formulación, dado que permite alcanzar la concentración mínima necesaria sin sobrepasar los 400 ppm, evitando cambios sensoriales en el corte fino de carne.

En la concentración de 5%, el tiempo de migración de 30 horas para llegar a la CM es mayor que las otras concentraciones; sin embargo, este tiempo es mucho menor que el tiempo que el producto permanece en percha, 240 horas aproximadamente.

Desde el aspecto económico, la concentración del 5% conllevaría utilizar menos AEO en la formulación y en consecuencia se obtendría un producto de menor costo, siendo más competitivo para el mercado.

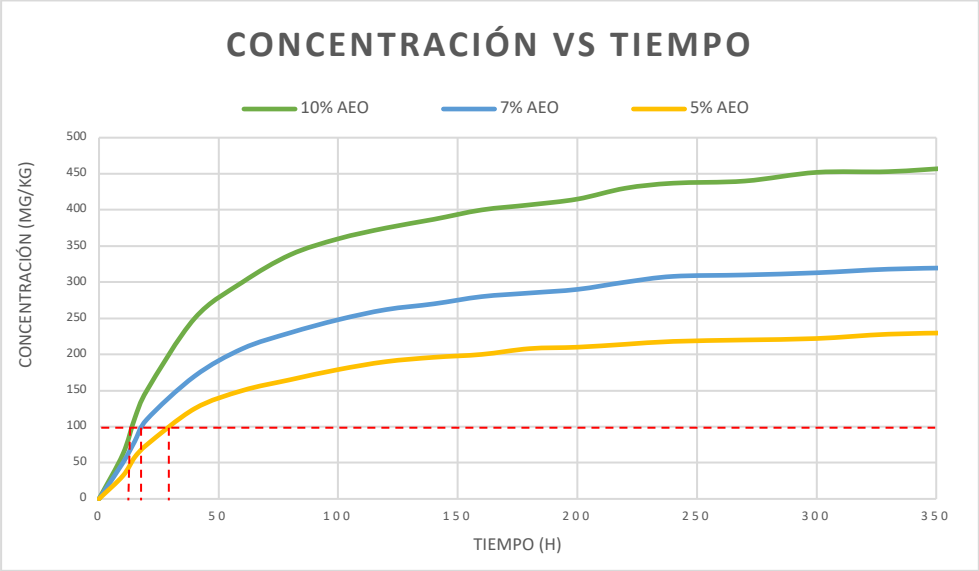


Figura 3.5. Concentración en la superficie vs tiempo

Desde el punto de vista técnico, durante la elaboración de las láminas, es posible que existan fluctuaciones mínimas en el espesor de la película extruida. Por ello, se realizaron simulaciones en el software MIGRATEST EXP con valores mayores y menores de 30 micras (+/- 10 um) y se evaluó la influencia del espesor en el proceso de migración. Como

resultado, no se mostraron cambios significativos en la concentración promedio en el alimento ni en la superficie.

3.1.2 Formulación

Para la formulación de las películas activas, se debe considerar las pérdidas del AEO durante la manufactura por extrusión. Dado que la literatura reporta 5% de pérdidas de aceite esencial durante la elaboración de películas por este método (Zeid et al., 2019), se estableció una formulación con 5.25% de compuesto activo en la elaboración de la película de PLA, dado que 0.25% corresponde a las pérdidas en extrusión. En la Tabla 3.1 se muestra la cantidad de materia prima necesaria para la obtención de una bobina de film y bandeja PLA, según las medidas previamente fijadas. Tanto la bandeja como la película requieren diferentes cantidades de PLA debido al espesor de cada una. La bandeja de PLA ocupa mayor cantidad de PLA que el film, lo que influirá significativamente en el costo unitario del producto.

Ambos contienen el mismo plastificante, polietilenglicol, que corresponde a 10% del peso del polímero.

Tabla 3.1. Formulaciones de film y bandeja PLA.

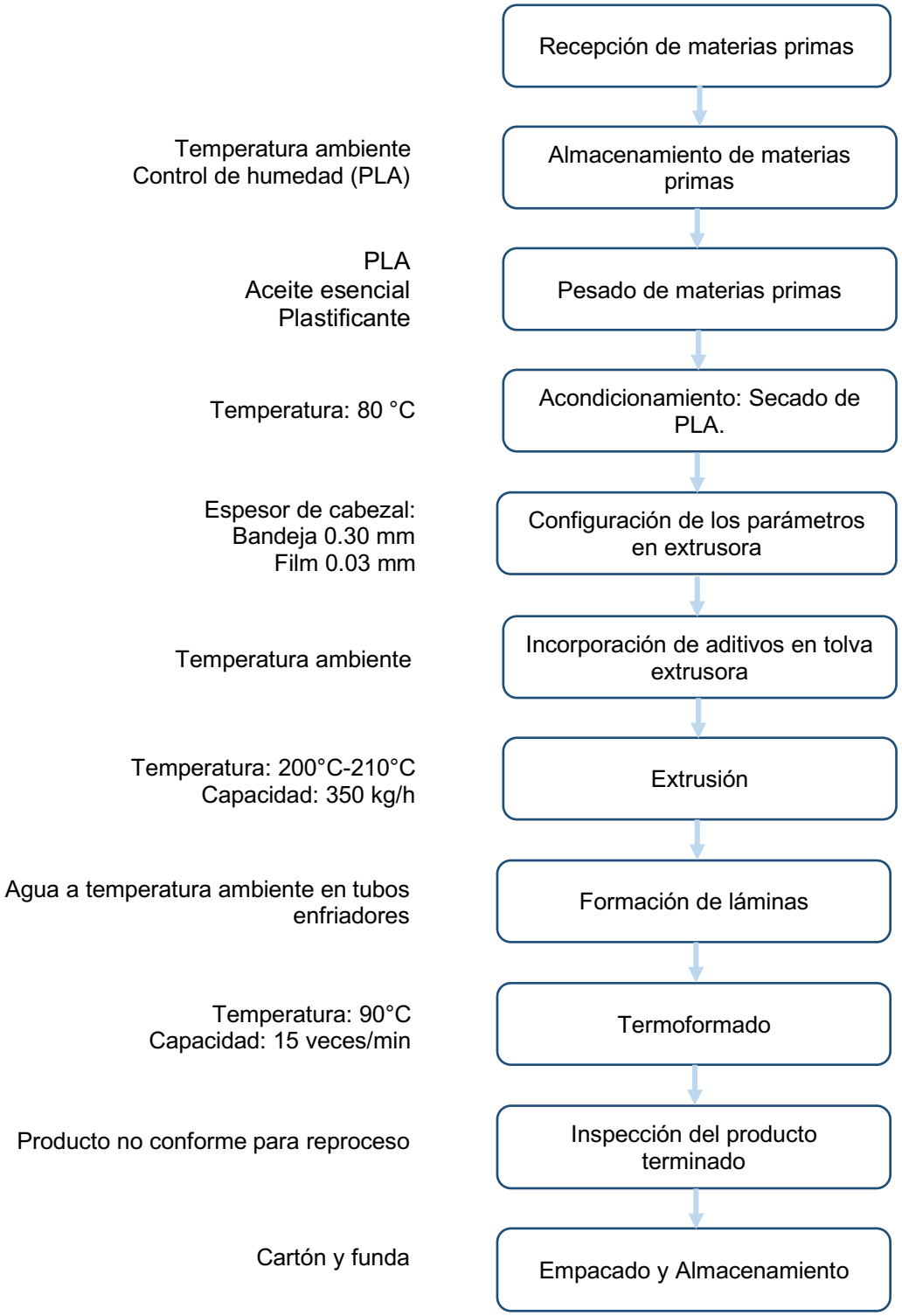
Formulación por producto	Aceite esencial de orégano (%)	Pellets PLA (kg)	Polietilenglicol (%)
Bobina de Film PLA	5.25	0.874	10
Bandeja PLA	0	15.15	10

3.2. Diseño de línea de proceso

3.2.2 Línea de proceso

En diagrama de flujo se muestra la línea de proceso. Las propiedades reológicas del PLA lo convierten en un material ideal para la extrusión y termoformación (Lee et al., 2020). Las resinas de pellet ingresan desde una tolva al espacio entre el tornillo giratorio y el barril calentado del extrusor hasta obtener la película a través de un dado cabezal. En la

termoformadora, se da el ablandamiento de la lámina por calor seguido de la formación de un molde mediante vacío o presión (Zhang et al., 2020).



Los parámetros de extrusión se establecieron conociendo que a 200 °C el PLA se somete a degradación por hidrólisis por lo que es indispensable mantener el contenido de humedad en 0.025% v/v de la resina previo al proceso. El punto de fusión oscila entre 155 °C - 185 °C, pero trabajar a temperaturas mayores a 190 °C causaría el rompimiento de la cadena. Sin embargo, el punto del calentador se ajusta a 200°C - 210°C para asegurar que todo el PLA cristalino se derrita y logre una viscosidad de fusión óptima (Garlotta, 2001; Lee et al., 2020). Es importante que el contenido de isómero-D en PLA se mantenga en 6% como indica el proveedor y así evitar la cristalización durante el punto de fusión (Drumright et al., 2000).

A pesar de las excelentes propiedades ópticas y de alta resistencia a la tracción, el PLA puede resultar rígido y quebradizo debido a que es un material vitroso a temperatura ambiente. Por lo tanto, para mejorar la ductilidad se incluyó un plastificante, 10% de polietilenglicol, que no conduce a la pérdida significativa de peso molecular (Hassouna et al., 2011).

Por otro lado, para definir la capacidad de productividad, se tomó en cuenta la producción anual de carne vacuno, que en Ecuador es de 200.000 toneladas métricas aproximadamente (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2017). Aunque se desconoce el número exacto, se considera que un 8.7% del peso corresponde a cortes finos que se obtienen a partir de una canal de res (Rosales & Orozco, 2009).

Con estos datos estimados, y asumiendo que cada bandeja contiene en promedio 500-1000 g de producto, se planteó una producción mensual aproximada de 200.000 unidades de empaques para satisfacer 10% del mercado, porcentaje correspondiente a la capacidad de producción de las medianas empresas. En la Tabla 3.2. del Apéndice B se encuentra el detalle de los equipos utilizados en la línea de proceso con su respectiva capacidad de producción.

3.2.3 Layout

La distribución de la planta se obtuvo a partir de una tabla relacional de actividades que detalla las etapas del proceso y las áreas, tal como muestra la Figura 3.13. En esta se muestra la calificación de cercanía entre las etapas, de acuerdo con la nomenclatura planteada en la metodología, para establecer una correcta distribución de espacios según el área (m^2) dispuesta para cada zona, acorde a las dimensiones de equipo, utensilios y pasillos necesarios. A través del CORELAP, se determinó una superficie necesaria de 565 m^2 incluyendo el área de producción y la parte administrativa de la planta. Como resultado de la calificación de la Tabla relacional de actividades, etapas y áreas del proceso, la Figura 3.14 y Figura 3.15 muestran una posible distribución de la planta. Cada cuadro corresponde a una actividad o área.

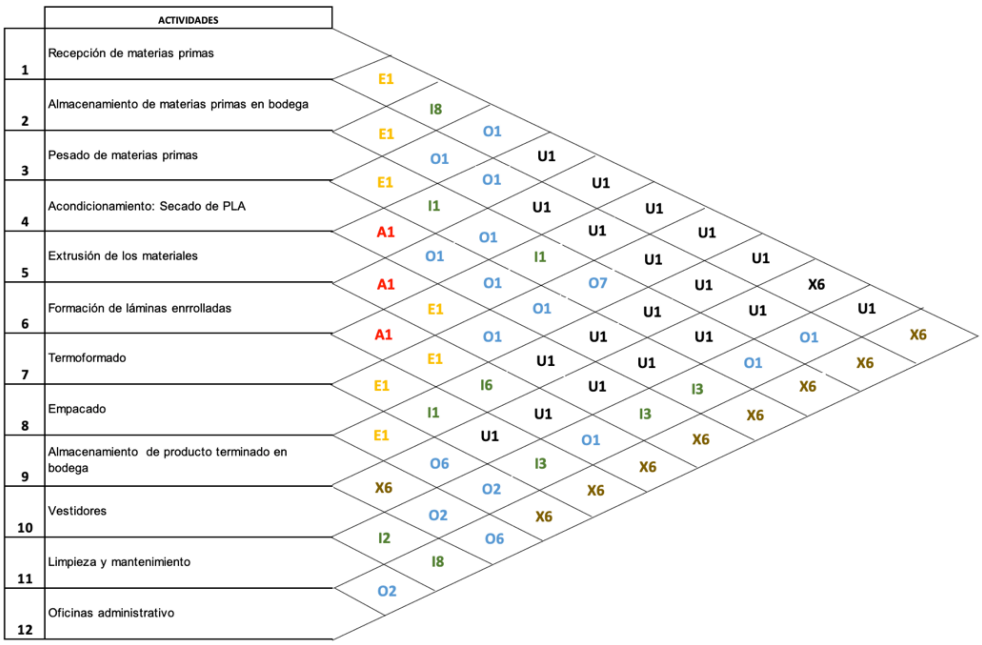


Figura 3.13. Tabla relacional de actividades

El aumento de la intensidad de color denota mayor importancia en la etapa del proceso y su distribución se establece según la necesidad que determinadas áreas estén adyacentes. Por ejemplo, es primordial que la extrusora esté junto a la termoformado para seguir el principio de flujo

hacia adelante. El área de empaque debe estar cerca a estas dos operaciones para manejar una logística más eficiente y evitar recorridos innecesarios del personal en planta. Así mismo, los espacios no productivos, se encuentren en un sector alejado al área de producción.

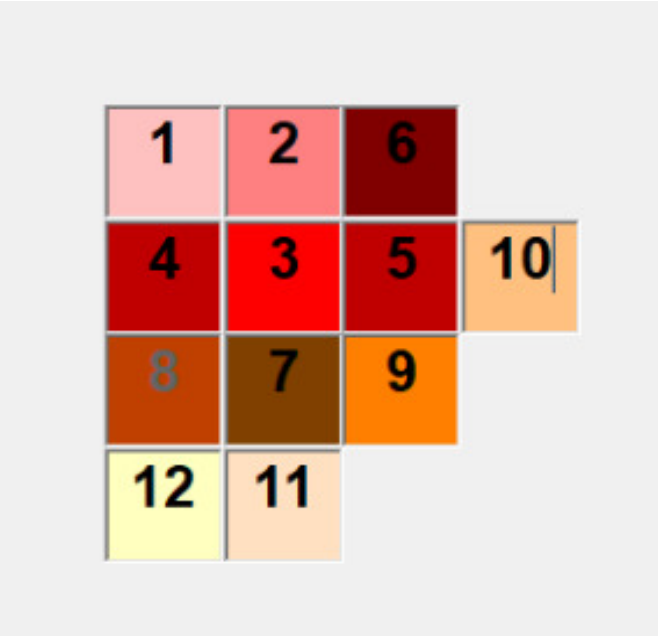


Figura 3.14. Distribución Corelap

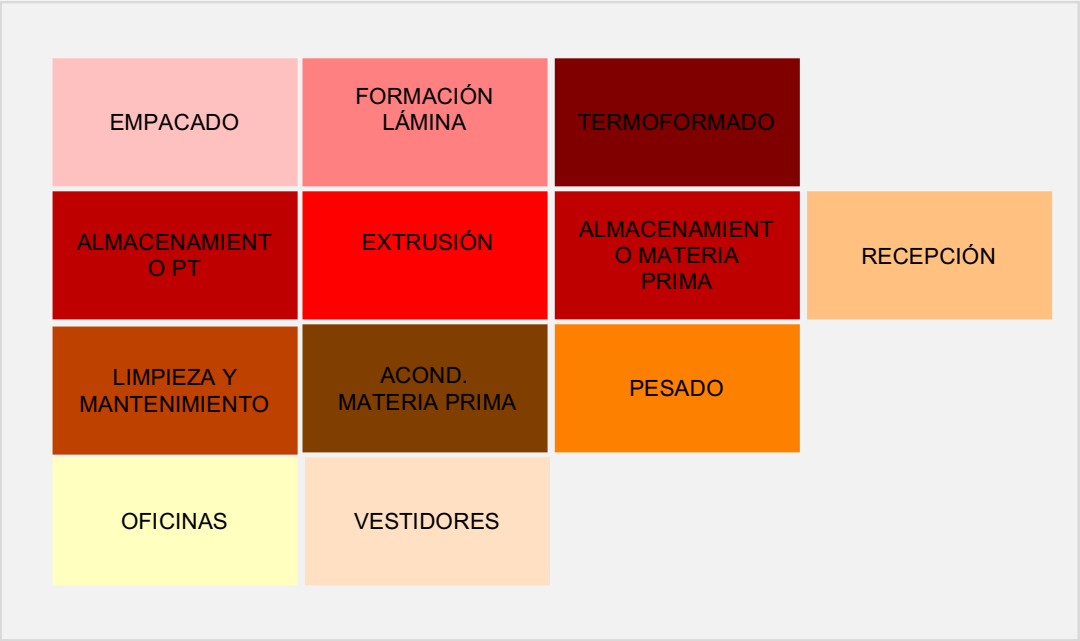


Figura 3.15. Distribución de áreas

3.3. Costos

Para satisfacer la demanda de 200.000 empaques requeridos por mes, tanto para bandejas de PLA como bobinas de film de PLA con AEO, se realizó la estimación de costos considerando una jornada laboral de 8 horas durante 22 días de producción.

En la estimación de los costos totales de producción se consideraron costos directos, costos de mano de obra y costos indirectos, que se detallan en las tablas del Apéndice C, permitiendo estimar el costo unitario de la bandeja de PLA y el film de PLA con AEO.

Tabla 3.9. Costo unitario de empaques

Empaque	Costo unitario ($)
Bandeja de PLA	$ 0.14
Bobina de film PLA con aceite esencial de orégano	$ 25.27

Una vez obtenido el costo unitario, se estableció el precio de venta con un margen de ganancia del 25%. Se debe mencionar que con una bobina de film se pueden sellar aproximadamente 486 bandejas, de acuerdo a las dimensiones de la película bobinada.

Tabla 3.10. Precio de venta

Empaque	P.V.P. ($ USD)
Bandeja de PLA	$ 0.18
Bobina de film PLA con aceite esencial de orégano.	$ 33.69

Los costos estimados en este trabajo para las bandejas de PLA 100% biodegradables, se encuentran en el rango de precios de este producto en el mercado internacional, que va de $0.15 – $0.26 dólares la unidad. Estos valores son mayores a las bandejas de polímeros convencionales; sin embargo, se debe mencionar que la transición a envases compostables a

favor del bienestar medioambiental va tomando importancia en el mercado y en la normativa mundial.

Posteriormente, se estimó la cantidad de unidades necesarias para recuperar la inversión realizada, asumiendo los costos fijos que involucran la mano de obra directa, la mano de obra indirecta y gastos administrativos, mientras que para los costos variables se consideraron costos de materia prima, suministros de producción y otros suministros.

Los resultados correspondientes a los costos fijos y variables se muestran en la Tabla 3.11., en tanto que el punto de equilibrio se muestra en la Tabla 3.12. Para el análisis financiero del proyecto se realizó un flujo de caja proyectado a 5 años, considerando rubros de inversión en instalación, construcción y adquisición de activos fijos.

Tabla 3.11. Tabla de costos fijos y variables

Empaque	Costos	Valor ($)
Bandeja de PLA	Costo fijo	$ 4800
	Costo variable unitario	$ 0.11
Bobina de film PLA con aceite esencial de orégano.	Costo fijo	$ 4800
	Costo variable unitario	$ 13.62

Tabla 3.12. Punto de equilibrio

Empaque	P.V.P ($)	Unidades	Valor ($)
Bandeja de PLA	$ 0.18	26407.34	$ 4799.97
Bobina de film PLA con aceite esencial de orégano.	$ 34.52	239.12	$ 8056.59

En la Tabla 3.13 del Apéndice C se muestra el balance de activos con su correspondiente depreciación. Además, se proyectaron ventas con un crecimiento del 5% anual, en base al crecimiento del PIB estimado para el

2021. Se realizó un aporte de capital de $105073.50 y un préstamo bancario del 65% de la inversión total a una tasa del 9%. En la Tabla 3.15 del Apéndice C se muestra el flujo de caja anual proyectado.

A continuación, se muestran los valores de la tasa mínima de retorno (TMAR), la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y plazo de recuperación (Payback).

Tabla 3.14 Valores de TMAR, TIR, VAN y Payback del flujo de caja

TMAR (%)	TIR (%)	VAN ($)	Payback
11	38	$ 608388.65	3.55

Para que el proyecto sea viable, el valor de la TIR debe ser mayor que la TMAR, en este caso los indicadores muestran que efectivamente se cumple la premisa, es decir que el proyecto es económicamente factible. Además, con un VAN positivo, indicador de que las ganancias generadas son suficientes para realizar la inversión, se obtuvó que el proyecto es rentable. Por último, se estimó un payback de aproximadamente 3 años y 6 meses para la recuperación del capital inicial de la inversión realizada.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La aplicación de materiales activos biodegradables en empaques ha demostrado que además de ser una opción ambientalmente amigable con el ecosistema, prolonga la vida útil de los alimentos, debido a que los compuestos activos presentes en el envase otorgan propiedades beneficiosas a los alimentos empacados.

- Se estableció, con base en la revisión de la literatura científica, concentración mínima necesaria de aceite esencial de orégano (100 ppm) en la superficie del alimento para inhibir la oxidación de lípidos en el producto empacado. Las concentraciones mayores a 400 ppm en el producto podrían generar un efecto no deseado en el sabor y olor del corte de carne.

- El uso del software MIGRATEST permitió determinar la migración de AEO a partir de 3 diferentes concentraciones teóricas de 5%, 7% y 10% de AEO, las cuales alcanzaron la concentración mínima de 100 ppm a partir de las 30, 17 y 13 horas de contacto con el producto, respectivamente.

- Se seleccionó como concentración idónea, 5% de AEO. De este modo, se asegura un aumento de tiempo de vida útil de 8 a 12 días sin afectar a las características sensoriales del alimento, acorde a la literatura. A dicha concentración se adicionó 5% de la cantidad total de AEO empleada en la formulación, porcentaje que se pierde en el proceso de extrusión, estableciendo así que en la elaboración de la película activa

de PLA por extrusión se debe agregar 5.25% de AEO y 10% de Polietilenglicol.

- La formulación del 5 % mantiene concentraciones mínimas de 100 ppm en la superficie del producto durante al menos 360 horas de contacto, tiempo superior a la vida de anaquel esperada para este tipo de producto.

- Las concentraciones obtenidas del compuesto activo durante la simulación de migración no mostraron cambios notables por uso de diferentes coeficientes de partición, es decir, la solubilidad entre los compuestos no afecta significativamente la difusión del AEO en el alimento.

- Se elaboró un diagrama de flujo del proceso, el cual comprende la producción de los dos empaques, bandeja de PLA y película de PLA con AEO en la misma línea, con una capacidad de producción de 350 kg diarios, logrando alcanzar la oferta mensual estimada en 200 000 envases.

- La distribución de planta elaborada con la herramienta Corelap mostró un ordenamiento óptimo de las áreas y etapas del proceso que involucran la producción industrial de empaques, con 655 m^2 requeridos según las dimensiones de las instalaciones y maquinarias.

- La estimación de costos y flujo de caja proyectado a 5 años mostraron un margen de ganancia del 25%, con un P.V.P. de $ 0.18 para la bandeja de PLA y $ 33.69 para la bobina de film PLA con AEO, con un punto de equilibrio de 26407.34 y 239.12 unidades, respectivamente. Además, los indicadores financieros calculados mostraron que el

proyecto es rentable y que se logra recuperar la inversión inicial en un plazo de 3 años y 6 meses aproximadamente.

- Con base en la simulación del proceso de migración de compuestos desde envases a alimentos, estos envases permitirían reducir el impacto ambiental por la contaminación de plásticos y al mismo tiempo aumentar la vida útil del producto.

4.2. Recomendaciones

- Realizar experimentos para determinar el coeficiente de difusión de la molécula de carvacrol en la película de PLA a 4 °C, debido a la importancia de esta variable en las ecuaciones de transferencia de masa para estudiar el proceso de difusión a través de un material a una determinada temperatura.

- Realizar experimentos para determinar el coeficiente de partición entre PLA y el medio en contacto a 4 °C, considerando que el envase está diseñado con la intención de empacar diferentes productos cárnicos, y esto afecta la capacidad y velocidad con la que un material, la matriz alimenticia, adsorbe una molécula migrante.

- Desarrollar la formulación planteada de estudio a escala de laboratorio para determinar las propiedades antioxidantes, térmicas y mecánicas de la película activa a fin de validar este estudio teórico.

- Elaborar una ficha técnica con las especificaciones del producto donde se mencionen las características y modo de uso del envase con la intención de ofrecer toda la información necesaria y relevante de forma clara y específica para su venta y recepción. En esta ficha se debería incluir el tiempo de almacenamiento máximo del envase, considerando

pérdidas por difusión del migrante previo al empacado y distribución final.

- Realizar un estudio sensorial de los cortes finos de carne en contacto con las concentraciones de AEO planteadas como mínimas y máximas en la superficie del alimento, para validar la ausencia de efectos significativos en el aroma y sabor del alimento.

- Realizar un estudio de mercado para establecer la demanda real con el fin de determinar el alcance del proyecto y minimizar los riesgos de inversión. Esta información es necesaria para asegurar la viabilidad del negocio, más aún cuando la inversión inicial es considerablemente alta debido al nivel tecnológico del producto.

BIBLIOGRAFIA

Acevedo, D., Navarro, M., & Monroy, L. (2013). Composición química del aceite esencial de hojas de orégano (origanum vulgare). *Información Tecnológica*, *24*(4), 43–48. https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000400005

Aguirre, A., Borneo, R., & Leo, A. E. (2013). Antimicrobial , mechanical and barrier properties of triticale protein films incorporated with oregano essential oil. *ScienceDirect*, *1*, 2–9. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2012.12.001

Al-Hijazeen, M., Lee, E. J., Mendonca, A., & Ahn, D. U. (2016). Effect of oregano essential oil (Origanum vulgare subsp. hirtum) on the storage stability and quality parameters of ground chicken breast meat. *Antioxidants*, *5*(2). https://doi.org/10.3390/antiox5020018

Al-Itry, R., Lamnawar, K., & Maazouz, A. (2014). Reactive extrusion of PLA, PBAT with a multi-functional epoxide: Physico-chemical and rheological properties. *European Polymer Journal*, *58*, 90–102. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.06.013

Amadio, C., Medina, R., Dediol, C., Zimmermann, M., & Miralles, S. (2011). Aceite esencial de orégano: un potencial aditivo alimentario. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*.

Anbinder, S. (2011). *Caracterización, evaluación y aplicaciones de películas activas.* Universidad Nacional de la Plata.

Atanasovski, R. (2018). El desperdicio de comida, una oportunidad para acabar con el hambre. *Noticias ONU*.

Auras, R., Harte, B., & Selke, S. (2004). Effect of water on the oxygen barrier properties of poly(ethylene terephthalate) and polylactide films. *Journal of Applied Polymer Science*, *92*(3), 1790–1803. https://doi.org/10.1002/app.20148

Avérous, L. (2008). Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources. In *Polylactic Acid: Synthesis, Properties and Applications* (pp. 433–450).

Belcher, J. N. (2006). *MEAT Industrial packaging developments for the global meat market*. *74*, 143–148. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.031

BPM. (2015). *Nueva Normativa de BPM – Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria*. https://www.controlsanitario.gob.ec/nueva-normativa-de-bpm/

Carrasco, F., Pagès, P., Gámez-Pérez, J., Santana, O. O., & Maspoch, M. L. (2010). Processing of poly(lactic acid): Characterization of chemical structure, thermal stability and mechanical properties. *Polymer Degradation and Stability*, *95*(2), 116–

125. https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.11.045

Castro-Aguirre, E., Iñiguez-Franco, F., Samsudin, H., Fang, X., & Auras, R. (2016). Poly(lactic acid)—Mass production, processing, industrial applications, and end of life. *Advanced Drug Delivery Reviews*, *107*, 333–366. https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.03.010

Chung, C. I. (2019). Extrusion of Polymers-Theory and Practice. In *Hanser Publishers*. https://doi.org/10.3139/9781569907382.fm

Courgneau, C., Domenek, S., Guinault, A., Avérous, L., & Ducruet, V. (2011). Analysis of the Structure-Properties Relationships of Different Multiphase Systems Based on Plasticized Poly(Lactic Acid). *Journal of Polymers and the Environment*, *19*(2), 362–371. https://doi.org/10.1007/s10924-011-0285-5

Dasso, G. (2017). *PLA / nanocelulosa : nanobiomateriales para envases*. Universad Nacional de Mar del Plata.

Dhananjayan, R., Han, I. Y., Acton, J. C., & Dawson, P. L. (2006). Growth depth effects of bacteria in ground turkey meat patties subjected to high carbon dioxide or high oxygen atmospheres. *Poultry Science*, *85*(10), 1821–1828. https://doi.org/10.1093/ps/85.10.1821

Domínguez, R., Barba, F. J., Gómez, B., Putnik, P., Bursać Kovačević, D., Pateiro, M., Santos, E. M., & Lorenzo, J. M. (2018). Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. *Food Research International*, *113*, 93–101. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.073

Drumright, R. E., Gruber, P. R., & Henton, D. E. (2000). Polylactic Acid Technology. *Advanced Materials*, *12*(23), 1841–1846. https://doi.org/10.1002/1521-4095(200012)12:23<1841::AID-ADMA1841>3.0.CO;2-E

European Bioplastics. (2015). *EN13432 Certified Bioplastics Performance in Industrial Composting*. 5. https://doi.org/10.1002/14651858.CD011736

Eva Verdejo, A. (2010). *Ecodiseño: hacia un envase más sostenible*. Instituto Tecnológico Del Plástico. http://www.packaging.enfasis.com/articulos/16353-ecodiseno-un-envase-mas-sostenible

Fang, Z., Zhao, Y., Warner, R. D., & Johnson, S. K. (2017). Active and intelligent packaging in meat industry. *Trends in Food Science and Technology*, *61*(2), 60–71. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.002

FAO. (2012). Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. In *Nucleus* (Vol. 25, Issue 2). https://doi.org/10.3738/1982.2278.562

Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. In *Advanced Drug Delivery Reviews* (Vol. 107, pp. 367–392). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012

Fasseas, M. K., Mountzouris, K. C., Tarantilis, P. A., Polissiou, M., & Zervas, G. (2008). Antioxidant activity in meat treated with oregano and sage essential oils. *Food Chemistry*, *106*(3), 1188–1194. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.060

FDA. (2005). *Inventory of Effective Food Contact Substance (FCS) Notifications*.

Fernández, C. (2014). *Envases activos para alargar la vida útil del producto* (p. 4).

García, C. (2016). *Desarrollo Y Caracterizacion De Polímeros Activos De Ácido Polilactico (Pla) Para Su Posible Uso En Envases Alimentarios*.

Garlotta, D. (2001). A literature review of poly(lactic acid). *Journal of Polymers and the Environment*, *9*(2), 63–84. https://doi.org/10.1023/A:1020200822435

Giro, T., Beloglazova, K., Rysmukhambetova, G., Simakova, I., Karpunina, L., Rogojin, A., Kulikovsky, A., & Andreeva, S. (2020). Xanthan-based biodegradable packaging for fish and meat products. *Foods and Raw Materials*, *8*(1), 67–75. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-67-75

Gómez-Estaca, J., López-de-Dicastillo, C., Hernández-Muñoz, P., Catalá, R., & Gavara, R. (2014). Advances in antioxidant active food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, *35*(1), 42–51. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.10.008

Guerrero-Legarreta I., R.-C. V., & Ramírez-Bribiesca, &. (2017). *Empaque para la conservación de carne y productos cárnicos*. 13–17.

Hassouna, F., Raquez, J. M., Addiego, F., Dubois, P., Toniazzo, V., & Ruch, D. (2011). New approach on the development of plasticized polylactide (PLA): Grafting of poly(ethylene glycol) (PEG) via reactive extrusion. *European Polymer Journal*, *47*(11), 2134–2144. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2011.08.001

Heizer, J., & Render, B. (2009). *Principios de Administracion de Operación.pdf* (7th ed.).

Hernández-Ochoa, L., Aguirre-Prieto, Y. B., Nevárez-Moorillón, G. V., Gutierrez-Mendez, N., & Salas-Muñoz, E. (2014). Use of essential oils and extracts from spices in meat protection. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(5), 957–963. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0598-3

Hiemenz, P. C., & Lodge, T. P. (2007). Polymer Chemistry - Paul C. Hiemenz, Timothy P. Lodge - Google Libros. *Polymer Chemistry. CRC Press*. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=n97LBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&d

q=polymer&ots=r_GSxE2Fad&sig=cA8gvPL7r1Da0fkUToEYaG_GTX8#v=onepage&q=polymer&f=false

Kotler, P., & Keller, K. (2006). *Dirección de marketing* (Pearson (ed.); 12th ed.).

Lee, C. H., Sapuan, S. M., Ilyas, R. A., Lee, S. H., & Khalina, A. (2020). Development and Processing of PLA, PHA, and Other Biopolymers. In *Advanced Processing, Properties, and Applications of Starch and Other Bio-Based Polymers* (pp. 47–63). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819661-8.00005-6

López Carrasquero, F. (2014). *FUNDAMENTOS DE POLÍMEROS* (2004th ed.). Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química. https://www.researchgate.net/publication/262639386_FUNDAMENTOS_DE_POLIMEROS

Maldonado, A. T. (2012). *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá* [Universidad Nacional de Colombia]. http://www.bdigital.unal.edu.co/7080/1/905077.2012.pdf

Martínez, A. (2017). *Migración de Productos de Degradación de Poli (ácido láctico) de Envases a*. Universidad Poltécnica de Madrid.

Martinez, P. (2018). Polímeros termoplásticos de altas prestaciones. *Revista de Plásticos Modernos: Ciencia y Tecnología*, *115*(731), 6. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6324600

Merck. (2018). *Safety Data Sheet Polyethylene glycol 300*. *6*, 6–8.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). *Ecuador es autosuficiente para cubrir demanda nacional de carne bovina*. https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-es-autosuficiente-para-cubrir-demanda-nacional-de-carne-bovina/

Nair, L. S., & Laurencin, C. T. (2007). Biodegradable polymers as biomaterials. In *Progress in Polymer Science (Oxford)* (Vol. 32, Issues 8–9, pp. 762–798). Pergamon. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2007.05.017

Nascimento, L. (2008). *Procesado de PLA por Inyección y Extrusión*. Universidad Politécnica de Catalunya.

NatureWorks. (2018). *Ingeo ™ Biopolymer 4043D Technical Data Sheet Biaxially Oriented Films – General Purpose*. 1–4.

Navia, P. D., Ayala, A. A., & Villada, H. S. (2014). Interacciones empaque-alimento: migración. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, *13*(100), 100–110.

OCDE-FAO. (2017). *Resúmenes de los productos básicos*. 111–150.

ONU. (2018). *PLÁSTICOS DE UN SOLO USO Una hoja de ruta para la sostenibilidad*.

Perdomo M., G. A. (2002). Plásticos y medio ambiente. *Revista Iberoamericana Polímeros*, *3*(2), 3.

Piringer, O. G., & Baner, A. L. (2008). Plastic Packaging. In O. G. Piringer & A. L. Baner (Eds.), *Plastic Packaging: Interactions with Food and Pharmaceuticals, Second Edition*. Wiley. https://doi.org/10.1002/9783527621422

Rauwendaal, C. (2001). *Polymer Extrusion 5E* (5th Editio). Hanser Publications.

Rodríguez, D., Erazo, J. C., & Narváez, C. (2019). Técnicas cuantitativas de investigación de mercados aplicadas al consumo de carne en la generación millennial de la ciudad de Cuenca (Ecuador). *ESPACIOS*, *40*(32), 20. https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/42682-Envases-plasticos-sostenibles-para-uso-alimentario.html

Rodríguez Mercado, F., Bruna Bugeño, J., Torres, A., Galotto, M. J., & Guarda Moraga, A. (2019). Envases de alimentos y medio ambiente: desafíos para avanzar por una sociedad eco-amigable. *Contribuciones Científicas y Tecnológicas*, *43*(2), 29–37.

Rosales, R. B., & Orozco, J. A. (2009). Porcentaje de Rendimiento de Diferentes Cortes en Bovinos Sacrificados en Valparaíso Antioquia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias ISSN: 0120-0690*, *22*(3), 382–383. https://www.researchgate.net/publication/262639791_Porcentaje_de_Rendimiento_de_Diferentes_Cortes_en_Bovinos_Sacrificados_en_Valparaiso_Antioquia

Salazar Gonzalez, R. V. (2013). Impact du polylactide (PLA) sur la qualité des bioproduits au contact. In *http://www.theses.fr*. Paris, AgroParisTech.

SENASA, S. E. A. (2020). *Product Catalog SENA sa*. 18.

Sin, L. T., Rahmat, A. R., & Rahman, W. A. W. A. (2013). Overview of Poly(lactic Acid). In *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics: Properties, Processing and Applications* (pp. 11–54). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-2834-3.00002-1

Sinisterra, G. (2006). *Contabilidad de costos* (1st ed.).

Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., & Rosa, M. D. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: a review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 19, Issue 12, pp. 634–643). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.07.003

Usano-Alemany, J., Palá-Paúl, J., & Díaz, S. (2014). Aceites esenciales: conceptos básicos y actividad antibacteriana. *Reduca (Biología). Serie Botánica*, *7*(2), 60–70.

Verney, V., Ramoné, A., Delor-Jestin, F., Commereuc, S., Koutny, M., Perchet, G., &

Troquet, J. (2018). Melt viscoelastic assessment of Poly(Lactic Acid) composting: Influence of UV Ageing. *Molecules*, *23*(10), 1–13. https://doi.org/10.3390/molecules23102682

WanfunBiotech, X. (2020). *Certificate of analysis of origanum oil*. 1.

Zeid, A., Karabagias, I. K., Nassif, M., & Kontominas, M. G. (2019). Preparation and evaluation of antioxidant packaging films made of polylactic acid containing thyme, rosemary, and oregano essential oils. *Journal of Food Processing and Preservation*, *43*(10). https://doi.org/10.1111/jfpp.14102

Zhang, W., Chen, J., & Zeng, H. (2020). Polymer processing and rheology. In *Polymer Science and Nanotechnology* (pp. 149–178). Elsevier. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816806-6.00008-x

APÉNDICES

APÉNDICE A

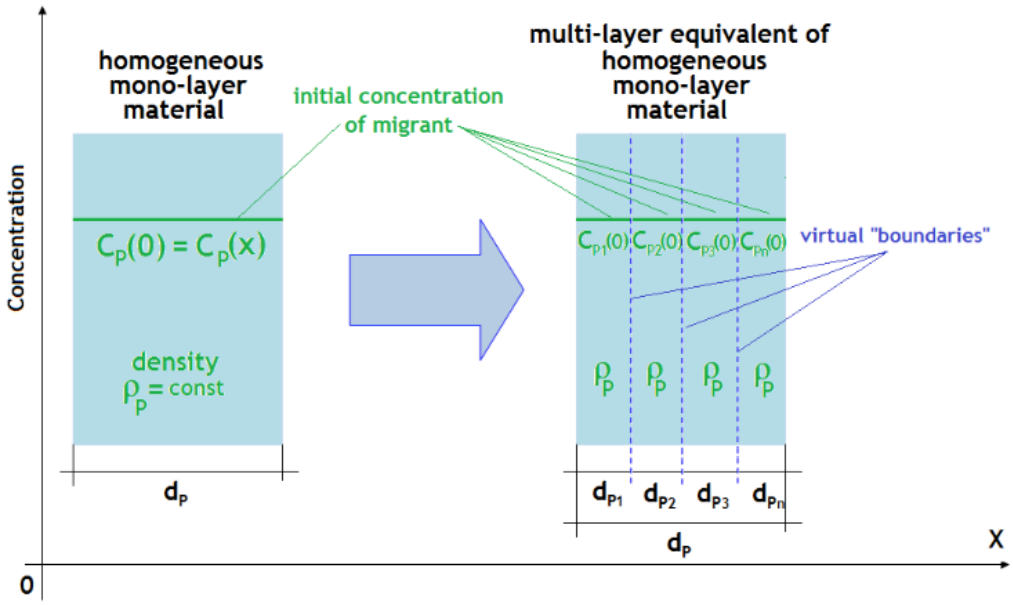


Figura 3.1. Difusión entre capas

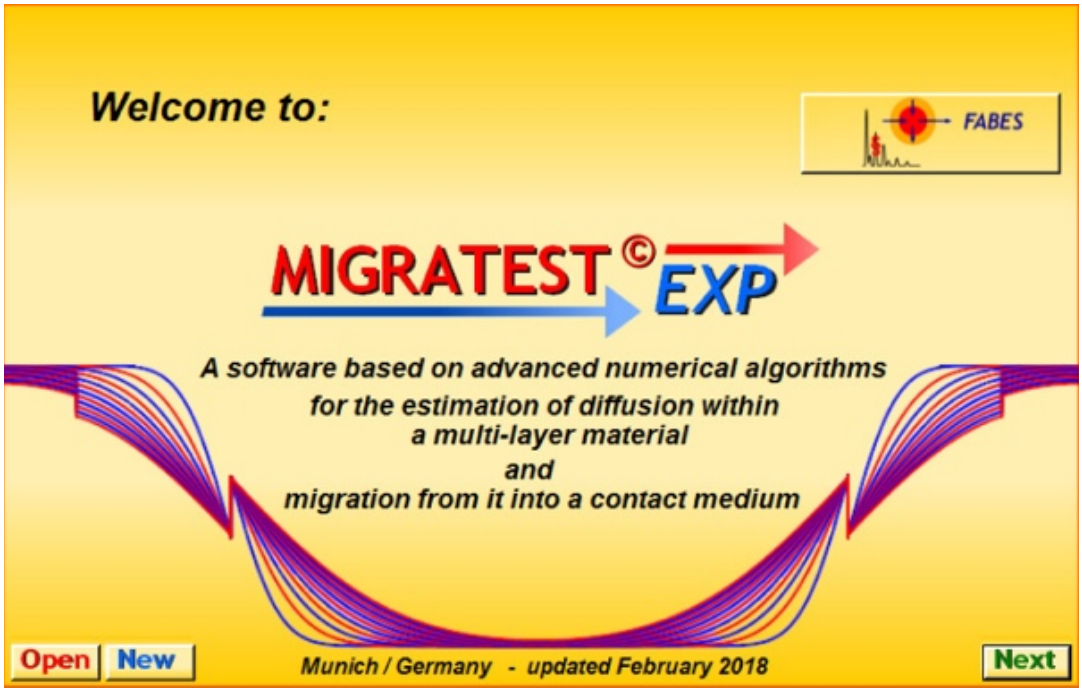


Figura 3.6. Ingreso al software

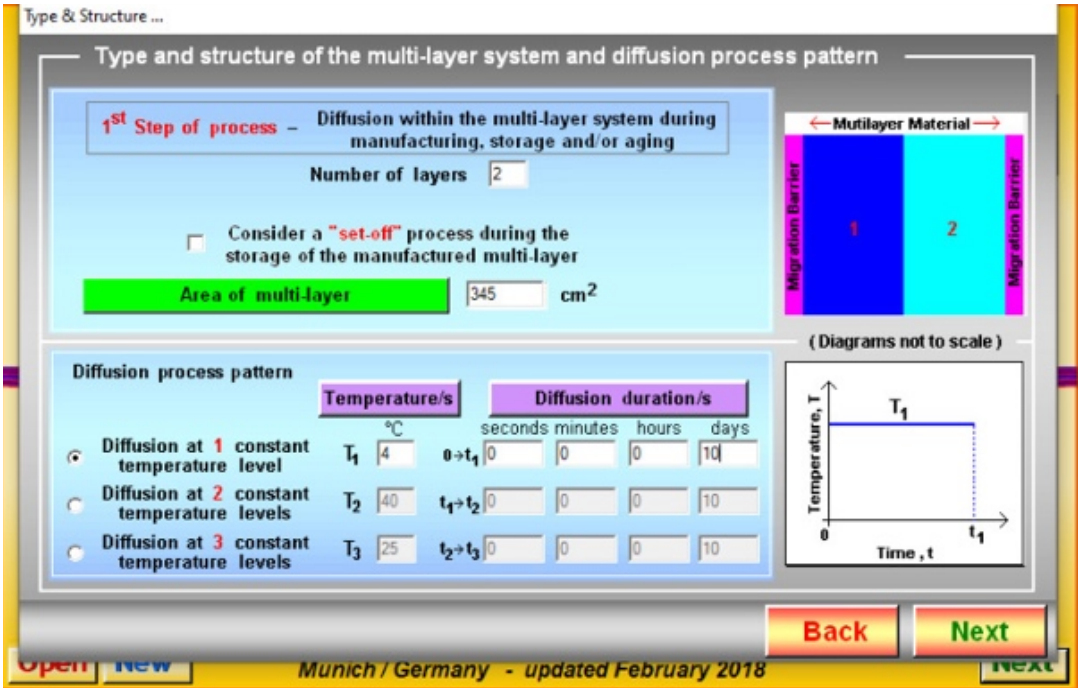


Figura 3.7. Configuración del perfil

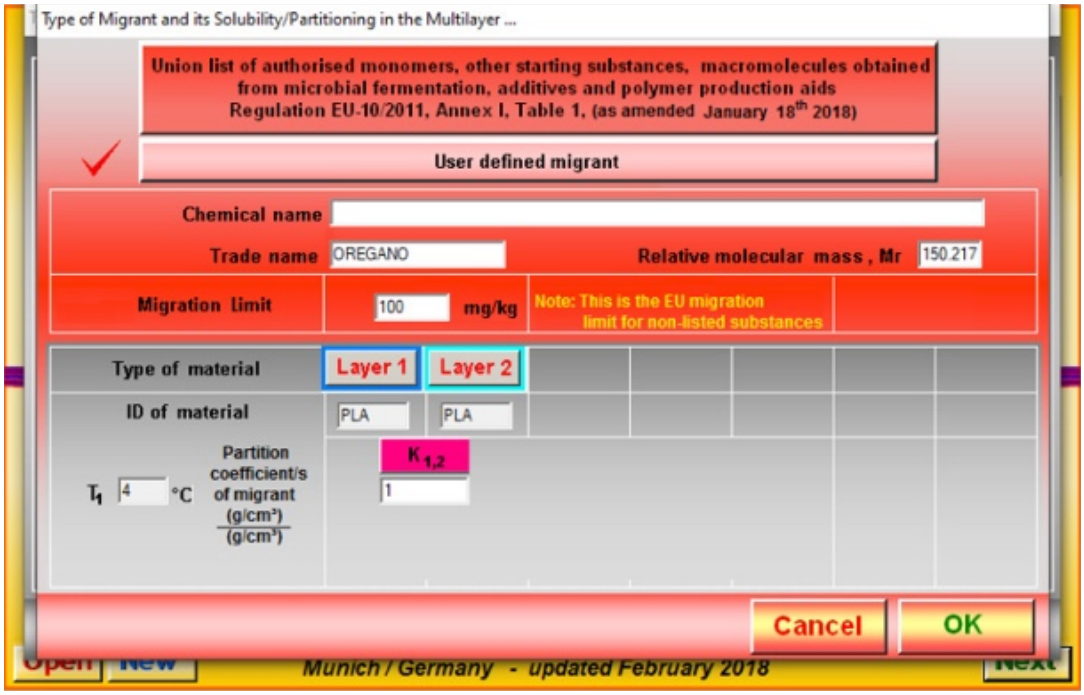


Figura 3.8. Selección de aditivo

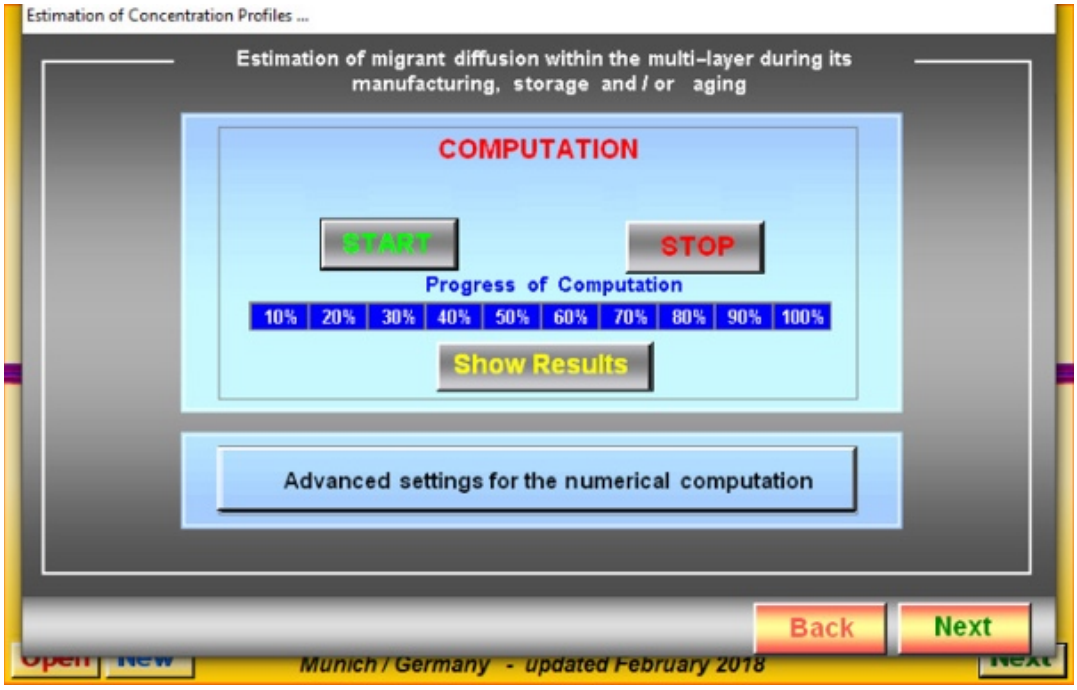


Figura 3.9. Carga de datos

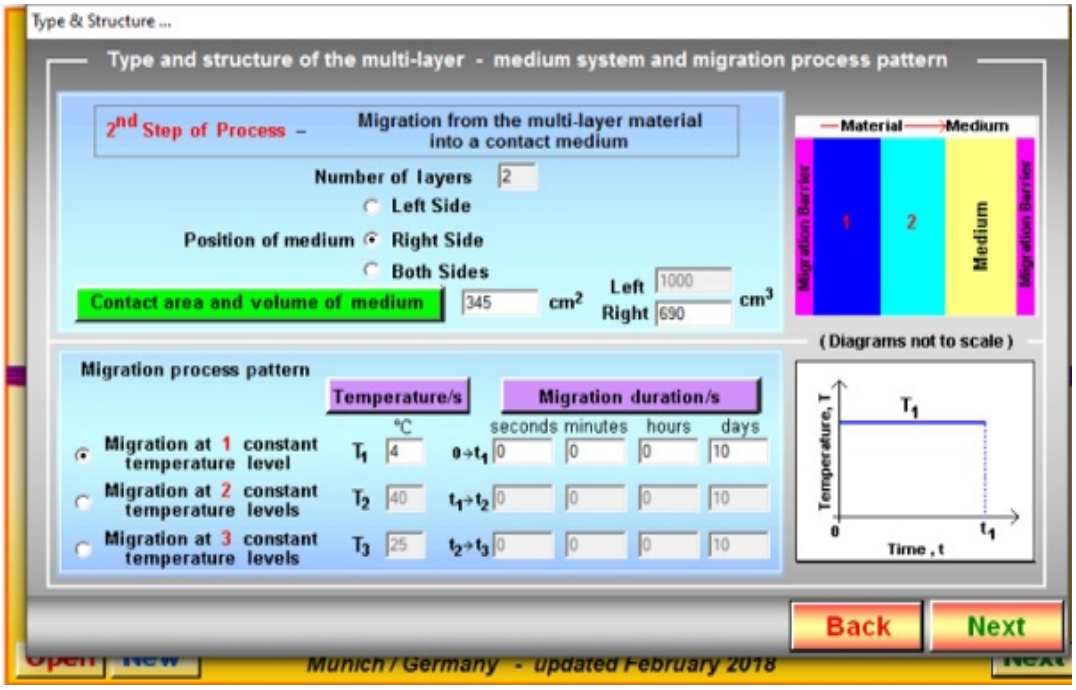


Figura 3.10. Configuración de área, temperatura y días

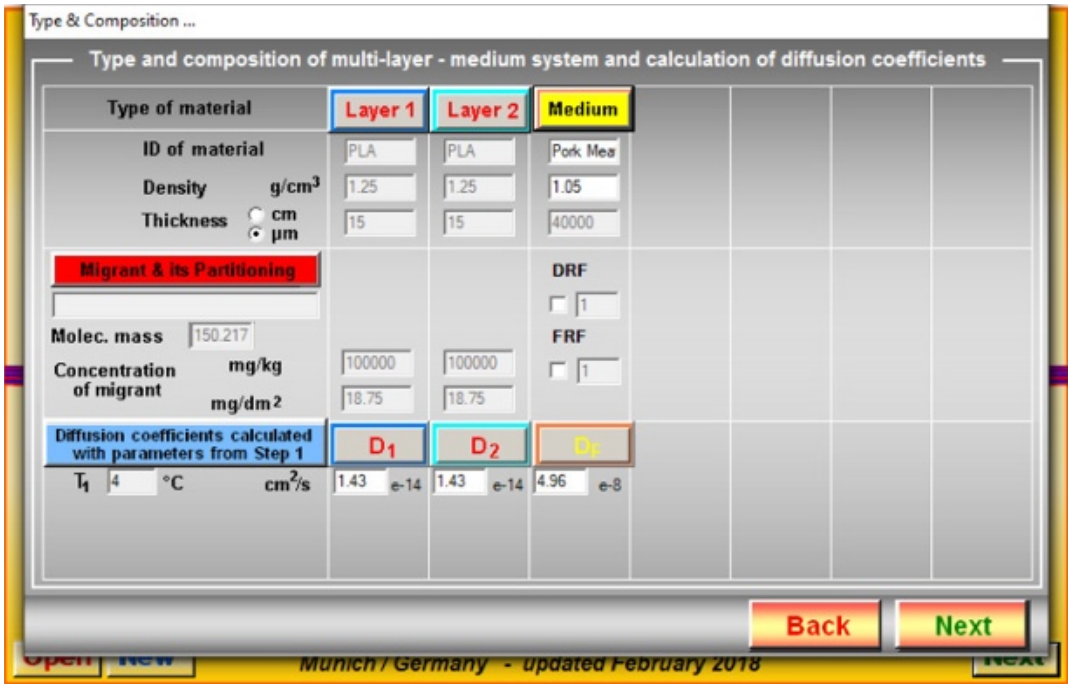


Figura 3.11. Configuración del medio

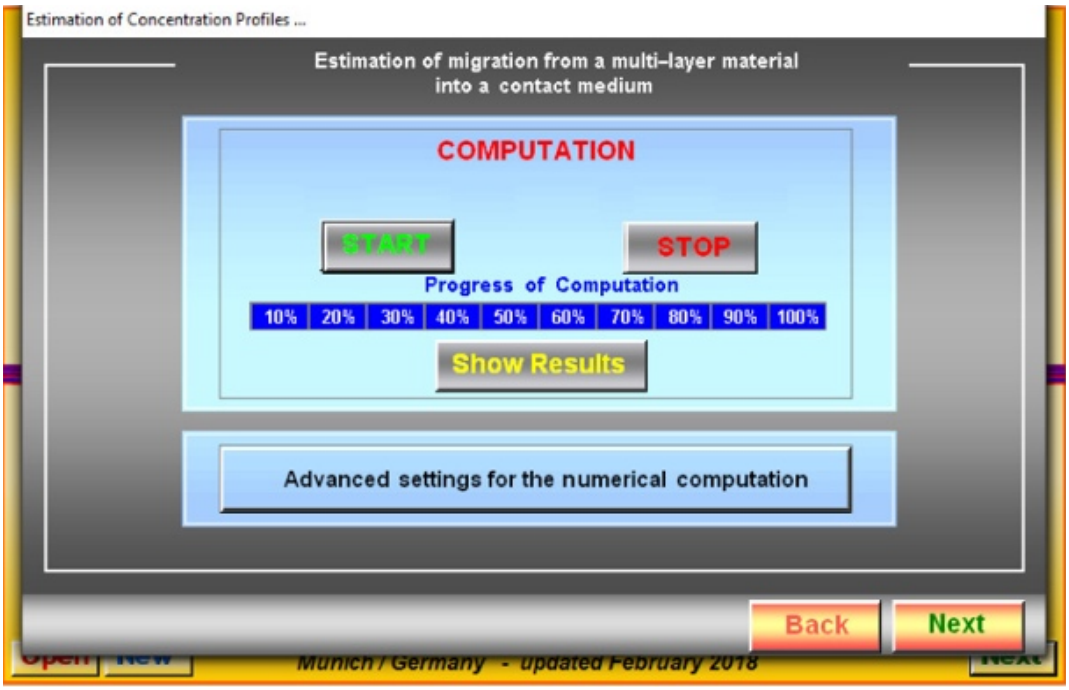


Figura 3.12. Ejecución del software

APÉNDICE B

Tabla 3.2. Equipos de línea de proceso

Equipos de línea de proceso			
Descripción	**Marca / Modelo**	**Capacidad**	**Unidad**
Balanza industrial	ZMISSIL-F1-150, GRAM	150	kg
Secador de resina	RDM-140/400, SOMOS	150	kg/h
Extrusor de un solo tornillo	FJL-PC-A, FJL	450	kg/h
Termoformadora	TQA-520/580, Litai	10-20	Compresiones/min

APÉNDICE C

COSTOS DIRECTOS

Tabla 3.2. Costos de materia prima de bandeja PLA

Costos de materia prima de bandeja de PLA				
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Precio/unidad**	**Valor mensual**
PLA	3117.86	kg	$ 3.1	$ 9665.37
Plastificante	311.79	L	$ 150	$ 9353.58
Cartones	1000	Unidad	$ 0.40	$ 400
Fundas	2000	Unidad	$ 0.08	$160
Total				**$ 19578.95**

Tabla 3.3. Costos de materia prima bobina film

Costos de materia prima de film				
Descripción	**Cantidad**	**Unidades**	**Precio/unidad**	**Valor mensual**
PLA	359.75	Kg	$ 3.1	$ 1115.23
Plastificante	35.98	L	$ 150	$ 1079.26
Aceite esencial de orégano	18.89	Kg	$ 15	$ 283.31
Mandriles	412	Unidad	$ 0.6	$ 247.20
Total				**$ 2725.00**

Tabla 3.4. Costos de mano de obra directa

Costos de mano de obra directa				
Descripción	**Pago mensual**	**Cantidad personal**	**Valor mensual**	**Valor anual**
Operarios	$400	3	$ 1200	$14400
Total			**$ 1200**	**$14400**

COSTOS INDIRECTOS

Tabla 3.5. Costos de mano de obra indirecta

Costos de mano de obra indirecta				
Descripción	**Pago mensual**	**Cantidad personal**	**Valor mensual**	**Valor anual**
Supervisor de producción	$ 600			
Despachador logístico	$ 500			
Supervisor de mantenimiento	$ 500	1	$ 500	$ 6000
Supervisor de calidad	$ 500	1	$ 500	$ 6000
Total			**$ 2100**	**$ 25200**

Tabla 3.6. Costos suministros

Costos de suministros de producción					
Suministros	**Cantidad**	**Unidad**	**Precio/unidad**	**Costo mensual**	**Costo anual**
Electricidad	1150.12	kwh	$ 0.0926	$ 2317.72	$ 27812.66
Agua	45.76	m_3/h	$ 0.5	$ 503.36	$ 6040.32
Total				**$ 2821.08**	**$33852.98**
Costos de otros suministros					
Suministros	**Cantidad**	**Unidad**	**Precio/unidad**	**Costo mensual**	**Costo anual**
Materiales de limpieza	1	Unidad	$ 40	$ 40	$ 480
Suministros de oficina	1	Unidad	$ 25	$ 25	$ 300
Total				**$ 65**	**$ 780**
Costo total suministros					
Suministros de producción				$ 2821.08	$33852.98
Otros suministros				$ 65	$ 780
Total				**$ 2886.08**	**$ 34632.98**

Tabla 3.8. Gastos administrativos

Gastos administrativos				
Descripción	**Pago mensual**	**Cantidad personal**	**Valor mensual**	**Valor anual**
Gerente	$ 1000	1	$ 1000	12000
Administrativo ventas	$ 500	1	$ 500	6000
Total			**$ 1500**	**$18000**

Tabla 3.13. Activos fijos

Inversión de activos fijos					
Descripción	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor total**	**Vida util (años)**	**Depreciación anual**
Edificaciones					
Instalación	1	$ 75000	$ 75000		
Construcción	1	$ 100000	$ 100000	40	$ 2500
Maquinarias y equipos					
Balanza industrial	1	$ 80	$ 80	10	$ 8.00
Secador de resina	1	$ 1500	$ 1500	10	$ 150.00
Extrusor	1	$ 36900	$ 36900	10	$ 3690.00
termoformadora	1	$ 50000	$ 50000	10	$ 5000.00
Transporte					
Camión		$ 29,990		10	$ 5998
Muebles y utensilios					
Escritorios	4	$ 150	$ 600	10	$ 60
Aire acondicionado	2	$ 820	$ 1640	10	$ 164
Sillas	6	$ 40	$ 240	10	$ 24
Mueble	1	$ 90	$ 90	10	$ 9
Anaqueles	3	$ 60	$ 180	10	$ 18
Equipos de computación					
Impresora	1	$ 350	$ 350	5	$ 70
Teléfono	4	$ 35	$ 140	5	$ 28
Computadora	5	$ 700	$ 3500	5	$ 700
Total		**$ 295715**	**$ 300210**		**$ 18419**

Tabla 3.15. Flujo de caja

FLUJO DE CAJA BANDEJA						
Años	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Cantidad de bandeja		2400000	2520000	2646000	2778300	2917215
Precio de bandeja		0,21	0,21	0,22	0,22	0,22
Ventas bandejas		$ 504.000,00	$ 529.200,00	$ 582.120,00	$ 611.226,00	$ 641.787,30
Cantidad de film		4944	5191,2	5450,76	5723,298	6009,4629
Precio de film		$ 33,69	$ 33,69	$ 36,30	$ 36,30	$ 36,30
Ventas		$ 166.577,30	$ 174.906,16	$ 197.862,59	$ 207.755,72	$ 218.143,50
Costos variables bandeja		-$ 361.813,32	-$ 378.515,67	-$ 396.039,40	-$ 414.425,45	-$ 433.716,79
costo variable film		-$ 124.932,97	-$ 131.179,62	-$ 137.738,60	-$ 144.625,53	-$ 151.856,81
Costos fijos		-$ 57.600,00	-$ 57.600,00	-$ 57.600,00	-$ 57.600,00	-$ 57.600,00
Depreciación anual equipos		-$ 14.846,00	-$ 14.846,00	-$ 14.846,00	-$ 14.846,00	-$ 14.846,00
Depreciacion construcción		-$ 2.500,00	-$ 2.500,00	-$ 2.500,00	-$ 2.500,00	-$ 2.500,00
Intereses		-$ 17.562,29	-$ 16.406,33	-$ 15.146,35	-$ 13.772,96	-$ 12.275,97
Utilidad		**$ 91.322,72**	**$ 103.058,54**	**$ 156.112,24**	**$ 171.211,77**	**$ 187.135,23**
Impuestos		-$ 20.091,00	-$ 22.672,88	-$ 34.344,69	-$ 37.666,59	-$ 41.169,75
Utilidad neta		**$ 71.231,72**	**$ 80.385,66**	**$ 121.767,54**	**$ 133.545,18**	**$ 145.965,48**
Depreciación anual equipos (+)		$ 14.846,00	$ 14.846,00	$ 14.846,00	$ 14.846,00	$ 14.846,00
Depreciacion construcción (+)		$ 2.500,00	$ 2.500,00	$ 2.500,00	$ 2.500,00	$ 2.500,00
Inversión de instalación	-$ 175.000,00					
Inversión de maquinarias	-$ 125.210,00					
Capital de trabajo	-$ 105.073,50					
Préstamo	$ 195.136,50					
Amortización		-$ 12.843,90	-$ 13.999,85	-$ 15.259,84	-$ 16.633,23	-$ 18.130,22
Flujo de caja	-$ 210.147,00	$ 75.733,82	$ 83.731,81	$ 123.853,70	$ 134.257,96	$ 145.181,27
Flujo de caja acumulado	-$ 210.147,00	-$ 134.413,18	-$ 50.681,37	$ 73.172,33	$ 207.430,29	$ 352.611,56
TMAR	11%					
VAN	$608.388,65					
TIR	38%					