

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

Diseño de un equipo para la medición de la biodegradabilidad en películas
poliméricas y no poliméricas

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero de Alimentos

Presentado por:

Roxana Katherine Freire Almachi

Angie Rafaela Largo Tomalá

GUAYAQUIL-ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fortaleza, valentía y humildad para seguir adelante durante este camino. Y por permitirles a mis padres que compartan conmigo ésta meta.

A mis padres, por estar siempre a mi lado y con su amor y sacrificio ayudarme a cumplir ésta etapa de mi vida, gracias por motivarme a ser mejor cada día.

A mis hermanas, por alentarme a que siga adelante y estar a mi lado en los buenos, malos y mejores momentos.

A mis amigos, por su apoyo incondicional y motivación en los momentos más turbios.

A mi mamá, por confiar en mí cuando incluso yo no lo hacía, por defenderme, cuidarme y amarme tanto. Me siento orgullosa de ser tu hija.

Katherine Freire Almachi

DEDICATORIA

A Dios, que ha sido un pilar fundamental y guía en mi vida.

A mi padre, que desde el cielo, es mi inspiración a seguir a delante, siempre.

A la mujer más fuerte, trabajadora e importante en mi vida, a mi mamá. Por confiar y creer en mí en todo momento, porque con su amor y sacrificio he logrado alcanzar esta meta.

A mi abuelita, por amarme tanto y acompañarme siempre.

A mis hermanos, por su ejemplo y motivación, por apoyarme y acompañarme incondicionalmente.

A mis amigas, las de siempre, por tantas alegrías y apoyo. Sin su amistad y compañía, esta experiencia no hubiese sido la misma.

Rafaela Largo Tomalá

AGRADECIMIENTOS

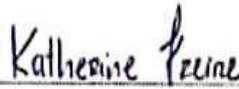
A nuestra tutora PhD. Sandra Acosta, por su motivación hacia la excelencia, su apoyo, paciencia, dedicación y constancia, la cual nos ha permitido culminar esta etapa de nuestras vidas con alegría y éxitos.

Al PhD. César Moreira y al PhD. Sócrates Palacios que han compartido sus conocimientos y nos han brindado su ayuda en el desarrollo de este proyecto.

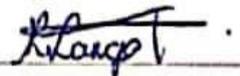
A nuestros amigos y amigas más cercanos, por brindarnos su ayuda incondicional en los momentos de mayor turbulencia y por incentivarnos a mejorar cada día.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Roxana Katherine Freire Almachi* y *Angie Rafaela Largo Tomalá* 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"



Roxana Katherine Freire Almachi



Angie Rafaela Largo Tomalá

EVALUADORES

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'HTorresC', written over a horizontal line.

M.Sc. Haydeé Torres C.
PROFESOR DE LA MATERIA

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sandra Acosta D.', written over a horizontal line.

PhD. Sandra Acosta D.
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El polipropileno (PP) se usa ampliamente en las industrias alimentarias como material de empaque. Los PP son materiales derivados del petróleo, con naturaleza hidrofóbica y alto peso molecular resistente al agua, lo que impiden el ataque por microorganismos, disminuyendo su tiempo de degradación. En consecuencia, en el mercado hay polímeros con aditivos que aceleran la degradación. El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento del PP con aditivo (PP/CA) y sin aditivo (PP/SA) a través del tiempo, para determinar el tiempo de vida útil de un alimento de bajo contenido de humedad. Para la evaluación de las resinas poliméricas, láminas de PP fueron analizadas durante 45 días en condiciones de compostaje aerobio, y a temperaturas de estufa a 25°C, 45°C y 55°C. Se realizaron análisis físico-químicos al compost para monitorear que la calidad del compostaje promueva la degradación del polímero, y mediante espectroscopía de infrarrojo (FTIR), se evaluaron los cambios estructurales identificando para las láminas de PP/CA un pico a 1737cm^{-1} en condiciones de compostaje y un pico a 1735cm^{-1} a las diferentes temperaturas de almacenamiento a los 45 días en estufa, que indica el inicio del proceso de degradación del polímero. Se empleó un análisis de varianza ANOVA y comparación de medias de Fisher para determinar si existen diferencias significativas en la textura de tostadas empacadas en PP/CA y PP/SA. Finalmente mediante la ecuación de Arrhenius y empleando la textura como indicador de deterioro, se estimó el tiempo de vida útil para el producto empacado en PP/CA y PP/SA, reportando una vida útil de 166 y 177 días, respectivamente, lo que indica que el PP/CA es más permeable, disminuye el tiempo de vida útil del alimento empacado.

Palabras Clave: Polipropileno biorientado; espectroscopia infrarroja; vida útil.

ABSTRACT

Poplypropylene (PP) is widely used in food industries as packaging material. PP are petroleum-derived materials, with hydrophobic nature and high water-resistant molecular weight, preventing attack by microorganisms, reducing their degradation time. Consequently, there are polymers with additives on the market that accelerate degradation. This work aims to evaluate the behavior of PP with additive (PP/CA) and with no additive (PP/SA) through time, in order to determine the shelf life time of low moisture content foods. For the polymer resins evaluation, PP sheets were analyzed for 45 days under aerobic composting conditions, and at stove temperatures of 25°C, 45°C and 55°C. Physical-chemical analyzes were performed on the compost to monitor that the quality of the composting promotes the polymer degradation, and by means of infrared spectroscopy (FTIR) structural changes were evaluated by identifying for the PP/CA sheets a peak at 1737 cm⁻¹ in composting conditions and a peak at 1735 cm⁻¹ at different storage temperatures at 45 days in stove, which indicates the beginning of the polymer degradation process. An ANOVA analysis of variance and Fisher's means comparison were used to determine if there are significant differences in the texture of toast packed in PP/CA and PP/SA. Finally, using the Arrhenius equation and using the texture as an indicator of deterioration, the useful life time for the product packed in PP/CA and PP/SA was estimated, reporting a useful life of 166 and 177 days, respectively, indicating that the PP/CA is more permeable and decreases the shelf life time of packed food.

Keywords: BOPP, FTIR, shelf life.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico	4
1.4.1 Polipropileno: tipos, propiedades y aplicación.....	4
1.4.2 Tiempo de vida útil en productos alimenticios	5
1.4.3 Degradación de materiales plásticos	6
1.4.4 Compostaje y parámetros de control del compost	7
1.4.5 Caracterización estructural y química	8
CAPÍTULO 2.....	9
2. METODOLOGÍA.....	9
2.1 Materiales	9
2.2 Métodos	9
2.2.1 Elaboración del compostaje	10
2.2.2 Condiciones de compostaje	11
2.2.3 Condiciones de control de las láminas extruidas.....	11

2.2.4	Condiciones de control del alimento	12
2.3	Análisis de calidad de lámina y del alimento empacado	12
2.3.1	IFRT	12
2.3.2	Textura	13
2.3.3	Análisis Estadístico	13
2.4	Predicción del tiempo de vida útil	13
2.5	Lay-out del laboratorio de degradación de plásticos.....	14
2.6	Costos.....	15
CAPÍTULO 3.....		16
3.	RESULTADOS Y DECISIONES	16
3.1	Análisis de los ensayos en compost.....	16
3.1.1	pH.....	16
3.1.2	Humedad.....	17
3.1.3	Temperatura	17
3.2	Análisis del PP/SA y PP/CA en compostaje y en estufa a diferentes temperaturas	19
3.2.1	IFRT: compostaje	19
3.2.2	IFRT: estufa.....	21
3.3	Análisis de calidad del alimento empacado	22
3.3.1	Textura	22
3.4	Estimación del tiempo de vida útil del alimento empacado	23
3.4.1	Tiempo de Vida útil de tostadas empacadas en PP/SA	24
3.4.2	Tiempo de vida útil para tostadas empacadas en PP/CA.....	26
3.5	Lay-out del laboratorio de Degradación de plásticos	29
3.6	Estimación de costos	30
3.6.1	Costo de materia prima.....	30
3.6.2	Costo de mano de obra directa	30

3.6.3	Costo de mano de obra indirecta	30
3.6.4	Costos y depreciación de maquinaria y equipos de oficina	30
3.6.5	Costo de Mantenimiento	31
3.6.6	Costos por consumo de energía eléctrica	31
3.6.7	Costos indirectos	31
3.6.8	Costo de análisis	31
3.6.9	Punto de equilibrio	32
3.6.10	Análisis económico y financiero	32
CAPÍTULO 4.....		34
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
4.1	Conclusiones.....	34
4.2	Recomendaciones.....	35
BIBLIOGRAFÍA.....		36

ABREVIATURAS

PP	Polipropileno
BOPP	Polipropileno biorientado
PPSA	Lámina extruida de BOPP laminado transparente metalizado sin aditivo
PPCA	Lámina extruida de BOPP laminado transparente metalizado con aditivo
ASTM	Asociación Americana de Ensayo de Materiales
PE	Polietileno
LDPE	Polietileno de baja densidad
HDPE	Polietileno de alta densidad
PS	Poliestireno
PET	Tereftalato de polietileno
PVC	Cloruro de polivinilo
PA	Poliamidas
EOVH	Etilen vinil alcohol
Al	Aluminio
MP	Poliéster metalizado
PFP	Papel de aluminio-polietileno
CO ₂	Dióxido de carbono
CH ₄	Metano
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
INEN	Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización
ISO	Organización Internacional de Normalización
IFRT	Espectroscopía con transformada de Fourier
ATR-FTIR	Transformada de Fourier de reflexión total atenuada
R^2	Coefficiente de determinación
K_t	Velocidad de la reacción
E_a	Energía de activación

CORELAP	Computerized Relationship Layout Planning
P.V.P.	Precio de Venta al Público
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno
ANOVA	Análisis de Varianza

SIMBOLOGÍA

gf	Gramos fuerza
h	Hora
kJ	Kilo Joule
kw	Kilowatts
°C	Celsius
%	Porcentaje
m ³	Metro cúbico

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ensayo en condiciones de compostaje.....	11
Figura 3.1 pH del compostaje en los diferentes ensayos a través del tiempo	16
Figura 3.2 % Humedad del compostaje en los diferentes ensayos.....	17
Figura 3.3 Control de temperatura de compostaje.....	18
Figura 3.4 Espectroscopía IFRT de PP/CA en condiciones de compostaje.....	20
Figura 3.5 Espectroscopía IFRT de PP/SA en condiciones de compostaje.	20
Figura 3.6 Espectroscopía IFRT de PP/CA 45 días a diferentes temperaturas.	21
Figura 3.7 Espectroscopía IFRT de PP/SA 45 días a diferentes temperaturas.....	22
Figura 3.8 Textura de tostadas empacadas con PP/CA y PP/SA a diferentes temperaturas y tiempos de control.	23
Figura 3.9 a) Cinética de reacción para tostadas empacadas en PP/SA a 25°C, 45°C y 55°C. 55°C. Orden cero. b) Cinética de reacción para tostadas empacadas en PP/SA a 25°C, 45°C y 55°C. Orden uno.....	25
Figura 3.10 Ln K en función de la temperatura a 25, 45 y 55°C en PP/SA.	26
Figura 3.11 a) Cinética de reacción para tostadas empacadas en PP/CA a 25°C, 45°C y 55°C. Orden cero. b) Cinética de reacción para tostadas empacadas en PP/CA a 25°C, 45°C y 55°C. Orden uno.....	27
Figura 3.12 Ln K en función de la temperatura a 25, 45 y 55°C en PP/CA.....	28
Figura 3.13 Tabla relacional de actividades.	29
Figura 3.14 Lay-out para laboratorio de degradación de plásticos.....	29
Figura 3.15 Gráfica del punto del equilibrio.	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Matriz de tratamientos experimentales.	9
Tabla 2.2 Formulación de compostaje.....	10
Tabla 2.3 Tipo, y descripción de los ensayos realizados en compostaje.	10
Tabla 2.4 Análisis físico-químicos del compostaje.....	11
Tabla 2.5 Control de análisis de láminas extruidas.....	12
Tabla 2.6 Escala de valoración de la tabla de relación de actividades.	15
Tabla 2.7 Motivos T.R.A.....	15
Tabla 3.1 Textura de tostadas empacadas en PP/SA Y PP/CA a diferentes temperaturas. Medias (desviación estándar) y resultado ANOVA.	23
Tabla 3.2 Constante de cinética (k) en PP/SA.....	24
Tabla 3.3 Determinación de la E_a , K_0 , K_{32} y el tiempo de vida con respecto a la textura de tostadas empacadas en PP/SA.	25
Tabla 3.4 Constante cinética (k) en PP/CA.	26
Tabla 3.5 Determinación de la E_a , K_0 , K_{32} y el tiempo de vida con respecto a la textura de tostadas empacadas en PP/CA.....	28
Tabla 3.6 Costos por análisis.	31
Tabla 3.7 Punto de equilibrio.....	32
Tabla 3.8 Periodo de recuperación.....	33

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Los plásticos convencionales empleados actualmente para el envasado de alimentos son polímeros constituidos con materias primas a partir de derivados de petróleo, estos desempeñan funciones específicas de protección y soporte de los alimentos conservando la calidad y preservando su tiempo de vida útil. Los principales materiales de este tipo, utilizados en aplicaciones de empaques en productos alimenticios son: polipropileno (PP), polietileno (PE) de baja densidad (LDPE) y de alta densidad (HDPE), poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC), poliamidas (PA) y etilen vinil alcohol (EOVH) (Klein, 2011). Debido a sus numerosas características como: resistencia a altas temperaturas, resistencia mecánica, química, transparencia, porosidad, rigidez o flexibilidad, efecto barrera contra gases, agua, y facilidad de procesamiento, el PP es el material polimérico más utilizado como envase de alimentos (Arenas, 2014; Hisham, 2016).

El polipropileno biorientado (BOPP) es un tipo de PP en el cual las cadenas moleculares experimentan un proceso de orientación en dos direcciones, longitudinal y transversal, permitiendo así la fabricación de una lámina extremadamente delgada y con propiedades efectivas mecánicas y de brillo. En el mercado este tipo de material se encuentra en dos presentaciones: BOPP natural cristal y BOPP metalizado (Longo et al., 2011). El BOPP metalizado consiste de una resina formada por tres capas, las dos externas compuestas de propileno y la central del homopolímero de polipropileno isotáctico, la cual es metalizada con aluminio (Al) mediante el proceso denominado recubrimiento al vacío (Langowskia, 2011). Este tipo de PP posee la propiedad de ser termo sellable y proporcionar propiedades de barrera a vapor de agua y oxígeno siendo muy utilizado para empaque de bocadillos, productos de panificación, jaleas, snack, entre otros (Hisham, 2016).

Jarrín, 2018, en su estudio realizado para determinar la incidencia de dos materiales de empaque sobre la vida de almacenamiento de un snack cárnico a

diferentes condiciones de almacenamiento, estableció que existen diferencias significativas entre el material de empaque y la capacidad de ofrecer efecto barrera contra el vapor de agua al producto empacado, concluyendo que el BOPP, proporcionó mejor barrera al vapor de agua, comparado con otros materiales de empaque, permitiendo conservar las características de textura del snack durante 90 días, demostrando así que el material de empaque influye significativamente en la vida útil de los alimentos.

1.1 Descripción del problema

Sigmaplast S.A. es una empresa convertidora de materiales poliméricos que cuenta con tecnología de punta y una alta experiencia en la producción de empaques flexibles para la industria de alimentos, ofertando al mundo de empaques, materiales que conservan la vida útil del producto empacado.

Como efecto de la elevada tasa de contaminación ambiental por materiales plásticos en el medio ambiente, la Muy ilustre Municipalidad de Guayaquil en el 2018, ha puesto en vigencia la ordenanza SMG-2018-24410, para regular la fabricación, comercio, distribución y entrega de productos plásticos de un solo uso, en la ciudad de Guayaquil. Es por este motivo que las industrias de plásticos para cumplir la ordenanza municipal y contribuir a la reducción del impacto ambiental, buscan alternativas que les permita reducir el tiempo de permanencia de sus materiales plásticos en el medio ambiente. Una alternativa ambientalmente amigable, es el uso de aditivos en los materiales de empaques. Aditivos como los oxo-degradables e hidro-degradables, promueven la degradación de los materiales plásticos, demostrando una favorable conversión de las largas cadenas hidrocarbonadas de los polímeros en cadenas más cortas que se degradan en menor tiempo (Peña, Fortich, & Machado, 2013). Sin embargo, existe la latente preocupación de conocer si el uso de estos aditivos incorporados en las resinas del material de empaque afecta el tiempo de vida útil del alimento empacado.

1.2 Justificación del problema

En la actualidad, los materiales plásticos son indispensables en las industrias de envasado de productos alimenticios dado sus buenas propiedades térmicas, mecánicas y ópticas, facilidad de manejo en máquinas y bajo costo.

La Empresa Sigmaplast S.A. ha desarrollado desde sus inicios empaques a base de materiales poliméricos para alimentos, logrando así posicionarse en el mercado y conseguir altas producciones de envases en las industrias alimenticias. Dado el aumento continuo de su uso en la sociedad moderna, el volumen de desechos poliméricos ha aumentado exponencialmente lo que ha llevado a su acumulación y contaminación en el medio ambiente. Por lo tanto, existe un interés por parte de la empresa en la producción de empaques plásticos sostenibles con disminución de la huella de carbono en su descomposición, mediante la adición de aditivos que promueven la degradación para así reducir la duración de este tipo de materiales en el medio ambiente. Es por esta razón, que se pretende conocer el impacto de estos empaques en los alimentos envasados. Para ello se propone estimar el tiempo de vida útil, con el fin de evaluar los factores de calidad del producto final, y de esta manera ofrecer al mercado una nueva alternativa sostenible.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseño de un prototipo aplicando la normativa modificada ASTM 5511-02 para su uso en ensayos de Biodegradación de Polímeros que se aplican en el envasado de alimentos.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Predecir el tiempo de vida útil de un alimento usando pruebas aceleradas en un envase de polipropileno con y sin aditivo.
2. Evaluar las características físico-químicas de un alimento envasado en películas de polipropileno con y sin aditivo.
3. Evaluar el comportamiento químico de la resina polimérica con y sin aditivo a través del tiempo.

4. Estimar el costo de análisis de degradación para una muestra mediante el uso de un equipo analizador de biodegradación.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Polipropileno: tipos, propiedades y aplicación

El PP es un polímero que se obtiene a partir del monómero de olefina propileno mediante una polimerización por adición. Es un material con una baja densidad, alto nivel de rigidez y punto de fusión, sin embargo, no es apropiado su uso para temperaturas inferiores a 0°C (Gutiérrez, 2011).

Sus propiedades están relacionadas con la resistencia a altas temperaturas y al impacto, versatilidad, estabilidad, transparencia y facilidad de procesamiento mediante métodos como moldeo por inyección y extrusión (Hisham, 2016). Son utilizados ampliamente como empaques flexibles dado a su resistencia al agua y alto peso molecular, que a su vez lo convierten en un material resistente a la degradación (Mandal et al., 2018).

El polipropileno biorientado (BOPP) es una lámina de polipropileno en el cual las cadenas moleculares de los polímeros han pasado por un proceso físico de orientación transversal y longitudinal, permitiendo así la formación de una lámina considerablemente delgada y con propiedades mecánicas (Longo et al., 2011). Este tipo de películas se producen al extruir el plástico por medio de un troquel circular seguido de un enfriamiento por expansión. Los métodos Tenter Frame y tubular son usados en la producción de BOPP, permiten obtener películas de 12.7 - 63.5 micras y 6.35 - 50.8 micras respectivamente (Hisham, 2016). Para el proceso de metalización del BOPP se usa la técnica de recubrimiento al vacío que consiste en depositar el aluminio en forma de polvo sobre la resina que está formada de tres materiales, el núcleo constituido por PP y las dos caras adyacentes por distintas formulaciones dependiendo del uso final del material. En este proceso se vaporiza el aluminio por medio de la aplicación de calor y vacío, para posteriormente condensarlo sobre una lámina enfriada en un cilindro (Gutiérrez, 2011). Las láminas metalizadas se convierten en estructuras de varias capas con el objetivo de cumplir

con los requisitos del proceso de envasado, es así como una película de BOPP se constituye de: una lámina de BOPP impresa, seguido de una capa de aluminio, un adhesivo de laminación y en el interior del empaque un sellador térmico de polímero (Langowskia, 2011).

1.4.2 Tiempo de vida útil en productos alimenticios

La vida útil de un producto, es el periodo de tiempo en que un alimento es seguro para su consumo, mantiene óptima sus características organolépticas, microbiológicas, físicas, químicas y funcionales; y además cumple con lo declarado en su etiqueta de información nutricional mientras sea almacenado bajo condiciones específicas (Steele, 2004).

En contra parte, entre los factores que explican la degradación de calidad de los alimentos se encuentran: las alteraciones propias del alimento como: textura, oxidación de lípidos, pigmentos, enranciamiento, en sí se refiere a los cambios físicos, bioquímicos y microbiológicos asociados a la composición del producto empacado. Sin embargo, otros factores que inciden también en la vida de anaquel son tanto las condiciones de almacenamiento y el material de empaque (Estrada, Hernández, Tagle & Lagunes, 2015). Diferentes investigaciones ponen en evidencia que para predecir la vida útil de un producto es importante: definir y/o identificar la variable que determina la vida útil del producto, esto puede realizarse mediante métodos físico-químicos y/o sensoriales, y seleccionar el método más factible de predicción (Dhineshkumar, Ramasamy, & Pugazhenth, 2017).

Las pruebas de vida útil implican el monitoreo continuo de los cambios de la variable de degradación de calidad identificada, durante el almacenamiento del alimento en condiciones ambientales controladas. Para esto, se pueden seguir dos metodologías: las pruebas de vida útil en condiciones reales de almacenamiento y las pruebas aceleradas, esta última implica pruebas de estabilidad bajo condiciones ambientales capaces de acelerar la pérdida de calidad (Manzocco, Calligaris & Nicoli, 2010).

La estimación de la vida de anaquel, puede realizarse a través de métodos estadísticos o por modelos matemáticos. Cuando se emplean técnicas

probabilísticas se supone que los tiempos de vida de las unidades experimentales, se distribuyen bajo una ley de probabilidad, por otra parte, los modelos matemáticos, se basan en la determinación de la cinética de la reacción relacionando magnitudes físico-químicas con el tiempo (Giraldo, 1999).

Una aplicación de modelos matemáticos es la ecuación de Arrhenius, esta emplea el orden de la cinética de reacción del factor de deterioro, así como la energía de activación, permitiendo predecir la vida útil a una temperatura específica.

1.4.3 Degradación de materiales plásticos

La degradación de polímeros hace referencia al resultado de la ruptura de los enlaces de la macromolécula que conforman los plásticos, dando como consecuencia la disminución de su funcionalidad debido a los cambios experimentados en sus propiedades físicas y químicas (Sing & Sharma, 2008).

Sin embargo, el término biodegradación hace referencia a la actividad biológica inducida especialmente por microorganismos y el proceso asociado a este término implica tres pasos importantes:

- Biodeterioro, que es la modificación de las propiedades mecánicas, químicas y físicas del polímero debido al crecimiento de microorganismos en o dentro de la superficie de los polímeros.
- Biofragmentación, o conversión de polímeros en oligómeros y monómeros por acción de microorganismos y la,
- Asimilación, donde se da la conversión del carbono del plástico en CO₂, agua y biomasa (Mehdi, Turgut & Burak, 2017).

Bátori, 2018, en su revisión sobre la biodegradación de bioplásticos concluye que tanto la composición química del material como las condiciones de degradación y el tipo de microorganismo infieren en la degradación de estos materiales. Es importante mencionar que la biodegradación de diversos plásticos se puede llevar a cabo en condiciones tanto aerobias como anaeróbicas. La degradación anaeróbica es la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales, que

generalmente conduce la transformación del material plástico a la producción de energía renovable en forma de metano, biomasa y gas (Bátori et al., 2018).

La normativa INEN NTE 2641:2012, hace referencia al método de ensayo para determinar la biodegradación anaerobia de materiales plásticos bajo condiciones aceleradas. Este método está diseñado para producir mezclas de desechos semejante a las condiciones de un relleno sanitario y exponerlas a un inóculo metanogénico derivado de digestores anaeróbicos para finalmente evaluar el porcentaje de conversión de carbono del material de ensayo a carbono en la fase gaseosa (CH₄ y CO₂), como objeto de la determinación del porcentaje de biodegradabilidad del material analizado (INEN, 2012).

1.4.4 Compostaje y parámetros de control del compost

El compostaje es un proceso dinámico, que actúa de manera sucesiva, combinando fases mesófilas y termófilas, promueve la biodegradación sobre la materia orgánica como consecuencia de las actividades metabólicas combinadas de una amplia gama de microorganismos; cuyo crecimiento está condicionado por la temperatura, humedad, concentración de oxígeno y naturaleza del sustrato (Moreno & Moral, 2008).

El proceso de compostaje está comprendido por cuatro fases: Mesófila inicial (10-42°C), termófila; en donde la temperatura incrementa 45-70°C; fase de enfriamiento y fase de maduración (Campos, Brenes & Jiménez, 2008; Moreno & Moral, 2018). En cada una de estas fases el crecimiento de microorganismos varía como efecto de la variación de temperatura durante el compostaje.

Durante la fase mesófila, los microorganismos son capaces de descomponer compuestos solubles como azúcares, lípidos y proteínas que producen ácidos orgánicos llegando a generar un descenso de pH del medio, además de utilizar fuentes sencillas de carbono-nitrógeno que generan como resultado un incremento en la temperatura del medio (Cuervo et. Al, 2014).

En la fase termófila la temperatura puede ser mayor a 45°C, los microorganismos presentes en el medio son termófilos que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de carbono. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio incrementa (Román, Martínez

& Pantoja, (2013). Esta fase concluye cuando los sustratos han sido agotados por los microorganismos provocando que la temperatura disminuya hasta aproximadamente 40°C, dando lugar a la fase de enfriamiento, en donde proliferan nuevamente las bacterias mesófilas y la temperatura desciende hasta alcanzar aproximadamente 20°C. En la etapa de maduración la temperatura y pH se estabilizan. Durante los meses de duración pueden proliferar actinomicetos e inducen a la formación de materiales húmicos (Terán, 2017).

1.4.5 Caracterización estructural y química

La espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) es un método eficiente y simple para la caracterización química y fisicoquímica de materiales poliméricos degradados. El método de FTIR se basa en la interacción de la porción infrarroja de la radiación electromagnética con la masa, dando como resultado la absorción de longitudes de onda correspondientes a la energía de transición entre varios estados rotacionales de vibración de moléculas o grupos de átomos en una molécula (Hamid & Prichard, 2006). La FTIR permite que la radiación infrarroja difundida por las muestras calentadas se analice directamente en un espectrofotómetro sensible, permitiendo así que la información espectral se adquiera a temperaturas elevadas, siendo así muy eficaz en aplicaciones de degradación y caracterización de polímeros. Esta información espectral proporciona información sobre la naturaleza química (aditivos de formulación), morfología (grado de cristalinidad), orientación (cadena de polímeros) y propiedades químicas y fisicoquímicas (Hamid & Prichard, 2006). Los materiales poliméricos y sus aditivos pueden ser analizados por transmisión o reflexión. En el estudio de materiales poliméricos se ha utilizado mayormente la espectroscopía infrarroja de transformación de Fourier de reflexión total atenuada (ATR-FTIR), ya que es una técnica rápida con mínima preparación de las muestras (Torres, 2016).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Lámina extruida de BOPP laminado transparente metalizado sin aditivo (PP/SA), lámina extruida de BOPP laminado transparente metalizado con aditivo (PP/CA) donadas por Sigmplast S.A., empresa convertidora de empaques flexibles (Pifo, Quito), aditivo ECOBYC Biosphere plastic LLC 201 Aliphatic-Aromatic ester, modified, Polylactide, Organoleptic, Monosaccharides, Aldohexose proporcionado por Biosphere Plastic (Portland Oregon, Estados Unidos), mini tostadas integrales Grilé de BIMBO S.A. (Guayaquil, Ecuador), tierra de sembrado de Agrícola y Jardinería Borita de Supermaxi (Guayaquil, Ecuador), desechos orgánicos y desechos de café de un establecimiento de comida de Espol, estiércol seco otorgado por la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de Espol.

2.2 Métodos

La matriz de tratamientos experimentales está diseñada para el análisis de dos variables, como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Matriz de tratamientos experimentales [Elaboración propia].

Tipo	Compostaje	Ambiente controlado			Tiempo (Días)		
		25°C	45°C	55°C	15	30	45
PP/SA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PP/CA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

La evaluación de la degradación de materiales plásticos bajo pruebas de compostaje puede ser efectuada mediante condiciones aerobias con base al estándar ASTM D5338-15 o en condiciones anaerobias por medio del estándar ASTM D5511-02. Dada las condiciones del proyecto se planteó la metodología en medio aerobio. Mientras que para condiciones en ambiente controlado existen reportes donde se emulan diferentes condiciones de temperatura en estufas.

2.2.1 Elaboración del compostaje

El compostaje es utilizado como un medio de cultivo, para el desarrollo de microorganismos capaces de generar condiciones de descomposición. El compostaje se preparó a partir de la mezcla detallada en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Formulación de compostaje [Elaboración propia].

Componente	Proporción
Tierra de sembrado	50%
Desechos orgánicos (cáscaras de frutas, vegetales y huevos)	35%
Estiércol seco	15%

Para los ensayos experimentales con el compostaje elaborado, se utilizaron 4 cajas de plumafón: 2 cajas grandes con medidas 61*41*31cm, y 2 cajas pequeñas con medidas 12*2*2 cm, en las que se colocaron las muestras como se detalla en la tabla 2.3. Para facilitar la eliminación de los gases generados durante el ensayo, se incorporaron mangueras de plástico en cada una de las cajas, como se muestra en la Figura 2.1.

Tabla 2.3 Tipo, y descripción de los ensayos realizados en compostaje [Elaboración propia].

Tipo de ensayo	Descripción
CA PP/CA	Alimento + Polipropileno con aditivo
CA PP/SA	Alimento + Polipropileno con aditivo
PP/CA	Polipropileno con aditivo
PP/SA	Polipropileno con aditivo



Figura 2.1 Ensayo en condiciones de compostaje [Elaboración propia].

2.2.2 Condiciones de compostaje

La estabilidad del compostaje se define como el grado de transformación de la fracción orgánica durante el proceso de descomposición biológica (Mal & Chattopadhyay, 2013). Para la experimentación se evaluó la estabilidad del compostaje, usado como inóculo para la degradación de las láminas extruidas de PP/SA y PP/CA en ambientes aeróbicos, mediante análisis físicos y químicos como detalla la Tabla 2.4, además se monitoreó el incremento de temperatura en diferentes tiempos durante 45 días.

Tabla 2.4 Análisis físico-químicos del compostaje [Elaboración propia].

Análisis	Tiempo (Días)					
	0	7	14	21	30	45
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Temperatura (°C)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Humedad (%)	✓	✓	✓	✓	✓	✓

2.2.3 Condiciones de control de las láminas extruidas

La degradación de las láminas extruidas PP/SA y PP/CA almacenadas en condiciones de compostaje y a temperaturas de 45°C y 55°C, fueron analizadas por duplicado, mediante espectrofotometría de absorción infrarroja (IFTR) al inicio de la experimentación, 0 días, 30 días y 45 días tal como se detalla en la Tabla 2.5. Para ello las láminas sumergidas en el compostaje se limpiaron con agua destilada y se tomaron muestras de 50 cm de diámetro.

Tabla 2.5 Control de análisis de láminas extruidas [Elaboración propia].

Tiempo (Días)	Condiciones de compostaje			25 °C			45 °C			55 °C		
	0	30	45	0	30	45	0	30	45	0	30	45
IFTR	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

2.2.4 Condiciones de control del alimento

Se empacaron 10 gramos de mini tostadas integrales en láminas de PP/SA y PP/CA y se almacenaron en condiciones de compostaje y a condiciones de temperaturas de 25°C, 45 °C y 55°C en estufas (BOV-V225F, China; DK-42, Estados Unidos). Las mini tostadas acorde a la Norma Sanitaria Peruana RM N° 1020-2010, corresponde a la categoría pan de molde-pan tostado, por tanto, al ser un producto susceptible a la humedad las principales causas de deterioro son: crecimiento de microorganismos y ablandamiento o pérdida de textura por ganancia de humedad. Por este motivo para monitorear ablandamiento o pérdida de textura por ganancia de humedad se realizó análisis de textura, para cada condición de temperatura, a tiempo 0, 30 y 45 días.

2.3 Análisis de calidad de lámina y del alimento empacado

2.3.1 IFRT

Las caracterizaciones químicas y morfológicas de las láminas de PP/SA y PP/CA en condiciones aeróbicas y a temperaturas: 25°C, 45°C y 55°C se realizaron mediante un espectrofotómetro de absorción de infrarrojo (PerkinElmer, Spectrum 100 FT-IR Spectrometer, Estados Unidos) utilizando el software SPECTRUM EXPRESS. Las mediciones fueron realizadas en un rango espectral de 4400 - 600 cm^{-1} , todos los ensayos se realizaron por duplicado. Los gráficos de absorbancia, fueron obtenidos en función de las longitudes de onda infrarrojas de las láminas extruidas, donde se analizaron los grupos funcionales característicos del polipropileno (grupos metilos) y los índices de reducción de C-O y C=C que denotan efectos de biodegradación sobre los polímeros.

2.3.2 Textura

La textura de los productos de panadería como pan tostado se puede evaluar empleando una prueba de punción, este tipo de prueba es frecuentemente utilizada en productos de panificación, galletería y es útil para monitorear los cambios que experimente el producto debido a la migración de humedad (Cauvan & Young, 2009).

Para la determinación de la textura se utilizó un texturómetro CT Brookfield®, con un punzón de penetración TA 41 de 4 mm diámetro, a una velocidad de 0,33 mm/s, 2 mm de distancia de formación con una carga de 10 gramos fuerza (gf). Se realizaron un total de 20 repeticiones, a tiempo 0, 30 y 45 días.

2.3.3 Análisis Estadístico

Mediante un análisis de varianza (ANOVA) y un test comparativo de medias de Fisher, con un nivel de significancia del 5%, se determinó la influencia del aditivo en las láminas de PP/SA y PP/CA con respecto al parámetro textura.

2.4 Predicción del tiempo de vida útil

La predicción del tiempo de vida útil se realizó mediante pruebas aceleradas a través del modelo matemático de Arrhenius, tomando como parámetro indicador a la textura. Para ello, se evaluó el producto empacado en láminas de PP/SA y PP/CA durante 45 días a temperaturas de 25°C, 45°C y 55°C. Se tomaron 3 muestras de empaques con 10 g de producto correspondientes a cada temperatura detallada y se determinó la textura en gf cada 15 días durante 45 días.

Los resultados obtenidos fueron promediados y tabulados con el fin de obtener el orden de reacción, en función del coeficiente de determinación R^2 , ver la ecuación 2.1. La reacción de orden cero, se obtuvo graficando el parámetro indicador inicial versus el tiempo de almacenamiento y la reacción de orden 1, se obtuvo graficando el logaritmo neperiano del atributo inicial versus tiempo de almacenamiento. Finalmente se seleccionó el orden de reacción que obtuvo un mayor valor de R^2 .

$$\frac{dA}{dt} = \pm kA^n \quad (2.1)$$

Ecuación de cinética de reacción, donde:

n = Orden de la reacción, 0 o 1.

A : Atributo o parámetro indicador

A_0 = Atributo inicial o parámetro indicador inicial

k = Constante de cinética de reacción

t = Tiempo

Una vez seleccionado el orden de la reacción, se procedió a determinar la energía de activación (Ea) mediante la gráfica $\ln(k)$ vs $\frac{1}{T_{abs}}$ ($^{\circ}K$); siendo $\frac{Ea}{R}$ la pendiente y $\ln(k_0)$ el intercepto (ecuación 2.2).

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{Ea}{RT} \quad (2.2)$$

Donde:

K_0 = Factor pre-exponencial

Ea = Energía de activación ($\frac{KJ}{mol}$)

R = Constante universal de los gases

T = Temperatura absoluta (K)

Los resultados obtenidos de la energía de activación (Ea) y el factor pre-exponencial (K_0), fueron empleados para calcular el valor de la constante de cinética (K) a una temperatura determinada, mediante la ecuación 2.3.

$$k = k_0 e^{-\frac{Ea}{RT}} \quad (2.3)$$

Finalmente se determinó el tiempo de vida útil de las tostadas integrales (Puma et al., 2018), empleando la ecuación 2.4.

$$t_u = \frac{\ln k_0 - \ln k}{k} \quad (2.4)$$

2.5 Lay-out del laboratorio de degradación de plásticos

Mediante la metodología conocida como Systematic Layout Planning (SLP) que consiste en fijar un cuadro operacional de fases y serie de procedimientos para identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en el proceso y la relación entre ellos (Casp, 2018), se obtuvo el lay-out del laboratorio. Inicialmente se estableció un diagrama de flujo que detalle el proceso para el estudio de las láminas extruidas de PP/SA y PP/CA, y posteriormente se realizó una tabla relacional de actividades (T.R.A.), evaluando la necesidad de proximidad entre las diferentes actividades del proceso, bajo diferentes puntos de vista o motivos acorde

a las Tablas 2.6 y 2.7. Finalmente, mediante el empleo del algoritmo del software CORELAP, versión 1.0, que emplea la metodología heurística Computerized Relationship Layout Planing, se definió la configuración y distribución de espacios tentativo del laboratorio destinado al estudio de las láminas extruidas de PP.

Tabla 2.6 Escala de valoración de la tabla de relación de actividades [Elaboración propia].

Código	Proximidad	Color Asociado
A	Absolutamente necesaria	Rojo
E	Especialmente importante	Amarillo
I	Importante	Verde
O	Ordinaria	Azul
U	Sin importancia	-
X	Rechazable	Café

Tabla 2.7 Motivos T.R.A [Elaboración propia].

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

2.6 Costos

La estimación de costos se realizó en base al análisis de degradación de una muestra de ensayo. Las normas ASTM D5338 e ISO 14855-1 sugieren un período de 90 días para los ensayos realizados a escala de laboratorio por muestra, valor que se tomó como referencia para estimar el precio del análisis por cada muestra. Otros rubros a tomar en consideración fueron, materias primas necesarias para el análisis, los salarios del personal directo e indirecto involucrado en el proceso, costos energéticos, servicios básicos y equipos. A partir de los resultados obtenidos se determinó el grado de rentabilidad y período de recuperación de la inversión aplicando la ecuación 2.5.

$$\text{Período de recuperación} = 2 + \frac{|\text{Valor de recuperación}|}{\text{Flujo de caja neto}} \quad (2.5)$$

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y DECISIONES

3.1 Análisis de los ensayos en compost

3.1.1 pH

En la Figura 3.1 se muestra los resultados de los pH obtenidos durante el tiempo de observación, encontrando un descenso del mismo para todos los tipos de ensayo en compostaje. Este descenso de pH puede ser un indicativo de la fase mesofílica del compostaje (Cuervo et al., 2014). Se evidencia que la disminución del pH es más pronunciada en el día 14, no obstante, se puede diferenciar que para las condiciones de compostaje en la cual se almacenaron las láminas PP/SA, el pH del compostaje es aún más bajo, creando como condición un medio ácido, sin embargo, es importante mencionar que durante el período de compostaje, el pH no superó el rango óptimo de pH (6.2 - 8.5) encontrado por; Mohee, Unmar, Mudhoo & Khadoo, 2007. Lo que puede implicar que las condiciones durante los 45 días, fueron favorables para la actividad microbiana.

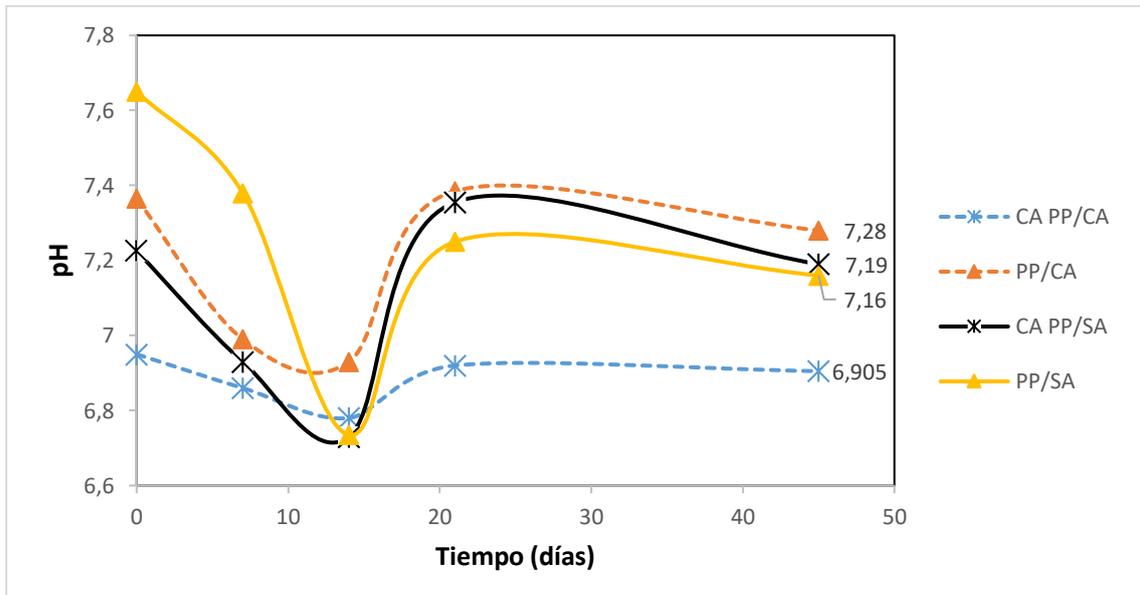


Figura 3.1 pH del compostaje en los diferentes ensayos a través del tiempo [Elaboración propia].

3.1.2 Humedad

En la Figura 3.2 se muestra la variación de humedad obtenida durante el tiempo de experimentación, donde se observa que a excepción del compostaje CA PP/CA, el contenido de humedad sobrepasa el 45%, valor similar al encontrado por; Román, Martínez & Pantoja, 2013, quienes determinaron que entre 45 a 60% humedad las condiciones del compostaje son óptimas, para el desarrollo de microorganismos capaces de generar metabolitos y enzimas que puedan fragmentar las largas cadenas poliméricas en los polímeros de estudio; por el contrario, humedades por debajo de 45% pueden ser capaz de disminuir la actividad microbiana ocasionando que no se llegue a completar todas las fases del compostaje (Román, Martínez & Pantoja, 2013; Ammala, 2011).

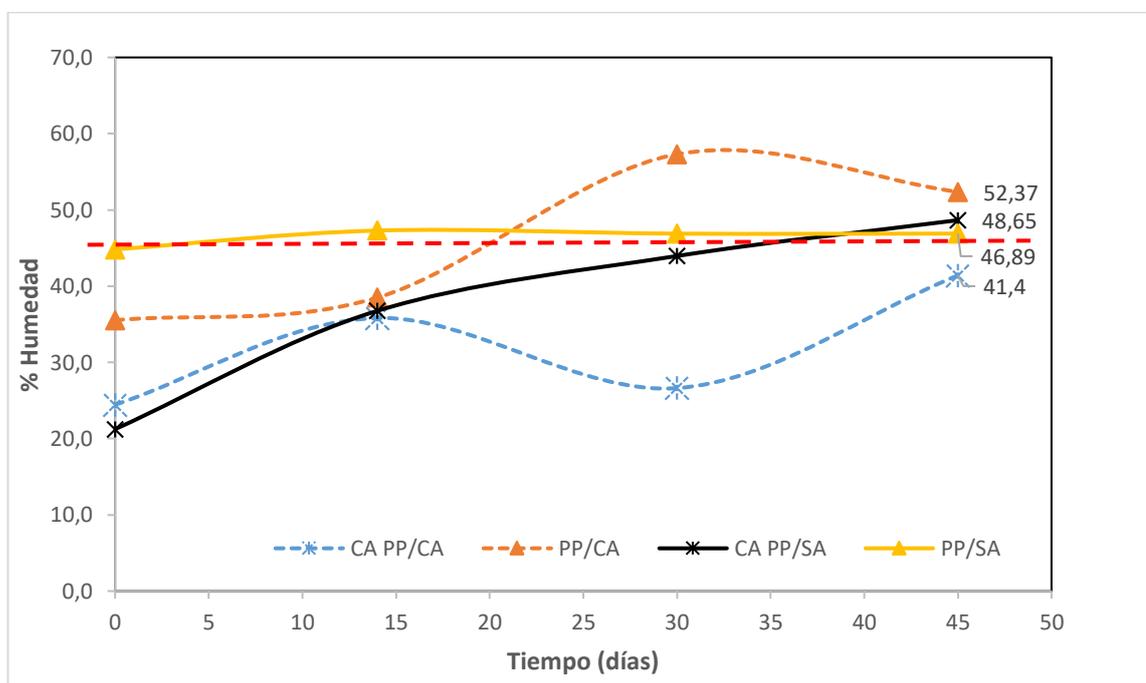


Figura 3.2 % Humedad del compostaje en los diferentes ensayos [Elaboración propia].

3.1.3 Temperatura

En la Figura 3.3 se muestra el comportamiento de la temperatura de los ensayos a diferentes tiempos, donde se observa que existe una elevación de temperatura entre los días 9 hasta el día 15 que corresponden al número de medición 5 a 7, esto ocurre en todos los tipos de ensayo. Campos, Brenes & Jiménez, 2008,

determinaron que el incremento de temperatura indica que el compost se encuentra en fase mesofílica (temperaturas entre 10 y 42°C). El mayor incremento de temperatura ocurre en las láminas de PP que contienen aditivo, en comparación de las que no, llegando a una temperatura de 35°C. Para los días 42 y 45, se encontró una disminución abrupta de la temperatura en todos los ensayos, esto puede ser debido, a un agotamiento de la cantidad de materia orgánica disponible para los microorganismos, o, a cantidades limitantes de reactivos (Mohee, Unmar, Mudhoo & Khadoo, 2007)

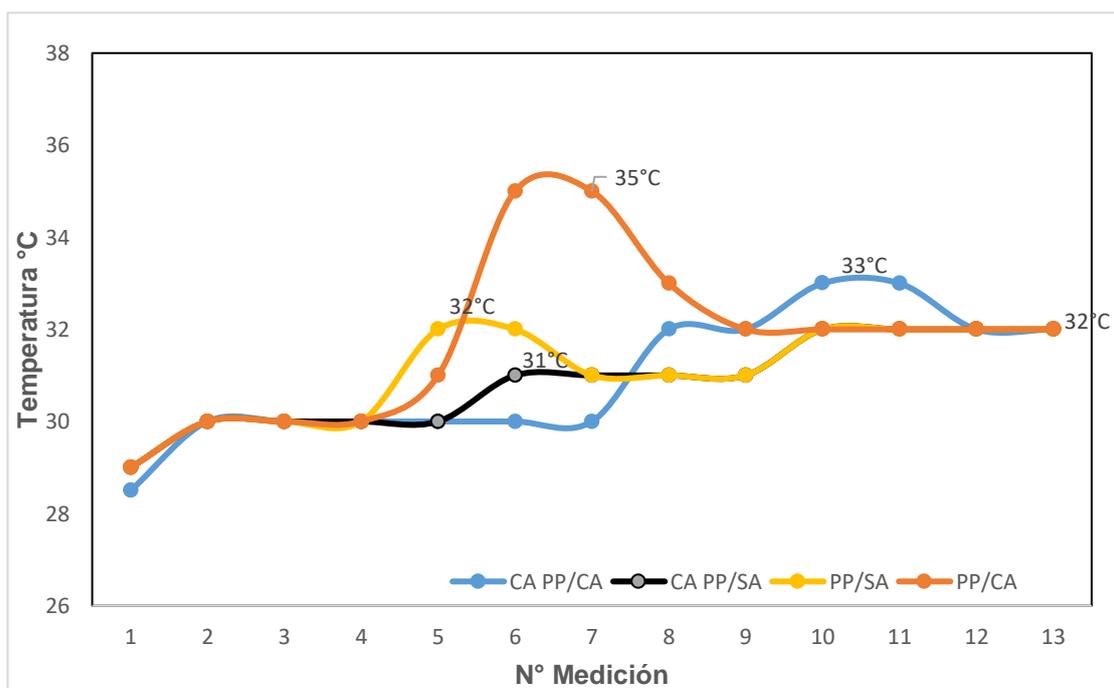


Figura 3.3 Control de temperatura de compostaje [Elaboración propia].

A los 45 días con 32°C de temperatura en el compostaje, la temperatura no es suficiente para lograr el proceso de hidrólisis necesario para iniciar la degradación, como lo demostró Moreno & Moral, 2008, donde indica que la degradación de polímeros suele aparecer a temperaturas de 45 a 70°C que corresponde a la fase termófila del compostaje.

3.2 Análisis del PP/SA y PP/CA en compostaje y en estufa a diferentes temperaturas

3.2.1 IFRT: compostaje

En la Figura 3.4 se muestra los espectros del aditivo y del PP/CA a tiempo 0, 30 y 45 días, donde se observa que el espectro del aditivo, posee en su estructura un pico a $1700-1800\text{ cm}^{-1}$, que corresponde a la zona de carbonilos (C=O), este pico fue también encontrado por Longo et al., 2011. Cuando se observan los espectros del PP/CA, este pico reduce su amplitud, pudiendo ser porque se traslapa con los espectros del PP. Arkatkar et al., 2010, encontró que la presencia de grupos carbonilos en esa longitud de onda daba el inicio a la degradación de las poliolefinas. La figura 3.4 muestra, que el espectro del PP/CA a cero días presenta picos en los enlaces carbono-hidrógeno del grupo CH₃ propios del polipropileno ($3000-2800\text{ cm}^{-1}$) y en la región de la huella dactilar, donde se muestran los grupos metilo a los grupos metileno (correspondientes a 1377 cm^{-1} a 1456 cm^{-1}). A los 45 días, se puede evidenciar cambios en la estructura del espectro, la formación y disminución de picos en la banda ($3000-2800\text{ cm}^{-1}$), aumento de la absorbancia del pico a 1737 cm^{-1} (C=O) y disminución de la intensidad de los picos a; 1456 cm^{-1} (CH₃) y 1377 cm^{-1} (CH₂). El incremento en la absorbancia del pico en la región de los carbonilos (1737 cm^{-1}) a través del tiempo, evidencia la formación de compuestos oxidados. De acuerdo con, Arkatkar, 2010, la formación o presencia de grupos carbonilos, ceto carbonilo y éster carbonilo indican la oxidación del polímero. Además, la disminución de la absorbancia del grupo metilo (1377 cm^{-1}) en función del tiempo, indicaría que la oxidación tiene lugar en la posición primaria de la cadena del polímero (Longo et al., 2011).

En la Figura 3.5 se muestra los espectros del PP/SA, donde a los 45 días en compostaje no presentaron cambios para formación de compuestos oxidados por lo que el proceso de degradación no es evidente.

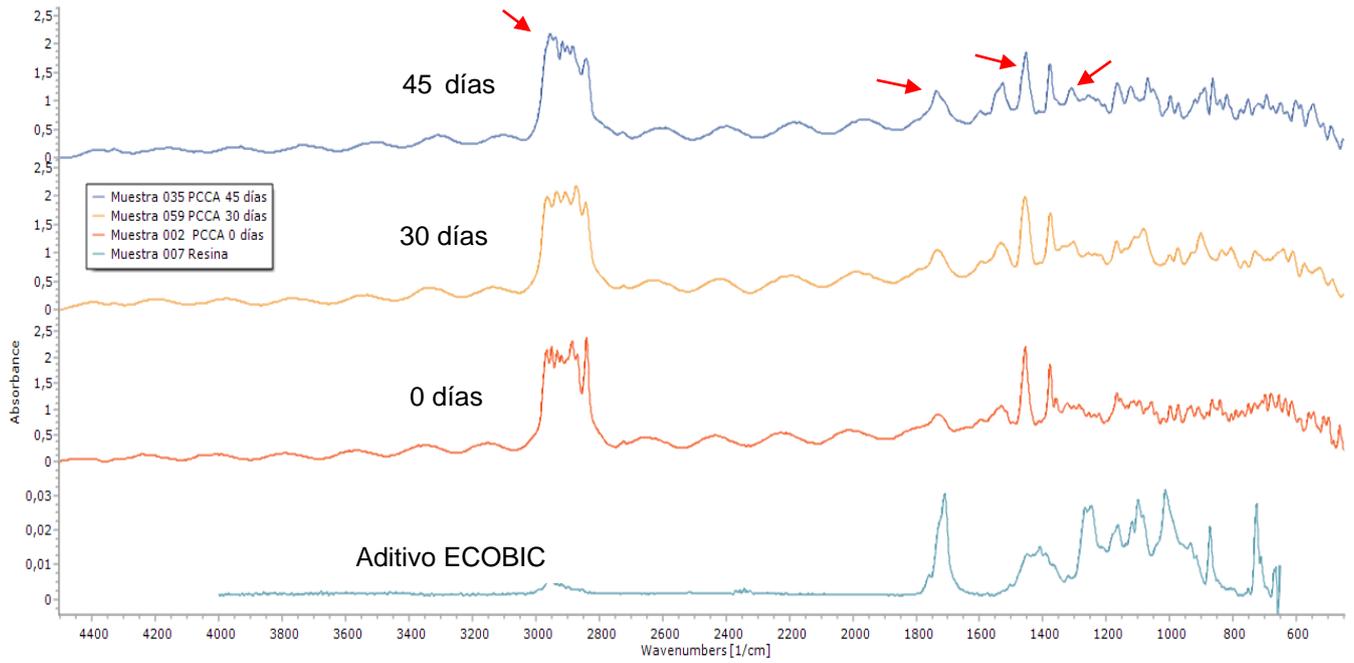


Figura 3.4 Espectroscopía IFRT de PP/CA en condiciones de compostaje [Elaboración propia].

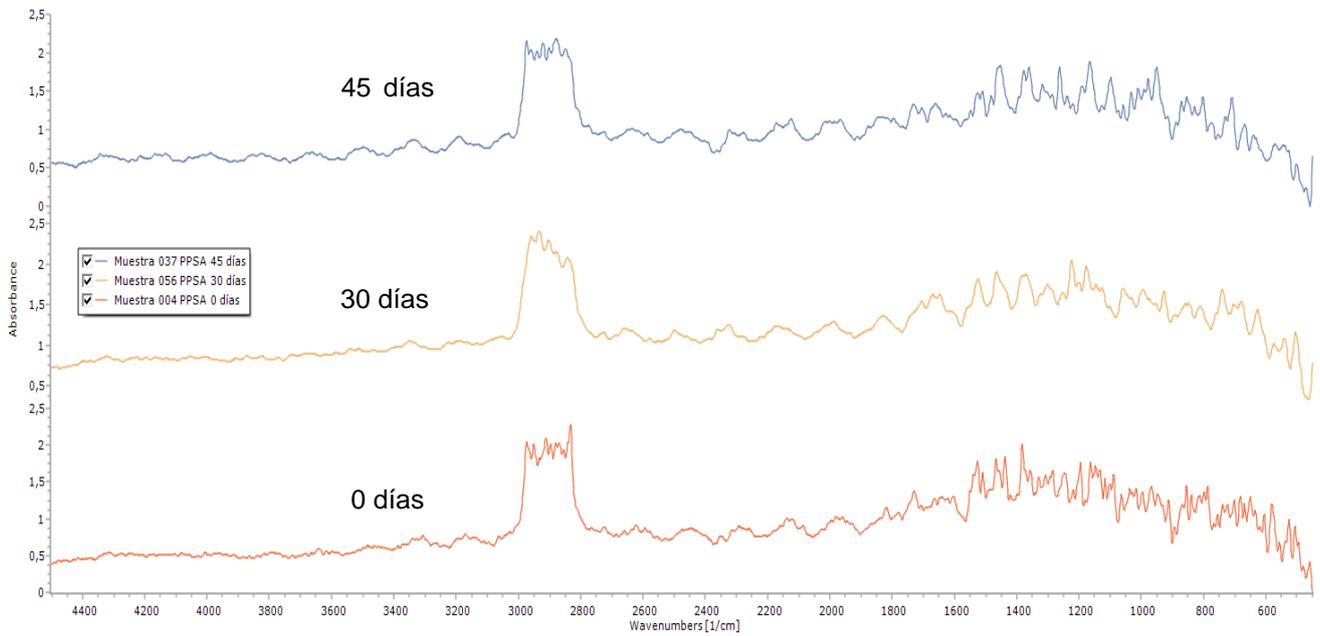


Figura 3.5 Espectroscopía IFRT de PP/SA en condiciones de compostaje [Elaboración propia].

3.2.2 IFRT: estufa

En las Figuras 3.6 se muestran los espectros del aditivo y del PP/CA a 45 días de ensayo y a 3 diferentes temperaturas; 25°C, 45°C, 55°C. También se incluyó un espectro de PP/CA a tiempo 0. De la misma manera que los espectros identificados en IFRT: compostaje, la incorporación del aditivo al PP produce que se traslapen los picos.

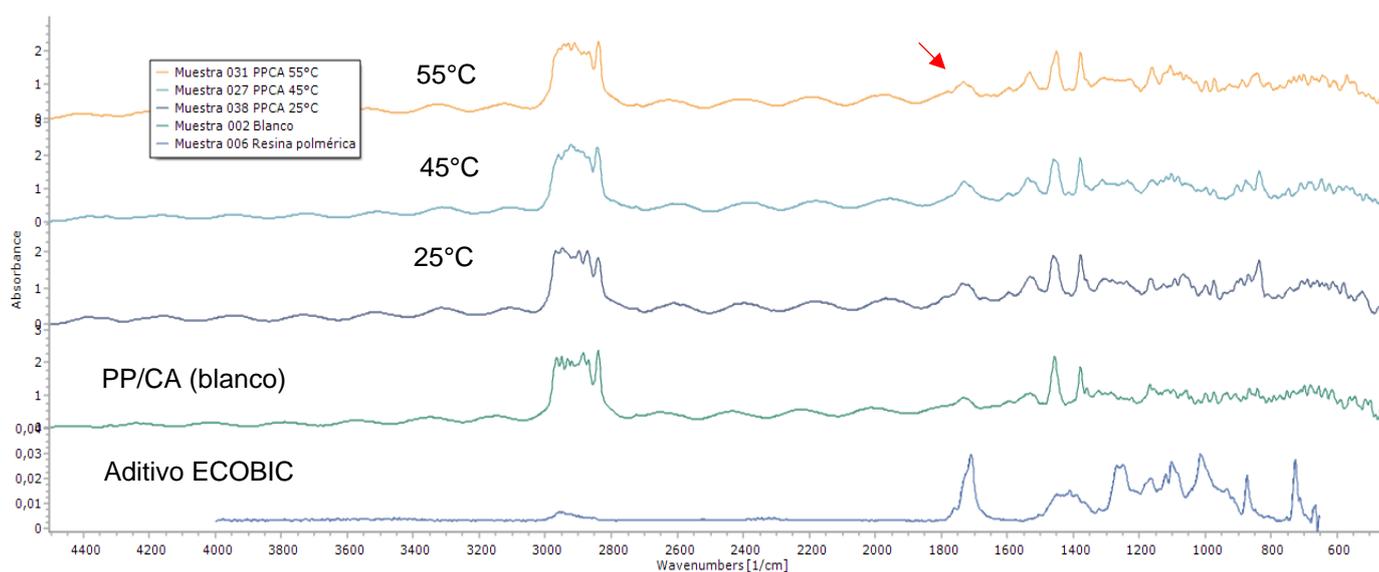


Figura 3.6 Espectroscopía IFRT de PP/CA 45 días a diferentes temperaturas [Elaboración propia].

El espectro de las láminas de PP/CA a 45 días, muestra evidencia de un leve aumento en la absorbancia del pico 1735 cm^{-1} lo que indicaría la presencia de grupos carbonilos en la cadena polimérica a consecuencia de un posible índice de degradación del polímero, y la presencia de picos en las bandas de los grupos metilos y metilenos $1385 - 1458\text{ cm}^{-1}$, además se puede observar la incidencia de absorbancia en la región de longitud de onda de 872 cm^{-1} a los 45°C , esta puede estar relacionada con el cambio de cristalinidad de la película de BOPP que ya no se observa a los 55°C , pudiendo ser la causa de un reordenamiento de los grupos funcionales por encima de 45°C .

Longo et al., 2019, indica que la orientación de las cadenas de BOPP interfieren en su degradación térmica, dándole la singularidad de estar menos sujeta al ataque

microbiano y como consecuencia a la degradación, además manifiesta que, aunque la presencia del grupo carbonilo pueda estar asociadas a mecanismos de degradación, estos son más evidentes en condiciones de compostaje.

Cuando el PP/SA se encuentra a 45 días la temperatura no interfiere en el resultado obtenido, ya que no se observaron cambios notables, como se observa en la Figura 3.7.

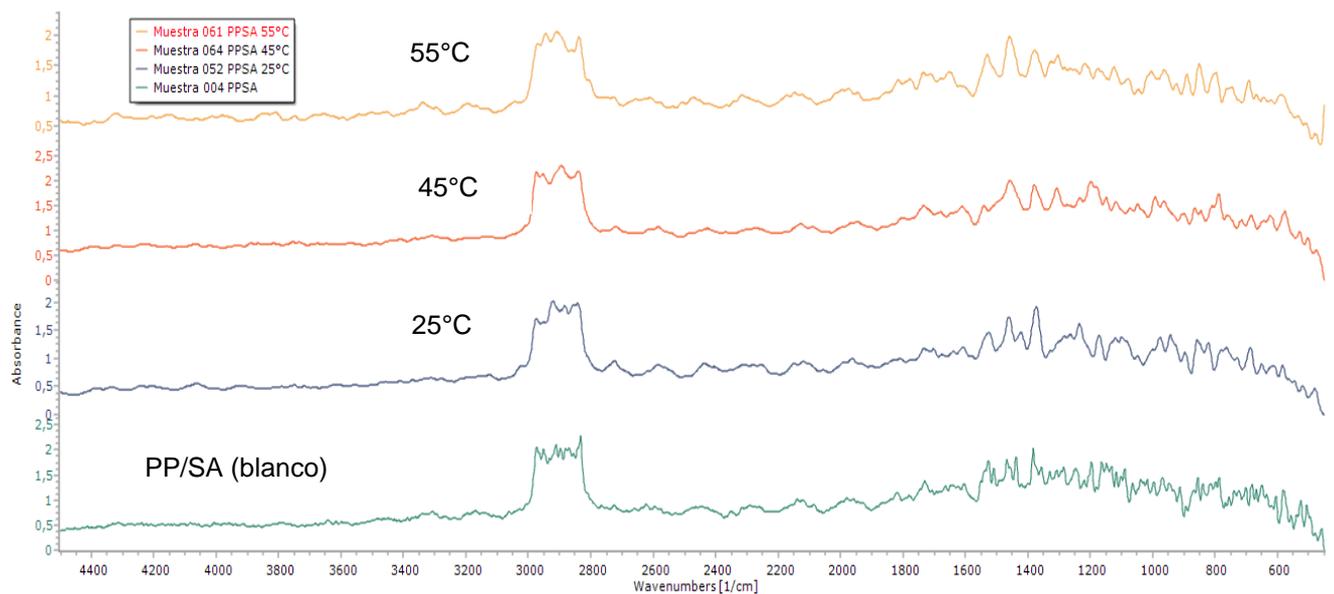


Figura 3.7 Espectroscopía IFRT de PP/SA 45 días a diferentes temperaturas [Elaboración propia].

3.3 Análisis de calidad del alimento empacado

3.3.1 Textura

En la Tabla 3.1 se presenta la textura promedio en gramos fuerza (gf) a 0, 25 y 45 días, de las tostadas empacadas en PP/SA y PP/CA a 25, 45 y 55°C, donde se puede observar una tendencia decreciente entre los valores de textura y las respectivas temperaturas de almacenamiento tanto para las tostadas empacadas en PP/SA y PP/CA, está tendencia, se observa en la Figura 3.8 donde hay una disminución en mayor grado de la textura respecto al tiempo a la temperatura de 55°C en comparación con las temperaturas de 25°C y 45°C para las tostadas empacadas en PP/CA, a su vez acorde con el análisis de varianza de los datos de la Tabla 3.1, la presencia/ausencia del aditivo en el material de empaque afecta significativamente, sobre el atributo de textura de las tostadas a los 30 y 45

días de almacenamiento y a 25°C, 45°C, 55°C, esto se debe a la absorción de humedad por parte del alimento que afecta la textura por ablandamiento y plastificación (Basilio, 2015), debido a que el aditivo podría estar afectando a la permeabilidad del material de empaque disminuyendo la barrera.

Tabla 3.1 Textura de tostadas empacadas en PP/SA Y PP/CA a diferentes temperaturas. Medias (desviación estándar) y resultado ANOVA [Elaboración propia].

TEMPERATURA	25°C			45°C			55°C		
TIEMPO (DIAS)	0	30	45	0	30	45	0	30	45
SIN ADITIVO (%H)	1599,73(39,77) ^{ax}	1263,98(23,38) ^{ax}	1132,32(12,68) ^{ax}	1599,73(39,77) ^{ax}	1233,45(20,34) ^{ax}	1131,54(12,09) ^{ax}	1599,73(39,77) ^{ax}	1219,77(5,19) ^{ax}	1101,45(0,97) ^{ax}
CON ADITIVO (%H)	1593,50(8,58) ^{ax}	1179,10(12,20) ^{bx}	1117,35(5,18) ^{bx}	1593,50(8,58) ^{ax}	1142,10(12,02) ^{bx}	1110,35(4,53) ^{bx}	1593,50(8,58) ^{ax}	1121,23(5,21) ^{bx}	1100,02(0,90) ^{bx}

Superíndices a y b indican que existen diferencias significativas entre los tratamientos. Subíndices x, y, z indican diferencias significativas en un mismo tratamiento a diferentes tiempos.

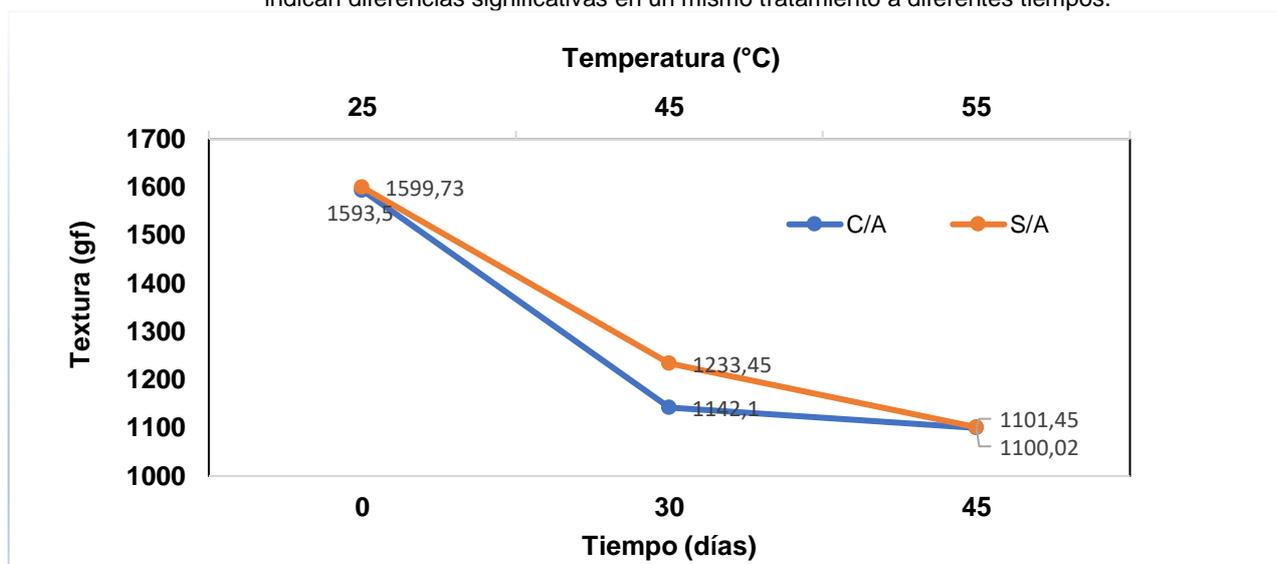


Figura 3.8 Textura de tostadas empacadas con PP/CA y PP/SA a diferentes temperaturas y tiempos de control [Elaboración propia].

3.4 Estimación del tiempo de vida útil del alimento empacado

La determinación del tiempo de vida útil de las tostadas empacadas en PP/CA y PP/SA se realizó mediante los datos obtenidos de la textura en gramos fuerza (gf). La mayoría de las reacciones relacionadas con pérdidas en la calidad de los alimentos corresponden a la cinética de reacción de orden cero o de orden uno (Taoukis, 2000). Según Casp y Abril, 2013 las pérdidas de textura por tratamientos térmicos están relacionadas con las reacciones de primer orden.

3.4.1 Tiempo de Vida útil de tostadas empacadas en PP/SA

En la Figura 3.9 a) y b) se observa la cinética de reacción para las tostadas empacadas en PP/SA a temperaturas de almacenamiento de 25°C, 45°C y 55°C. Los resultados muestran que el valor de textura se ajustó a un orden de reacción cero, con coeficientes de correlación de: 0.999, 0.992 y 0.996 respectivamente.

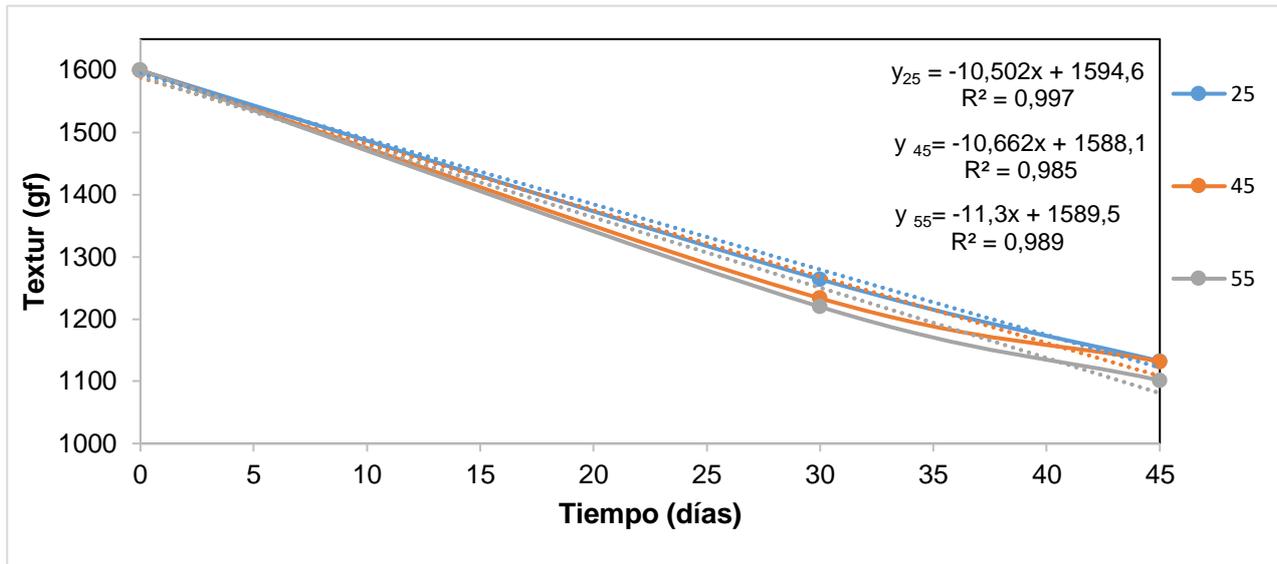
Los valores de la constante cinética (k) e intercepto para cada temperatura se obtuvieron de la Figura 3.9 b) al modelar los valores de textura a una ecuación linealizada de orden uno, siendo la abscisa el tiempo en días y la ordenada; el logaritmo neperiano de la textura (gf). Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 3.2.

Mediante el modelo matemático de Arrhenius se determinó la constante de cinética de reacción para una temperatura de 32°C y el tiempo de vida útil de las tostadas empacadas en PP/SA, se estimó usando la ecuación de reacción linealizada de orden uno como se observa en la Figura 3.10. Los valores de energía de activación (E_a) y factor pre-exponencial (K_o) fueron calculados por medio de la pendiente y el intercepto de la recta, los resultados mencionados se detallan en Tabla 3.3.

Tabla 3.2 Constante de cinética (k) en PP/SA [Elaboración propia].

T (°C)	k (día) ⁻¹	Intercepto
25	-0,0077	7,377
45	-0,0078	7,371
55	-0,0084	7,373

a)



b)

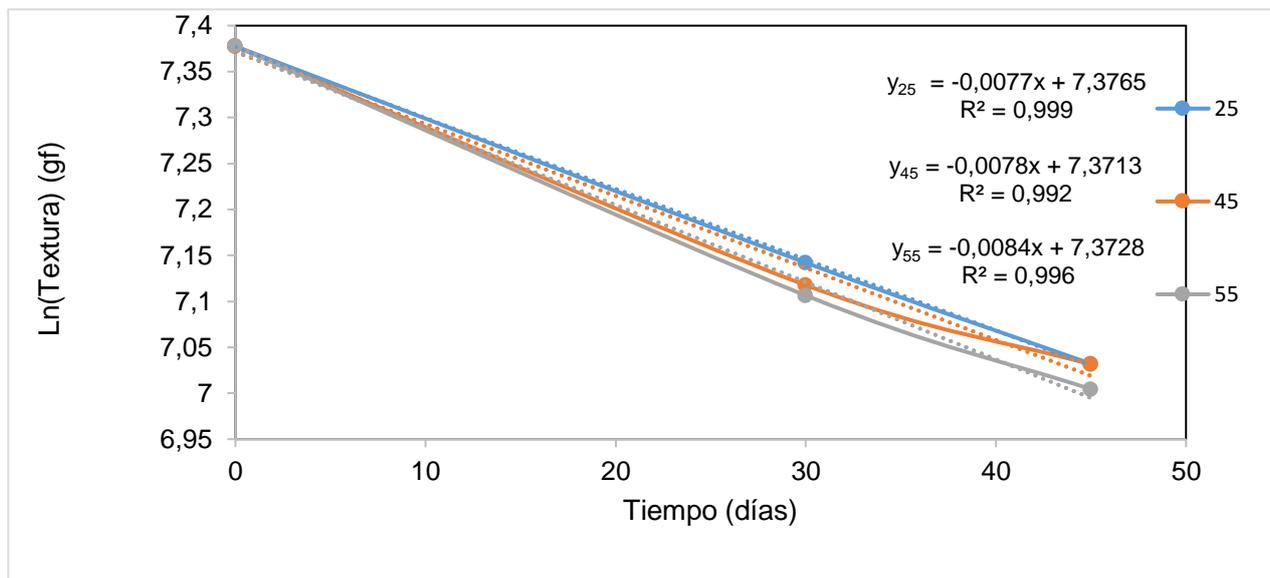


Figura 3.9 a) Cinética de reacción para tostadas empacadas en PP/SA a 25°C, 45°C y 55°C. 55°C. Orden cero. b) Cinética de reacción para tostadas empacadas en PP/SA a 25°C, 45°C y 55°C. Orden uno [Elaboración propia].

Tabla 3.3 Determinación de la E_a , K_o , K_{32} y el tiempo de vida con respecto a la textura de tostadas empacadas en PP/SA [Elaboración propia].

E_a (Kj/mol)	K_o	K_{32} (día ⁻¹)	T_{32} (días)	T_{32} (meses)
2	0,0175	0,00775	177	5,90

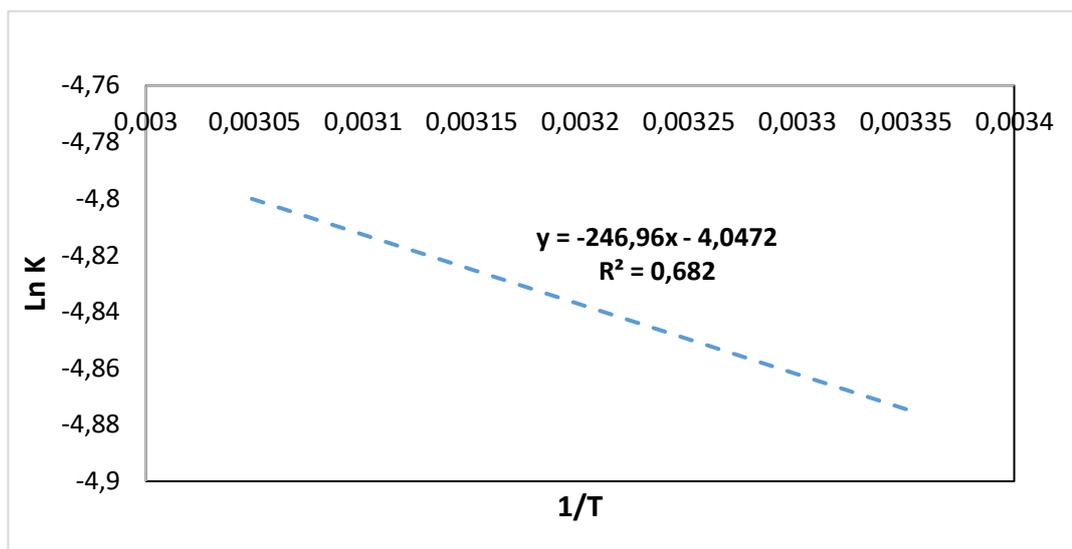


Figura 3.10 Ln K en función de la temperatura a 25, 45 y 55°C en PP/SA [Elaboración propia].

La E_a de las tostadas empacadas en PP/SA fue de 2 kJ/mol, lo que representa un nivel relativamente bajo de energía por parte del alimento para perder la textura. El tiempo de vida útil de las tostadas por el atributo de textura a una temperatura de 32°C, es de 177 días. Valor muy cercano al tiempo de vida útil las tostadas vendidas comercialmente, que es de 180 días.

3.4.2 Tiempo de vida útil para tostadas empacadas en PP/CA

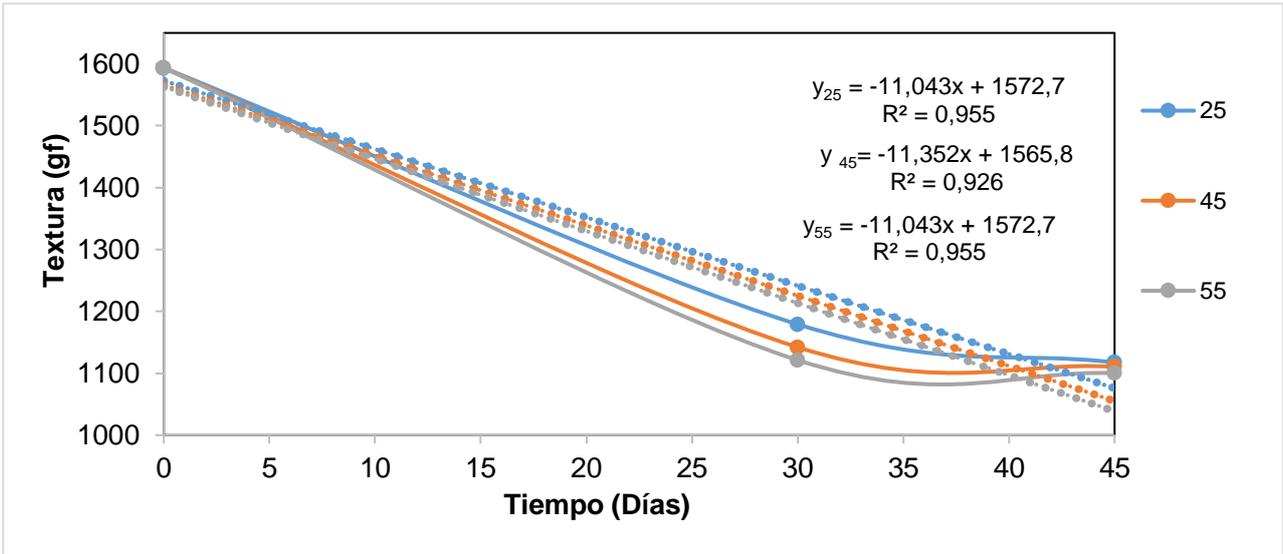
La Figura 3.11 a) y b) muestra la cinética de reacción para las tostadas empacadas en PP/CA a temperaturas de almacenamiento de 25°C, 45°C y 55°C, en el cual los valores obtenidos se ajustaron de igual manera a un orden de reacción uno con coeficientes de correlación de; 0.963, 0.932 y 0.919 respectivamente.

Los valores de la constante cinética (k) e intercepto para cada temperatura se obtuvieron de la Figura 3.11 b) al modelar los valores de textura a una ecuación linealizada de orden uno, siendo la abscisa el tiempo en días y la ordenada el logaritmo neperiano de la textura instrumental (gf). Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Constante cinética (k) en PP/CA [Elaboración propia].

T (°C)	k (día ⁻¹)	Intercepto
25	-0,0080	7,359
45	-0,0085	7,353
55	-0,0087	7,351

a)



b)

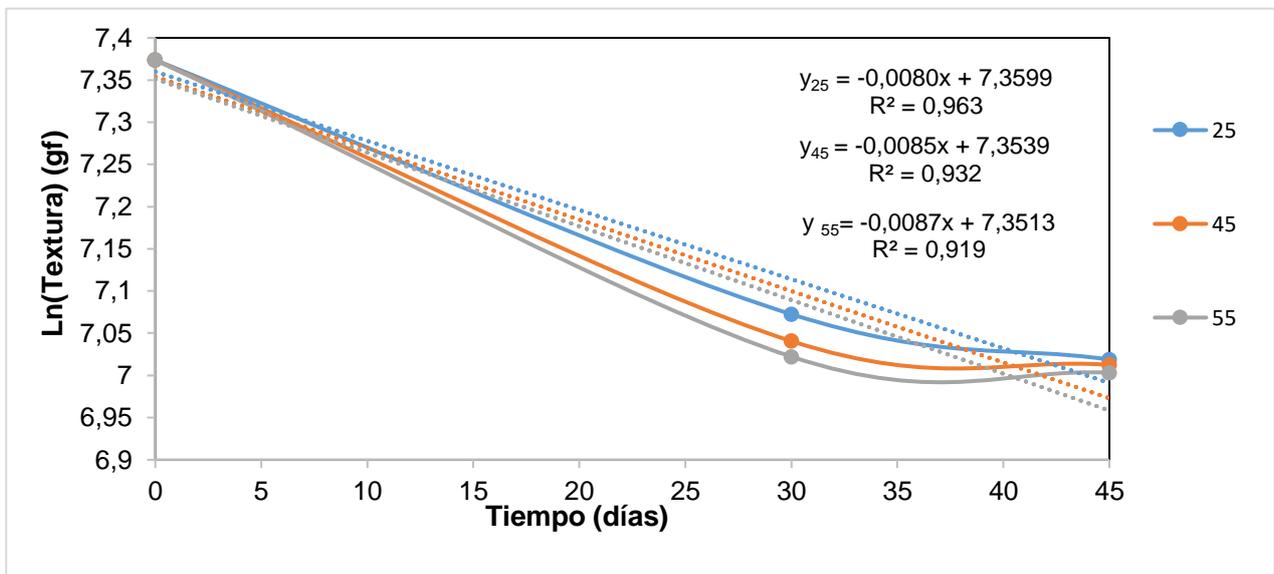


Figura 3.11 a) Cinética de reacción para tostadas empaçadas en PP/CA a 25°C, 45°C y 55°C. Orden cero. b) Cinética de reacción para tostadas empaçadas en PP/CA a 25°C, 45°C y 55°C. Orden uno [Elaboración propia].

Mediante el modelo matemático de Arrhenius se determinó la constante de cinética de reacción para una temperatura de 32°C y el tiempo de vida útil de las tostadas empacadas en PP/CA se estimó usando la ecuación de reacción linealizada de orden uno como se observa en la Figura 3.12 Los valores de energía de activación (E_a) y factor pre-exponencial (K_o) fueron calculados por medio de la pendiente y el intercepto de la recta, los resultados mencionados se detallan en Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Determinación de la E_a , K_o , K_{32} y el tiempo de vida con respecto a la textura de tostadas empacadas en PP/CA [Elaboración propia].

E_a (Kj/mol)	K_o	K_{32} ($día^{-1}$)	T_{32} (días)	T_{32} (meses)
2	0,0154	0,0084	166	5,53

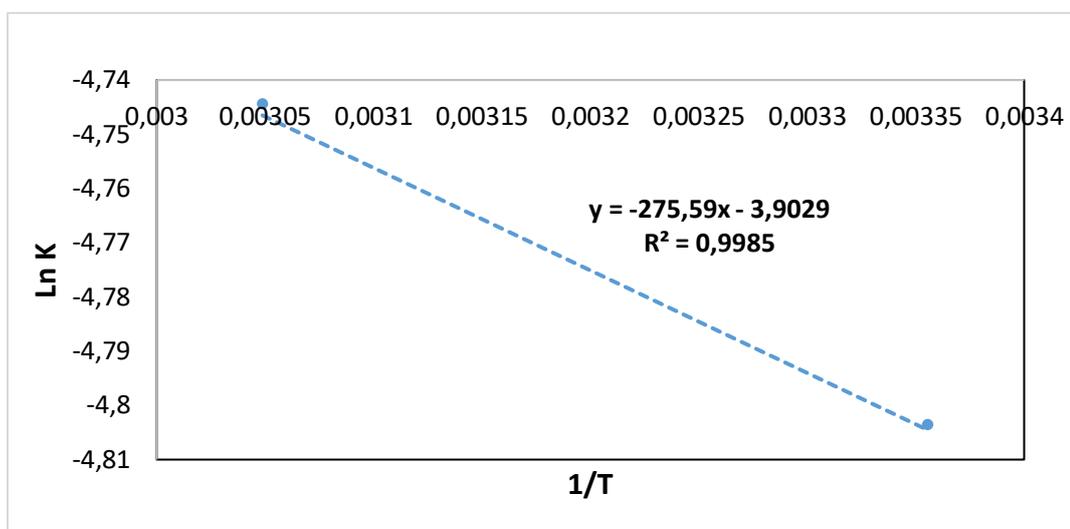


Figura 3.12 Ln K en función de la temperatura a 25, 45 y 55°C en PP/CA [Elaboración propia].

La E_a de las tostadas empacadas en PP/CA fue de 2 kJ/mol, lo que representa un nivel relativamente bajo de energía por parte del alimento para perder la textura. El tiempo de vida útil estimado para el atributo textura a una temperatura de 32°C es de 166 días, valor muy cercano al tiempo de vida útil de las tostadas vendidas comercialmente, el cual es de 180 días.

3.5 Lay-out del laboratorio de Degradación de plásticos

La Figura 3.13 muestra las actividades que intervienen en el proceso de análisis de degradación de plásticos. Las Tablas 2.3 y 2.4 del Capítulo 2 detallan la escala de valoración y motivos usados, que permiten plasmar las relaciones de una actividad con otra y evaluar la necesidad de proximidad bajo diferentes puntos de vista (Casp, 2018).



Figura 3.13 Tabla relacional de actividades [Elaboración propia].

El lay-out propuesto se observa en la Figura 3.14 el cual se obtuvo mediante el algoritmo CORELAP de los datos obtenidos en la tabla relacional de actividades. La numeración corresponde al orden de numeración que se detalla en la Figura 3.1, la secuencia del flujo de materiales para el proceso de análisis de una muestra en el esquema obtenido se detalla con línea, es decir esta propuesta tiene un flujo de materiales en una configuración U.

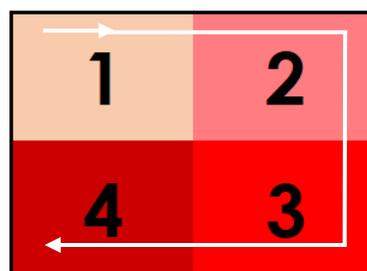


Figura 3.14 Lay-out para laboratorio de degradación de plásticos [Elaboración propia].

3.6 Estimación de costos

3.6.1 Costo de materia prima

En el Apéndice A, se muestra los costos de materia prima para el análisis de degradación de una muestra. El costo anual total de materia prima es de \$10.200,00.

3.6.2 Costo de mano de obra directa

Se consideró para el cálculo de mano de obra directa un salario de \$700,00 para un técnico analista, además de las aportaciones anuales que corresponden al 12,15% y los beneficios sociales como el décimo tercer sueldo (\$700,00) y décimo cuarto sueldo (\$507,50). La jornada laboral considerada es de 8 horas al día y 5 días a la semana, dando un total de 22 días al mes y 261 días al año. El costo total anual de mano de obra es de \$10.628,10 como se observa en el Apéndice B.

3.6.3 Costo de mano de obra indirecta

Se consideró para el cálculo de la mano de obra indirecta el salario básico unificado establecido por el Ministerio de Trabajo en el 2020 de \$400,00, además de las aportaciones anuales que corresponden al 12,15% y los beneficios sociales del trabajador como el décimo tercer sueldo (\$400,00) y décimo cuarto sueldo (\$290,00). El costo anual total de mano de obra es de \$12.146,40 como se muestra en el Apéndice C.

3.6.4 Costos y depreciación de maquinaria y equipos de oficina

La tabla 3.11 detalla los costos de los equipos y su depreciación, siendo el tiempo de vida útil considerado para el cromatógrafo de 15 años mientras que, para los otros equipos, 10 años. Los equipos de cómputo tienen un período de vida útil de 3 años. El costo total de los equipos es de \$60.686,00 y el valor de depreciación anual es de \$4.689,03 como se observa en el Apéndice D.

3.6.5 Costo de Mantenimiento

Para los costos de mantenimiento se consideró el 4% anual del costo total del equipo. Los equipos considerados se detallan en el Apéndice E, el valor total es de \$2.306,00.

3.6.6 Costos por consumo de energía eléctrica

La tabla 3.11 que se encuentra en el Apéndice F muestra el consumo de energía eléctrica de cada equipo usado para el análisis de degradación siendo el costo del kw-h de 0,0897 de acuerdo al valor establecido por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad. El costo anual total es de \$1.025,81.

3.6.7 Costos indirectos

Los costos indirectos considerados son los gastos por agua y energía eléctrica, necesarios para el funcionamiento del laboratorio de degradación. El costo total anual es de \$59.982,37 como se muestra en el Apéndice G.

3.6.8 Costo de análisis

Para el cálculo del costo del análisis de degradación se consideró el ensayo de una muestra, con un tiempo de duración por cada análisis de 90 días, siendo el costo total de \$839,96 como se observa en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Costos por análisis [Elaboración propia].

		Unidad	Costo por mes	Costo total por análisis
Materia prima	Oxígeno	m3	\$ 56,57	\$ 170,00
Personal	*MOD	Personal	\$ 31,82	\$ 95,45
Costo servicios básicos	Agua	m3	\$ 4,95	\$ 14,85
	Energía eléctrica	kw-h	\$ 164,17	\$ 492,52
Total			\$ 257,61	\$ 587,97
			Costo variable unitario	\$ 587,97
			PVP	\$ 839,96

3.6.9 Punto de equilibrio

Para el cálculo del punto de equilibrio se consideraron tanto los costos fijos como los variables. Los análisis mínimos necesarios para alcanzar el punto de equilibrio son 330 ensayos, como se observa en la Tabla 3.7 y Figura 3.15.

Tabla 3.7 Punto de equilibrio [Elaboración propia].

Unidades	Punto de equilibrio
330	\$277.186,86

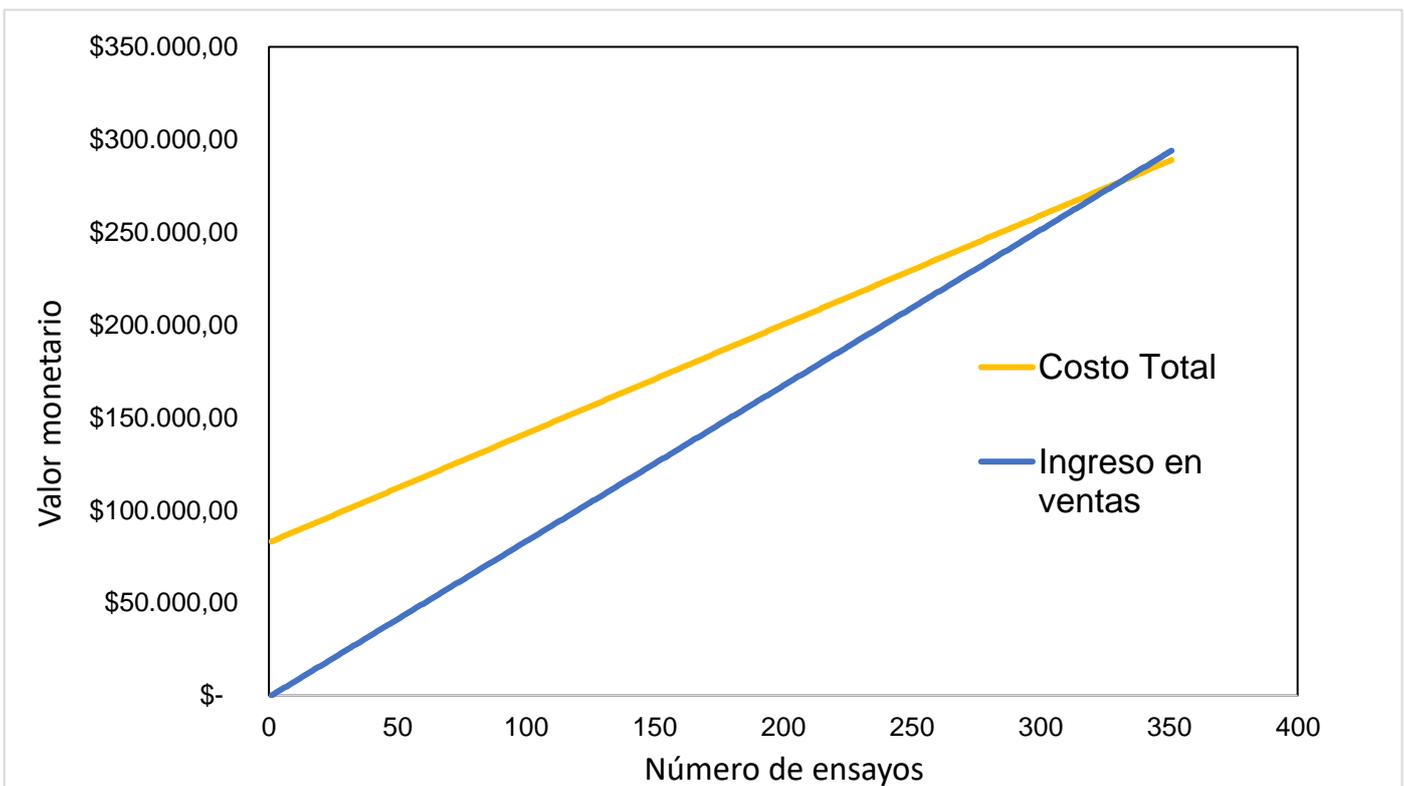


Figura 3.15 Gráfica del punto del equilibrio [Elaboración propia].

3.6.10 Análisis económico y financiero

La Tabla 3.16 que se encuentra en el Apéndice H detalla el flujo de caja proyecto a cinco años para el cálculo del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Los valores obtenidos indican que el proyecto es rentable dado a que el valor de VAN es positivo (\$44.546,01) y mayor a cero, a su vez la TIR (62%) es mayor que la tasa de descuento (8%).

Mediante los valores obtenidos en la Tabla 3.16 se pudo efectuar un análisis para determinar el plazo de recuperación de la inversión acorde a la ecuación 2.5, dando como resultado un periodo de 4 años con 3 meses.

Tabla 3.8 Periodo de recuperación [Elaboración propia].

Año	0	1	2	3	4	5
Flujo efectivo neto	\$ -	\$ -7.630,14	\$ -6.631,85	\$ - 4.869,41	\$ -3.174,53	\$ 98.532,03
Flujo acumulado	\$ -	\$ -7.630,14	\$ -14.261,99	\$ -19.131,39	\$ -22.305,93	\$ 76.226,10

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Las condiciones de compostaje durante los 45 días de experimentación fueron favorables para la actividad microbiana mesófila, que promueve la degradación de las cadenas poliméricas del PP, esto se corrobora con los valores encontrados de pH de 6.9 a 7.28 en todos los ensayos.
- El análisis químico a través de la espectrometría IFRT demostró que el PP que contiene aditivo, tanto en condiciones de compostaje como en estufa a 45°C, experimentaron alteraciones en su estructura como; disminución en la absorbancia de los grupos metilo, y aumento en la intensidad de grupos carbonilos, que podrían indicar la presencia de compuestos asociados al inicio del proceso de degradación, lo que implica que la lámina extruida de BOPP laminado transparente metalizado con aditivo (PP/CA), dentro de este periodo de tiempo aunque no se ha degradado completamente, es posible evidenciar cambios estructurales en la cadena del polímero.
- Mediante el análisis de comparación de medias y de varianza ANOVA se determinó que, el aditivo presente en las láminas PP presenta diferencias significativas sobre los parámetros de calidad de textura de las tostadas empacadas, esto podría atribuirse a un probable aumento en la permeabilidad de vapor de agua del empaque durante el almacenamiento.
- El tiempo de vida útil de las tostadas empacadas en las láminas extruidas de BOPP laminado transparente metalizado sin aditivo (PP/SA), fue de 177 días a 32°C, presentando un mínimo porcentaje de diferencia con el tiempo de vida útil del producto comercial (180 días).

- Las tostadas empacadas en las láminas extruidas de BOPP laminado transparente metalizado con aditivo (PP/CA) a 32°C presentaron un tiempo de vida útil de 166 días, reduciéndose en 7% con el valor comercial presente en el mercado.
- Se estimó que para obtener un margen de ganancia de 30%, el costo de un análisis de degradación es de \$839,96. A demás, el análisis de flujo de caja con proyección de 5 años determinó que el proyecto es rentable con un VAN positivo de \$44.456,01, un TIR de 62% y un período de recuperación de 4 años con 3 meses.

4.2 Recomendaciones

- Añadir material con alto contenido en nitrógeno al compostaje para mejorar las condiciones de temperatura y humedad del compostaje y estimular a la actividad microbiana.
- Considerar la evaluación de las propiedades mecánicas y de barrera (permeabilidad al vapor de agua y oxígeno) del material de empaque para determinar si existen cambios significativos respecto al tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Akhtar, K., Khan, S. A., Khan, S. B., & Asiri, A. M. (2018). *Scanning Electron Microscopy: Principle and Applications in Nanomaterials Characterization*. New York, Estados Unidos: Springer.
- Ammala, A. (2011). An Overview of degradable and biodegradable polyolefins, *Progress in polymer science*, 36(8), 1015-1049.
- ASTM D5511-18. (2018). Método de prueba estándar para determinar la biodegradación anaerobia de materiales plásticos en condiciones de digestión anaerobia con alto contenido de sólidos. (Vol. Octava Ed).
- ASTM D5338-1. (2018). Método de prueba estándar para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, incorporando temperaturas termofílicas.
- Basilio, J.E. 2015. Predicción de la vida útil de chifles de plátanos (*Musa paradisiaca*) mediante modelos matemáticos (Tesis Magister Scientie). Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Bátori, V., Åkesson, A., Zamani, A., J, M., Sárvári, I. (2018). Anaerobic degradation of bioplastics: A review, *Waste Management*. ISSN 0956-053X. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.040>.
- Cauvain, S. P. and Young, L. S. 2009. *Bakery food manufacture and quality: water control and effects*. John Wiley & Sons.
- Casp, A. (2005). *Diseño de Industrias Agroalimentarias*. (1ra ed.). Barcelona, Madrid: Mundi-Prensa.
- Casp, A. & Abril J. (2003). *Procesos de Conservación de Alimentos*. (2da ed.). Barcelona, Madrid: Mundi - Prensa.
- Cuervo, J. et al. (2014). *Guía Técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodología de compostaje y lombricultura*. Bogotá, Colombia.
- Dhineshkumar, V., Ramasamy, D., & Pugazhenthii, T. R. (2017). Influence of packaging material on quality characteristics of minimally processed Bhagwa Pomegranate arils during storage, 6(6), 1042–1046.
- Estrada, I., Hernández, E., Tagle, A., & Lagunes, F. (2015). Determinación de vida de anaquel en confitados. *Revista de Tecnología e Innovación*, 2(3), 392–400.

- Gamboa, L., González, M. & Hurtado, E. (2008). Useful shelf life of pancakes elaborated with wheat and carrot flour. *Saber, Universidad de Oriente*, 20(2), 177-182.
- G. A. Torres. (2016). “Estudio del efecto del tipo de poliestireno usado como envase plástico para alimentos sobre la migración global mediante espectroscopia IR-ATR y PCA”, “Tesis de Magister en Ciencias Química, Dept. Química, Univ. Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Giraldo, G. (1999). Métodos de estudio de vida de anaquel de los alimentos. Universidad de Colombia. Colombia. pp. 22-27.
- Hamid, S. H. & Prichard, W. H. (2006). Application of Infrared Spectroscopy in Polymer Degradation, 27(3), 303-334. <http://dx.doi.org/10.1080/03602558808070112>.
- Hisham, A. M. (2016). Polypropylene as a Promising Plastic: A Review. *American Journal of Polymer Science*, 6(1), 1-11. <https://doi.org/10.5923/j.ajps.20160601.01>
- INEN. (2012). NTE INEN 2641:2012 Método de ensayo para determinar la biodegradación anaeróbica de materiales plásticos bajo condiciones aceleradas de relleno sanitario. (Vol. Primera Ed).
- INEN. (2013). NTE INEN ISO 712:2013 Cereales y productos de cereales. Determinación del contenido de Humedad. Método de referencia (IDT). (Vol. Primera Ed).
- INEN. (2011). NTE INEN 2570:2011 Bocaditos de granos, cereales y semillas. Requisitos. (Vol. Primera Ed).
- ISO 14855-2. (2018). Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas. Método según el análisis de dióxido de carbono generado. Parte 2: Medición gravimétrica del dióxido de carbono liberado en un ensayo de laboratorio.
- Klein, R. (2011). *Material Properties of Plastics. Laser Welding of Plastics: Materials, Processes and Industrial Applications*. Weinheim, Alemania: Wiley-VCH.
- Jarrín, L. (2018). Estudio de la incidencia de dos tipos de empaques primarios en el tiempo de vida útil de un snack cárnico tipo beef jerky. Facultad de Posgrados. UDLA. Quito. 53 p.
- J. M. Gutiérrez, “Influencia de la intensidad del plasma y la velocidad de alimentación de aluminio sobre la difusión del oxígeno y el agua en películas de polipropileno biorientado recubiertas con aluminio”, “Tesis de Magister en Ingeniería, Dept. Ing. Mec., Univ. Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2011.

- Langowskia, H. C. (2011). Surface Modification of Polymer Films for Improved Adhesion of Deposited Metal Layers. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 25(1-3), 223-243. <https://doi.org/10.1163/016942410X520844>
- Longo, C., Savaris, M., Zeni, M., Brandalise, & Coulon, A. (2011). Degradation Study of Polypropylene (PP) and Biorented Polypropylenes (BOPP) in the Environment. *Materials Research*, 14(4), 442-44. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392011005000080>.
- Mangaraj, S., Yadav, A., Bal, L. M., Dash, S. K. & Mahanti, N. K. (2019). Application of Biodegradable Polymers in Food Packaging Industry: A Comprehensive Review. *Journal Package Technology and Research*, 3- 77 <https://doi.org/10.1007/s41783-018-0049-y>
- Manzocco, L., Callagaris, S., & Nicoli, M. (2010). Methods for food shelf life determination and prediction. University of Udine. Italy.
- Mehdi, S., Turgut T. & Burak D. (2017) Biodegradation of bioplastics in natural environments. Institute of Environmental Sciences, Boğazici University, Bebek, Istanbul 34342, Turkey.
- Mohee, R., Unmmar, G., Mudhoo. & Khadoo P. (2007). Biodegradability of biodegradable/degradable plastic materials under aerobic and anaerobic conditions. *Waste Management*, 28(9), 1624-1629.
- NTS N° 088. Norma Sanitaria para la fabricación, elaboración, y expendio de productos de panificación, galletería y pastelería. (Vol. Primera Ed).
- Padmashree, A., Sharma, G. K., & Govindaraj, T. (2013). Development and Evaluation of Shelf Stability of Flaxoat Nutty Bar in Different Packaging Materials, 2013(May), 538–546.
- Peña, E., Fortich, D., & Machado, G. (2013). Evaluación de la degradación ambiental de películas de polipropileno mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) | Peña | *Revista Colombiana de Materiales*. Retrieved October 21, 2019. <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/materiales/article/view/15086/13163>
- Puma, G., Liñan, J., Sánchez, I., Olano, J., Salas, W. & Vargas, L. (2018). Vida en anaquel de galletas saladas utilizando pruebas aceleradas. *Anales Científicos*, 79(1), 218-225. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79i1.1166>.
- Román, P., Martínez, M. & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor.

- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura, FAO.
- Singh, B., & Sharma, N. (2008). Mechanistic implications of plastic degradation. *Polymer Degradation and Stability*, 93(3), 561–584.
<http://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.11.008>.
- Steele, R. (2004). *Understanding and measuring the shelf life of food*. Woodhead Publishing Limited. New York. CRC Press.
- Y. A. Arenas, “Influencia de la temperatura sobre la degradación de películas plásticas,” Tesis de Licenciatura, Dept. de Energía, Univ. Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México, 2014.
- Terán M., Romero D. & Meneses O. (2017). Estudio de la biodegradabilidad aeróbica de polietileno mediante compostaje con aditivos degradables. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Facultad de Ciencia

APÉNDICES

Apéndice A

Costo de materia prima [Elaboración propia].

Materia Prima	Cantidad mensual (m³)	Costo anual (m³)
Gases	\$ 850,00	\$ 10.200,00

APÉNDICE B

Costo de mano de obra directa [Elaboración propia].

Mano de Obra Directa	Total de Obreros	Salario Mensual	Costo décimo tercero	Costo décimo cuarto	Costo Aportaciones	Salario Anual	Total anual
Técnico Analista	1	\$ 700,00	\$ 700,00	\$ 507,00	\$ 1020,60	\$ 8.400,00	\$ 10.628,10

APÉNDICE D

Costo y depreciación de equipos [Elaboración propia].

Equipos	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Tiempo de vida útil	Depreciación Anual
Analizador de biodegradación	1	\$ 12.000,00	\$ 12.000	10	\$ 1.200,00
Cromatógrafo	1	\$ 45.650,00	\$ 45.650	15	\$ 3.043,33
Balanza	1	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00	10	\$ 180,00
Refrigeradora	1	\$ 460,00	\$ 460,00	10	\$ 46,00
Computadora	1	\$ 489,00	\$ 489,00	3	\$ 163,00
Impresora	1	\$ 120,00	\$ 120,00	3	\$ 40,00
Escritorio	1	\$ 79,00	\$ 79,00	10	\$ 7,90
Sillas de escritorio	2	\$ 44,00	\$ 44,00	10	\$ 8,80
TOTAL			\$ 60.686,00	-	\$ 4.689,00

APÉNDICE E

Costo de mantenimiento de equipos [Elaboración propia].

Equipos	Cantidad	Costo Unitario	Costo de mantenimiento
Analizador de biodegradación	1	\$ 12.000	\$ 480,00
Cromatógrafo	1	\$ 45.650,00	\$ 1.826,00
Total			\$ 2.306,00

APÉNDICE F

Costos de energía eléctrica [Elaboración propia].

Equipos	Cantidad	Potencia Total por Equipo (kW)	Costo	Tiempo de operación	Kw-h por día	Costo Anual
			(\$/kW-h)	Día (h)		
Analizador de biodegradación	1	1,20	\$ 0,0897	24	28,8	\$ 674,26
Cromatógrafo	1	0,20	\$ 0,0897	24	4,80	\$ 112,38
Refrigeradora	1	0,20	\$ 0,0897	24	4,80	\$ 112,38
Balanza	1	0,22	\$ 0,0897	8	1,80	\$ 41,20
Computadora de escritorio	2	0,44	\$ 0,0897	8	3,50	\$ 82,41
Impresora	1	0,017	\$ 0,0897	8	0,10	\$ 3,18
TOTAL	6	\$ 2,28	-	-	43,82	\$ 1.025,81

APÉNDICE G

Costos indirectos [Elaboración propia].

Servicios	Unidad	Costo/Unidad	Costo por mes	Costo por Año
Energía eléctrica	kw-h	\$ 0,0897	\$ 164,17	\$ 59.922,97
Agua	m3	\$ 0,33	\$ 4,95	\$ 59.40
Total	-			\$ 59.928,37

APÉNDICE H

Flujo de caja [Elaboración propia].

Período	0	1	2	3	4	5
Ingresos						
Ventas anuales		\$ 304.905,55	\$ 309.105,35	\$314.145,11	\$ 319.184,87	\$ 324.224,63
Egresos						
Costos fijos		\$ 83.109,13	\$ 83.109,13	\$ 83.109,13	\$ 83.109,13	\$ 83.109,13
Costos variables		\$ 213.433,88	\$ 216.635,39	\$219.884,92	\$ 223.183,20	\$ 226.530,94
Interés		\$ 6.918,00	\$ 5.829,04	\$ 4.609,40	\$ 3.243,41	\$ 1.713,50
Depreciación		\$ 4.689,03	\$ 4.689,03	\$ 4.689,03	\$ 4.689,03	\$ 4.689,03
Utilidad antes de impuestos		\$ -3.244,50	\$ -1.157,25	\$ 1.852,62	\$ 4.960,10	\$ 8.182,02
Tasa impuesto 25%		\$ -	\$ -	\$ 27,79	\$ 74,40	\$ 122,73
Utilidad Neta		\$ -3.244,50	\$ -1.157,25	\$ 1.824,83	\$ 4.885,69	\$ 8.059,29
Depreciación		\$ 4.689,03	\$ 4.689,03	\$ 4.689,03	\$ 4.689,03	\$ 4.689,03
Inversión	\$ -60.686,00					
Capital de trabajo	\$ -100.062,87					\$ 100.062,87
Préstamo	\$ 57.650					
Amortización		\$-9.074,67	\$-10.163,63	\$ -11.383,27	\$ -12.749,26	\$ -14.279,17
Capital por socios	\$ 103.098,87					
Flujo de caja	\$ -	\$ -7.630,14	\$ -6.631,85	\$ - 4.869,41	\$ -3.174,53	\$ 98.532,03
TIR	62%					
VAN	\$44.456,01					