

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE BIOSISTEMAS

**APLICACIÓN DE ÁCIDO POLILÁCTICO COMO  
EMPAQUES PARA ENSALADAS MÍNIMAMENTE  
PROCESADAS PREVIAMENTE TRATADAS CON  
ACEITES ESENCIALES.**

*Trabajo Final de Graduación para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Agrícola y  
de Biosistemas*

**VALERIA ADI VARGAS TORRES**

**Comité Asesor:**

Beatriz Mazón Villegas, PhD (directora)

Ronny Chaves Mata, Lic. (Lector)

Ana María Quirós Blanco, Lic. (Lector)

José Rafael González Méndez, Lic., MBA (Invitado)

Marta Montero Calderón, PhD (Invitada)

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

2023

Trabajo Final de Graduación sometido a revisión por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas de la Facultad de ingeniería, Universidad de Costa Rica, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola y de Biosistemas



---

**Ing. Valeria Adi Vargas Torres**

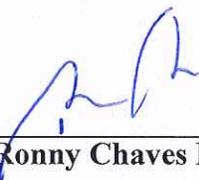
Candidata



---

**Ing. Beatriz Mazón Villegas, Ph. D.**

Directora, Comité Asesor



---

**Ing. Ronny Chaves Mata.**

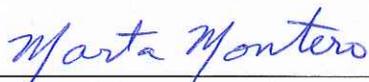
Miembro, Comité asesor



---

**Ing. Ana María Quirós Blanco.**

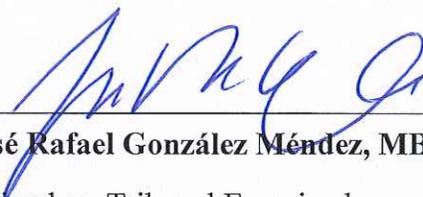
Miembro, Comité asesor



---

**Ing. Marta Montero Calderón, Ph. D**

Presidenta, Tribunal Examinador



---

**Ing. José Rafael González Méndez, MBA**

Miembro, Tribunal Examinador

# DEDICATORIA

---

*A Dios.*

*A mis abuelos, Tita Vera, Tita Tere, Tito y Abuelo.*

*A mis padres Iliana y Bryam.*

# AGRADECIMIENTOS

---

*A la directora y guía de este proyecto, Beatriz Mazón Villegas, por siempre estar para dar soporte, apoyo y consejo durante la formación académica. Por todas sus enseñanzas y paciencia para poder culminar y desarrollar de manera satisfactoria este trabajo.*

*A Ana María Quirós y Ronny Chaves por aceptar acompañarme como guías profesionales en el desarrollo de este trabajo.*

*A José Rafael Méndez y todo el equipo de Vegetales Fresquita y la empresa 2050 Empaques Compostables, por todo el apoyo brindado en este proceso, el sustento material y de conocimiento para este proyecto.*

*A Hernán por ser mi apoyo incondicional, por ser la entrega de paciencia, amor y motivación que siempre necesite durante todo este proceso.*

*A mi hermana Mariana, por su acompañamiento y motivación durante todo este proceso.*

*A Ensio, por toda la ayudada brindada y estar siempre al servicio en los laboratorios.*

*A mis compañeras y compañeros de carrera, que se convirtieron en amigos para toda la vida.*

*Monse, Yeimy, Silvia, Paula y Stef, por todas las vivencias durante los años de universidad y todos los obstáculos y logros que atravesamos juntas.*

*A Fernando, Pablo y Felipe por ser amigos incondicionales por siempre estar ahí para escucharme, apoyarme y aconsejarme.*

*A toda mi familia por siempre apoyarme, creer en mí y motivarme durante este proceso.*

*A la Universidad de Costa Rica por la oportunidad de estudiar y hacerme crecer como persona.*

*A la Escuela de Ingeniería de Biosistemas y sus profesores por todo el conocimiento y aprendizaje brindado.*

# ÍNDICE GENERAL

---

I.	LISTA DE CUADROS.....	8
II.	LISTA DE FIGURAS.....	9
III.	ABREVIATURAS.....	11
1	INTRODUCCIÓN .....	12
1.1	Antecedentes de la empresa. ....	12
1.2	Situación actual del uso de empaques compostables. ....	12
1.3	Aplicación de aceites esenciales en la industria de alimentos. ....	14
1.4	Objetivos .....	15
1.4.1	Objetivo general.....	15
1.4.2	Objetivos específicos .....	15
2	MARCO TEÓRICO.....	16
2.1	Vegetales mínimamente procesados .....	16
2.1.1	Generalidades.....	16
2.1.2	Ensaladas mixtas precortadas .....	17
2.1.3	Operaciones unitarias del procesamiento mínimo .....	19
2.2	Propiedades fisicoquímicas de los vegetales mínimamente procesados.....	21
2.2.1	Color .....	21
2.2.2	Acidez .....	22
2.2.3	Pérdida de peso .....	22
2.2.4	Apariencia.....	23
2.2.5	Respiración y transpiración.....	23
2.3	Empaques en los alimentos .....	25
2.3.1	Empaques compostables .....	25
2.3.2	Economía circular de los empaques compostables.....	26
2.3.3	Ácido poliláctico (PLA) como material de empaque .....	28
2.3.4	Interacciones empaque alimento.....	29
2.4	Permeabilidad al vapor de agua .....	30
2.4.1	Norma ASTM E96-00.....	31
2.5	Aceites esenciales.....	33

2.5.1	Actividad microbiana de los aceites esenciales .....	33
2.5.2	Aceite esencial de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ) .....	35
2.5.3	Aceite esencial de naranja ( <i>Citrus sinerensis</i> ) .....	35
2.5.4	Aceite esencial de limón ( <i>Citrus limon</i> ) .....	36
2.6	Evaluación sensorial.....	37
2.6.1	Pruebas hédonicas.....	38
3	METODOLOGÍA.....	39
3.1	Evaluación de los parámetros fisicoquímicos .....	39
3.1.1	Preparación de muestras .....	39
3.1.2	Diseño experimental para las evaluaciones de las propiedades fisicoquímicas .....	41
3.1.3	Determinación del comportamiento de la pérdida de peso versus tiempo.....	43
3.1.4	Determinación de pH .....	43
3.1.5	Determinación y análisis de la composición de gases en la atmósfera interna de cada empaque.....	44
3.1.6	Determinación y análisis del gradiente de color .....	45
3.1.7	Evaluación de la apariencia física y los daños.....	45
3.1.8	Análisis estadístico.....	47
3.2	Evaluación sensorial del producto terminado .....	47
3.2.1	Diseño y preparación del panel sensorial.....	47
3.2.2	Análisis estadístico.....	50
3.3	Evaluación de la interacción e integridad de los empaques compostables .....	50
3.3.1	Diseño experimental de la evaluación de la permeabilidad al vapor de agua .....	50
3.3.2	Determinación de la tasa de transmisión de vapor.....	51
3.3.3	Determinación de permeabilidad de vapor de agua.....	52
3.4	Análisis multicriterio.....	53
4	RESULTADOS.....	57
4.1	Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos de las ensaladas mixtas precortadas durante el almacenamiento .....	57
4.1.1	Comportamiento de la pérdida de peso.....	57
4.1.2	Comportamiento del pH durante el almacenamiento.....	62
4.1.3	Interacción de la composición de los gases en la atmósfera interna del empaque .	67
4.1.4	Gradiente de color.....	71
4.1.5	Apariencia y pardeamiento enzimático.....	75
4.2	Análisis sensorial del producto terminado .....	78

4.3	Propiedades de barrera de los empaques compostables .....	84
4.3.1	Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua.....	84
4.4	Análisis multicriterio.....	88
5	CONCLUSIONES .....	95
6	RECOMENDACIONES.....	97
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
8	ANEXOS .....	109

## RESUMEN

---

Las tendencias actuales del mercado exigen productos convenientes, nutritivos, naturales y con una alta reflexión medioambiental. El consumo de productos mínimamente procesados ha tenido un aumento significativo en las últimas décadas, posicionándose en una de las industrias alimentarias más importantes. Además, el impacto negativo de los empaques utilizados en estas industrias hace necesaria la aplicación y búsqueda de materiales sostenibles basados en derivados de los recursos naturales. La aplicación de ácido poliláctico (PLA) como material de empaque compostable se evaluó para ensaladas mínimamente procesadas tratadas previamente con aceites esenciales.

Primero, se determinó el efecto en los parámetros fisicoquímicos de ensaladas mínimamente procesadas empacadas en dos tipos de empaques compostables (ácido poliláctico de  $40\mu m$  y Classpack (combinación de  $32 g/m^2$  de papel Kraft con  $20 \mu m$  de ácido poliláctico) y el tratamiento previo con tres tipos de aceites esenciales, limón (*Citrus limon*), naranja (*Citrus sinerensis*) y romero (*Rosmarinus officinalis*). Como parámetros se evalúan la pérdida de peso, la interacción de los gases oxígeno ( $O_2$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el pH, la apariencia visual y el cambio de color; en un periodo de almacenamiento de 10 días. Luego, se evaluó el agrado y la percepción sensorial de la aplicación los tres tipos de aceites esenciales en las ensaladas. Para esto se contó con la participación de 66 panelistas no entrenados quienes calificaron el nivel de agrado de las ensaladas con una escala hedónica. Por último, la propiedad de barrera de los materiales de empaque al vapor de agua se analizó siguiendo el procedimiento de la norma ASTM E-96.

El empaque que presentó una mayor pérdida de peso durante el almacenamiento es el Classpack  $20 \mu m$ . El aceite de romero para ambos empaques es el que presenta una menor variación en el peso. El empaque Classpack  $20 \mu m$  presentó un mayor consumo de  $O_2$  y una mayor producción de  $CO_2$ ; por ende, una tasa respiratoria mayor con respecto a los empaques de PLA  $40\mu m$ . Un retardo en el cambio de color atribuible al uso de aceites esenciales se evidenció en especial en el tratamiento con aceite esencial de naranja. La aplicación de aceites esenciales tiene un efecto positivo sobre la oxidación de los productos que componen las ensaladas mixtas precortadas, lo que permite que se conserve el pH. Los principales efectos que determinaron las pérdidas en la apariencia visual fueron el marchitamiento, deterioro y daño mecánico por el corte. Además, se obtiene que las muestras empacadas en Classpack  $20 \mu m$  presentan un mayor deterioro con respecto a las empacadas en PLA  $40 \mu m$ .

La evaluación sensorial determinó que la mayor aceptación a nivel de consumidores se obtuvo para el tratamiento con aceite esencial de naranja reportando valores de (7,9) y el aceite con menor aceptación (6,80) corresponde al de aceite esencial de romero, debido a la percepción de notas sensoriales desagradables al paladar. Los resultados de permeabilidad para Classpack  $20 \mu m$  reportaron  $0,67 \times 10^{-11} gm/m^2sPa$  y para PLA  $40 \mu m$   $1,06 \times 10^{-11} gm/m^2sPa$ . El ácido poliláctico (PLA) debido a sus propiedades de barrera a la permeabilidad del vapor y a la conservación de las propiedades físicas se presentó como un material de empaque alternativo a los plásticos convencionales utilizados en la industria y reutilización para la conservación de ensaladas mixtas precortadas.

## I. LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Descripción de los métodos de ensayo de la norma ASTM E-96 .....	32
<b>Cuadro 2.</b> Tratamientos aplicados a las ensaladas mixtas precortadas.....	42
<b>Cuadro 3.</b> <i>Escala de evaluación de apariencia física de las muestras de ensalada mixta precortada</i> .....	46
<b>Cuadro 4.</b> Diseño de matriz comparativa de criterios y alternativas para metodología AHP .....	54
<b>Cuadro 5.</b> Escala comparativa de Saaty.....	54
<b>Cuadro 6.</b> Comportamiento del pH durante el periodo de almacenamiento según el tipo de empaque compostable (PLA o CP) y el tratamiento con el aceite esencial.....	62
<b>Cuadro 7.</b> Gradiente de color ( $\Delta E$ ) en el producto durante el periodo de almacenamiento para los tratamientos con aceites esenciales y los empaques compostables.....	72
<b>Cuadro 8.</b> Evaluación de apariencia visual de la aplicación de tratamientos de aceites esenciales y empaques compostables en ensaladas mixtas precortadas.....	77
<b>Cuadro 9.</b> Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de los diferentes tratamientos evaluados en el panel sensorial.....	83
<b>Cuadro 11.</b> Resultados gravimétricos de las muestras de los materiales de empaque en las placas de ensayo sometidas al estudio de la permeabilidad del vapor de agua. ....	85
<b>Cuadro 12.</b> Pérdida de peso experimentada por las muestras de los materiales de empaque durante el desarrollo del ensayo de la permeabilidad al vapor de agua.....	86
<b>Cuadro 13.</b> Resumen de los cálculos del ensayo de permeabilidad de vapor para el PLA. ....	87
<b>Cuadro 14.</b> Matriz comparativa de alternativas y criterios para la selección multicriterio de combinación empaque-aceite.....	89
<b>Cuadro 15.</b> Matriz de comparaciones de criterios principales.....	89
<b>Cuadro 16.</b> <b>Vectores promedio de ponderación para criterios</b> .....	90
<b>Cuadro 17.</b> Matriz de comparativa de la pérdida de peso para las alternativas de combinación aceite-empaque. ....	90
<b>Cuadro 18.</b> Matriz de comparativa de pH para las alternativas de combinación aceite-empaque.....	91
<b>Cuadro 19.</b> Matriz de comparativa de cambio de color para las alternativas de combinación aceite-empaque. ....	91
<b>Cuadro 20.</b> Matriz de comparativa de apariencia para las alternativas de combinación aceite-empaque.....	92
<b>Cuadro 21.</b> Matriz de comparativa de sabor para las alternativas de combinación aceite-empaque.....	92
<b>Cuadro 22.</b> Índices de consistencia y ratios de consistencia para los criterios evaluados por las alternativas.....	93
<b>Cuadro 23.</b> Vectores promedio de las alternativas según el criterio. ....	93

## II. LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Cadena de valor de una economía circular.....	27
<b>Figura 2.</b> Montaje prueba de ensayo método ASTM E96-00.....	33
<b>Figura 3.</b> Diagrama de flujo de la preparación de muestras de ensaladas mixtas precortadas ....	40
<b>Figura 4.</b> Empaques compostables de ácido poliláctico (PLA) utilizados para el almacenamiento. ....	42
<b>Figura 5</b> Proceso de medición de pH de las ensaladas mixtas precortadas. ....	44
<b>Figura 6.</b> Medición de composición de gases en las ensaladas mixtas precortadas. ....	45
<b>Figura 7</b> Representación de escala visual de apariencia física y daños en las ensaladas .....	46
<b>Figura 8</b> Muestras de panel sensorial virtual informal. ....	48
<b>Figura 9</b> Escala de evaluación del sensorial de las ensaladas tratadas con aceites esenciales. ...	49
<b>Figura 10</b> Preparación y almacenamiento de muestras para evaluar la permeabilidad al vapor mediante la norma ASTM E-96.....	51
<b>Figura 11</b> Estructura jerárquica del análisis multicriterio del Proceso Analítico Jerárquico (AHP).....	53
<b>Figura 12</b> Comportamiento de la pérdida de peso para los diferentes tratamientos de aceites esenciales (naranja, romero y limón) en las ensaladas almacenadas en empaques compostables (Classpack y PLA) .....	58
<b>Figura 13</b> Comportamiento de la pérdida de peso (g) para los empaques compostables (Classpack 20 $\mu$ m y PLA 40 $\mu$ m) en los diferentes tratamientos con aceites A) Aceite esencial de limón, B) Aceite esencial de Naranja C) Aceite esencial de Romero D) Muestras testigo.....	59
<b>Figura 14</b> Análisis de diferencias significativas de la pérdida de peso para los diferentes tratamientos empacados en empaque de Ácido Poliláctico (PLA).....	60
<b>Figura 15</b> Análisis de diferencias significativas de la pérdida de peso para los diferentes tratamientos empacados en empaque Classpack (CP).....	61
<b>Figura 16</b> Análisis de diferencias significativas de la pérdida de peso para los empaques compostables (Classpack y PLA) en función del tiempo de almacenamiento. ....	62
<b>Figura 17</b> pH versus tiempo para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo.....	63
<b>Figura 18</b> Análisis de varianza estadística para el comportamiento del pH en empaques Classpack 20 $\mu$ m.....	64
<b>Figura 19</b> Análisis de varianza estadística para el comportamiento del pH en empaques de PLA 30 $\mu$ m .....	65
<b>Figura 20</b> Comportamiento del pH para los empaques compostables bajo el tratamiento de aceite esenciales A) limón, B) Naranja, C) Romero y D) Muestra Testigo.....	66
<b>Figura 21</b> Concentración de gases (% CO <sub>2</sub> y % O <sub>2</sub> ) en el periodo de almacenamiento para los empaques de Classpack 20 $\mu$ m y PLA 40 $\mu$ m para cada tratamiento con aceite esencial (naranja, limón y romero). ....	68
<b>Figura 22</b> Consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono, en cada tratamiento con aceite esencial (naranja, limón y romero).....	69

<b>Figura 23</b> Consumo de oxígeno (%O <sub>2</sub> ) para los empaques de Classpack 20 μm y PLA 40 μm para cada tratamiento con aceite esencial (naranja, limón y romero).....	70
<b>Figura 24</b> Comportamiento del parámetro de luminosidad (L*) en los tratamientos de aceites esenciales para el empaque de ácido poliláctico (PLA).....	73
<b>Figura 25</b> Comportamiento del parámetro de luminosidad (L*) en los tratamientos de aceites esenciales para el empaque Classpack (CP). .....	73
<b>Figura 26</b> Comportamiento del parámetro de color verde-rojo (a*) en los tratamientos de aceites esenciales para el empaque de ácido poliláctico (PLA).....	74
<b>Figura 27</b> Comportamiento del parámetro de verde-rojo (a*) en los tratamientos de aceites esenciales para el empaque Classpack (CP). .....	75
<b>Figura 28</b> Comportamiento de apariencia visual de las ensaladas mínimamente procesadas en cada tratamiento con aceite esencial (naranja, limón y romero). para los empaques de Classpack 20 μm y PLA 40 μm. ....	76
<b>Figura 29</b> Comparación de la apariencia visual de la muestra testigo con las muestras tratadas con aceite esenciales en empaques de PLA. ....	77
<b>Figura 30</b> Valoración global de los consumidores por muestra para la escala hedónica.....	78
<b>Figura 31</b> <i>Valoración hedónica del para las muestras tratadas con aceite esencial de limón. ..</i>	79
<b>Figura 32</b> <i>Descriptorios sensoriales percibidos por los consumidores para muestras tratadas con aceite esencial de limón, según la evaluación CATA. ....</i>	80
<b>Figura 33</b> Valoración hedónica de número de panelistas para las muestras tratadas con aceite esencial de naranja. ....	81
<b>Figura 34</b> <i>Descriptorios sensoriales percibidos por los consumidores para muestras tratadas con aceite esencial de naranja, según la evaluación CATA.....</i>	81
<b>Figura 35</b> Resultados de valoración hedónica para muestras tratadas con aceite esencial de romero. ....	82
<b>Figura 36</b> <i>Descriptorios sensoriales percibidos por los consumidores para muestras tratadas con aceite esencial de romero, según la evaluación CATA.....</i>	83
<b>Figura 37</b> Medias de calificación de agrado general tratamientos evaluados en panel sensorial.	84
<b>Figura 38</b> Comportamiento de la pérdida de peso versus tiempo para el empaque de Classpack (20um).....	86
<b>Figura 39</b> Comportamiento de la pérdida de peso versus tiempo para el ensayo de la permeabilidad del empaque de PLA (40um). ....	87
<b>Figura 40.</b> Priorización según el análisis multicriterio para las alternativas de combinación de empaque-aceite. ....	94

### III. ABREVIATURAS

<b>A1</b>	Aceite esencial de Limón.
<b>A2</b>	Aceite esencial de Naranja.
<b>A3</b>	Aciete esencial de Romero.
<b>AE</b>	Aceites esenciales.
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
<b>B1</b>	Empaque ácido poliláctico (PLA) 30µm.
<b>B3</b>	Empaque ácido poliláctico Classpack 20 µm.
<b>CIE</b>	Comission Internationale de l' Eclairage (Comisión Internacional de Iluminación).
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono.
<b>H<sub>2</sub></b>	Hidrógeno.
<b>ISO</b>	International Organization of Standardization (Organización Internacional de Normalización).
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxígeno.
<b>PLA</b>	Acido poliláctico (Polylactic Acid).
<b>PVA</b>	Permeabilidad de Vapor de Agua.
<b>T</b>	Muestras Testigo.
<b>TVA</b>	Transmisión de Vapor de Agua.

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes de la empresa.

Este estudio analiza la aplicación de empaques compostables de ácido poliláctico (PLA), comercializados por la empresa 2050: Empaques Compostables, en ensaladas mínimamente procesadas tratadas previamente con aceites esenciales, principalmente constituidas por zanahoria (*Daucus carota sativus*), lechuga (*Lactuca sativa*) y repollo morado (*Brassica oleracea var capitata f. rubra*), las cuales son elaboradas por Vegetales Fresquita S.A.

Vegetales Fresquita S.A. en unión con la empresa 2050: Empaques Compostables desarrolla la aplicación e investigación de empaques compostables en diferentes productos frescos. Surge la necesidad de una búsqueda de alternativas para la preservación de la vida útil y el empaque para el almacenamiento comercial de productos agrícolas usados en la elaboración de ensaladas mixtas mínimamente procesadas comercializadas en empaques compostables de PLA.

Por lo tanto, se presenta la necesidad de determinar el efecto de los empaques y los aceites esenciales sobre las condiciones de almacenamiento de las ensaladas mínimamente procesadas. Además, se identifica la necesidad de evaluar las propiedades de barrera del empaque de PLA en la interacción empaque-alimento por medio de parámetros de permeabilidad del empaque en cuanto a vapor de agua y gases (hidrógeno (H<sub>2</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)). La solución de estas necesidades ayuda en la búsqueda de nuevas alternativas de empaques que brinden la atmosfera adecuada y así aumentar la vida útil del producto.

Este proyecto incluye la aplicación de materiales derivados de fuentes biológicas alternativas, como el PLA utilizado en empaques para ensaladas mínimamente procesadas. Además, estos productos presentan un valor agregado debido al tratamiento previo con aceites esenciales. En consecuencia, este sistema de empaque se presenta como una alternativa que protege el producto y extiende su vida útil

## 1.2 Situación actual del uso de empaques compostables.

El consumo de alimentos vegetales ha tenido un aumento significativo en los últimos años debido principalmente a las propiedades beneficiosas para la salud. Estudios han demostrado que el consumo de vegetales se relaciona con la disminución de enfermedades y padecimientos. Debido a estas ventajas los consumidores buscan incorporar en sus dietas estos productos que

tienen componentes de origen vegetal y las empresas se encuentran en el desarrollo de productos novedosos y atractivos para incorporar los vegetales [1].

Debido al impulso mundial actual por un estilo de vida más saludable, se ha conducido a la creciente demanda de alimentos frescos, convenientes, sin aditivos y de fácil consumo. La tendencia por adquirir alimentos preparados ha incrementado, y las hortalizas empacadas listas para consumir no son la excepción [2]. Se asocian a esta tendencia el poco tiempo disponible que se tiene para la preparación de comidas saludables, y cómo estos productos dan alternativas para hacer esta actividad más sencilla [3]. Los alimentos mínimamente procesados son productos en los que se ha realizado un proceso corto, de poca transformación y de poca magnitud para alargar su vida útil o facilitar su preparación para el consumidor final sin afectar su cualidad de frescura [4].

Los alimentos naturales, se pueden identificar debido a su corta vida útil y su clasificación como perecederos, lo cual genera una alteración en las propiedades y la calidad de los alimentos. Como resultado de las mejoras en las prácticas agrícolas y de procesamiento se da un enfoque en el procesamiento de una producción de alimentos con una alta calidad y disponibles para los consumidores [3]. Por lo tanto, nace la necesidad de investigar en alternativas que permitan conservar la calidad de los alimentos y su vida útil comercial. También existe un interés en proporcionar a la industria medios eficaces para la conservación de alimentos y sus propiedades [5].

El material de empaque es uno de los factores que influyen directamente en la calidad de un alimento y cualquier interacción que se ejecute en su entorno [6]. Actualmente, el uso de empaques se ha convertido en una necesidad básica para los productos a comercializar, cumpliendo con funciones como contener, transportar, proteger, regular, preservar y almacenar [7]. Las preferencias y expectativas de los consumidores por los empaques han aumentado más allá de sus funciones básicas, sino que también influyen en la prolongación de la vida útil y actúan como indicadores de calidad [8].

Los plásticos utilizados generalmente para el envasado de alimentos se pueden dividir en dos categorías: los plásticos sintéticos, a base de petróleo y los biológicos, a base de materias primas biodegradables [7]. Aproximadamente un 42% de la producción de plástico mundial se destina a la producción de empaques y embalaje [9]. El plástico es un material común para el empaque de

productos agrícolas como frutas, verduras y tubérculos, además de otra gama de productos como lácteos, productos cárnicos y granos [7].

Los materiales plásticos poliméricos son los más utilizados en la industria de empaques debido a su bajo costo de producción, flexibilidad en el moldeado y buena resistencia a diversos factores ambientales y mecánicos. Sin embargo, existe una preocupación medioambiental por la duración para degradarse [8]. Para el 2016 el plástico tuvo una producción exponencial de 335 millones de toneladas, para las cuales se estima que si la tendencia de uso por este material continúa, en el 2050 se tendrá una producción cinco veces mayor [9]. Los polímeros a base de petróleo son una fuente de desechos y contaminación; en consecuencia generan un alto porcentaje de los desechos plásticos no ecológicos. Además, una pequeña fracción del total se utiliza para el reciclaje, por lo que el resto se acumula en vertederos y se desprende al ambiente [10].

La creciente preocupación por la salud y reflexión medioambiental por la contaminación de los envases de plástico ha llevado a la innovación de biopolímeros biodegradables [8]. Los biopolímeros son plásticos biodegradables de base biológica los cuales pueden ser producidos por: polímeros de celulosa, almidón, polímeros producidos por fermentación y polimerización o polímeros producidos por la acción de bacterias [9]. Estos han recibido una gran atención como sustitutos de empaques ordinarios. Entre algunos polímeros dentro de esta clasificación se pueden destacar el ácido poliláctico (PLA, por sus siglas en inglés: polylactic acid), este material se ha destacado como el polímero más prometedor para aplicaciones alimentarias [11].

### **1.3 Aplicación de aceites esenciales en la industria de alimentos.**

Los consumidores prefieren alimentos que posean una larga vida útil en donde se busca reducir pérdidas y desperdicios, que sean inocuos y además sean libres o contengan bajos niveles de preservantes sintéticos. A los preservantes químicos se le atribuyen efectos cancerígenos y tóxicos que ponen en duda la seguridad alimentaria [12]. La industria de procesamiento mínimo de frutas y hortalizas necesita una selección adecuada de materias primas y el funcionamiento de estrategias sostenibles mejoradas para reducir las pérdidas y proporcionar productos básicos, seguros y de alta calidad [1]. La demanda de aditivos naturales se ha intensificado con el fin propiciar alimentos seguros y naturales [13].

Los aceites esenciales son líquidos incoloros constituidos por compuestos aromáticos y volátiles presentes en diferentes partes de las plantas [14]. Son utilizados comúnmente en la industria alimentaria como saborizantes; además se consideran un conservante de alimentos eficaz y de origen vegetal. La composición que poseen les permite desempeñar un papel clave en la seguridad alimentaria sin afectar la calidad. Como aditivo alimentario poseen una amplia gama de aplicaciones y desarrollo de una perspectiva prometedora [15]. Debido al aroma, sabores y contenido antimicrobiano natural, los aceites esenciales son utilizados en la industria alimentaria principalmente para la conservación de alimentos [12]. En comparación con los conservantes químicos, los aceites esenciales tienen efectos antimicrobianos, pero también tienen las ventajas que son seguros, no tóxicos y respetuosos con el medio ambiente [15].

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar el uso de empaques compostables (ácido poliláctico (PLA) y Classpack ®) y la aplicación de aceites esenciales sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de las ensaladas mínimamente procesadas durante su almacenamiento.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar el efecto del tipo de empaque y aceite esencial aplicado sobre los parámetros de calidad de ensaladas mínimamente procesadas durante su almacenamiento.
- Evaluar la aplicación de los aceites esenciales y el tipo de empaque sobre las características sensoriales de las ensaladas mínimamente procesadas.
- Evaluar la propiedad de barrera de permeabilidad de vapor de agua de los empaques compostables de ácido poliláctico y almidón en la interacción empaque-alimento.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Vegetales mínimamente procesados

#### 2.1.1 Generalidades

Los productos mínimamente procesados recién cortados, también conocidos como preparados o parcialmente procesados tienen como propósito ofrecer al consumidor vegetales inocuos en cuanto a aspectos químicos y microbiológicos. Además, conservar las cualidades organolépticas del alimento y proveer comodidad a los consumidores en cuanto a la preparación del alimento [16]. Estos alimentos se introducen al mercado en respuesta a las expectativas de alimentación saludable de los consumidores.

Los vegetales mínimamente procesados, también llamados de IV gama son productos parcialmente elaborados que implican procesos previos para garantizar su calidad e inocuidad. La demanda creciente por conservar los alimentos frescos y que puedan ser directamente consumidos sin tener que utilizar tiempo en acondicionamiento, lavado, corte de los vegetales, ha aumentado en los últimos años. Son consumidos generalmente en restaurantes, comedores institucionales y mercados al detalle [17].

En su mayoría, los productos mínimamente procesados pertenecen al grupo de las hortalizas. Generalmente son caracterizados por contener entre 10% y 20% de materia seca, compuestos principalmente por compuestos nitrogenados (1-5%), grasas (0,1-0,3%), fibra (1%) y minerales (1%) [18].

Estos productos ofrecen al consumidor un producto seguro con apariencia similar a un vegetal fresco. Además, al extenderse su periodo de vida útil se mantienen la calidad sensorial y nutritiva [19]. La aplicación exitosa del procesamiento mínimo retrasa la pérdida de nutrientes y cambios indeseables en color, textura, sabor y aroma relacionados con la maduración o el deterioro microbiano [16]. Los vegetales mínimamente procesados son conservados, distribuidos y comercializados asegurando la cadena de frío en un periodo de vida útil de 7 a 10 días. Además, la presentación de estos es amplia ya que pueden cortarse en rodajas, tiras y cubos, dependiendo de la forma y el consumo del producto [20].

En el procesamiento mínimo de vegetales los procesos generales previos requieren de atención y manejo adecuado ya que son los procesos encargados de prevenir daños y

susceptibilidad al deterioro microbiano. Durante las etapas de cosecha, procesamiento, empaque y almacenamiento los productos están expuestos a estrés químico, físico y microbiológico. Estos productos están sujetos a dos tipos de deterioro, tanto daño fisiológico; relacionado con la actividad metabólica o enzimática, y por otro lado el deterioro microbiano, causado por la alteración de células vegetales después del procesamiento [16].

Según las encuestas reportadas en el análisis de consumo de frutas, hortalizas, pescados y mariscos en los hogares costarricenses, realizado por el Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA), entre los productos que presentan un mayor consumo se encuentran, el tomate (12,9%), la papa (12,4%), el repollo (8,1%), la zanahoria (8%), la lechuga (7,8%) y el chayote (5,9%) [21]. En general, estos productos son comprados en su presentación original (como vegetal fresco), así como mínimamente procesados como pelados, troceados o bien rallados. Los más utilizados en las ensaladas mínimamente procesadas son: lechuga, espinacas, zanahoria y repollo.

El consumo de las ensaladas mixtas precortadas ha presentado un ritmo de crecimiento a nivel mundial. La razón del éxito de consumo de estos productos radica tanto en el valor nutricional y de frescura, así como en su valor de conveniencia [22]. Las ensaladas mixtas corresponden a un conjunto de vegetales conformados generalmente por hortalizas disponibles en forma cortada y preenvasada, listas para el consumo [23].

### **2.1.2 Ensaladas mixtas precortadas**

Para el año 2015, el tomate y la papa representaban aproximadamente un 25 % de los vegetales más consumidos por los costarricenses. El repollo, la lechuga y la zanahoria, otros de los principales vegetales consumidos, representaban 8,1%, 8,0% y 7,8% respectivamente. Por lo general estos productos, a excepción del tomate, son comprados tanto en su presentación original como con procesamientos mínimos como pelado, troceado o rallado [21].

La lechuga (*Lactuca sativa L.*) es una planta anual de la familia *Asteraceae*, una conocida variedad de hortaliza de hoja. Las variedades de lechuga se cultivan fácilmente y requieren temperaturas relativamente bajas para evitar una floración rápida [24]. Posee un tallo muy corto y las hojas forman una roseta que varía tanto de tamaño como de forma, textura y color, dependiendo de la variedad que se cultive [25]. Las lechugas en general se caracterizan por tener en su composición altos porcentajes de agua, ~5,1% corresponde al peso seco del producto.

Además, el producto se caracteriza por ser susceptible a la pérdida de agua, debido a que la superficie expuesta al ambiente es amplia, este fenómeno se representa como pérdida de firmeza, turgencia en las hojas y deterioro en la apariencia [3]. Entre los tipos de lechuga más comunes que se producen se encuentran la lechuga iceberg (o arrepollada); comúnmente producida en Costa Rica, la lechuga romana y la lechuga mantequilla [26]. Las principales zonas productoras de lechuga americana están en los cantones de Oreamuno, Cartago, Paraíso, Alvarado, Alfaro Ruiz y Escazú. Los meses de mayor oferta son de julio a noviembre [21]

Otro componente común de las ensaladas mixtas precortadas es la zanahoria (*Dacus carota*) perteneciente a la familia de *Apiaceae*. Esta es una de las hortalizas más populares consumidas y cultivadas a nivel mundial [27]. La raíz primaria hinchada de la zanahoria se come y es una verdura de mercado importante, incluso en áreas tropicales. Las raíces se consumen crudas o cocidas, solas o combinadas con otras verduras. La zanahoria es un alimento de alto contenido de humedad de 90 g/100 g en base húmeda, además se ha convertido en la de más demandada a nivel nutricional debido a su alto contenido en vitaminas y fibra [28]. La zanahoria se cultiva principalmente en la provincia de Cartago, donde se da la producción del 80% de la zanahoria del país. Los principales cantones que la producen son Cartago, Oreamuno y Alvarado; sin embargo, también hay producción en Alajuela [21]

Además, las ensaladas mixtas precortadas también pueden contener repollo. El repollo (*Brassica oleracea var. capitata*) es una verdura popular de *Brassicaceae* con alto valor económico y nutricional que se cultiva ampliamente en todo el mundo. El repollo es de origen mediterráneo y se cree que fue domesticado por primera vez en Europa occidental y desde entonces se ha convertido en una gran parte de las cocinas de todo el mundo. La porción comestible de este vegetal es la cabeza, compuesta por capas compactadas de hojas que vienen en diferentes formas, tamaños, colores y texturas. Las principales variedades de cultivares de repollo incluyen repollo rojo, blanco y col rizada que se pueden preparar de varias maneras para comer [29]

La vida útil de las ensaladas precortadas y envasadas se ve afectada por cambios físicos y químicos. La descomposición de estas incluye diferentes bacterias como *Pseudomonas*, bacterias ácido lácticas, enterobacteriácea, además de hongos y levaduras [17]. Estos factores además de

incluir degradación microbiológica, provocan pardeamiento y ablandamiento enzimático que afecta la calidad sobre el almacenamiento y la vida útil de los productos (22, 23).

La conservación de alimentos mínimamente procesados afronta dos problemas básicos. El primero se asocia al tejido vegetal. Los fenómenos de deshidratación, oxidación, alta tasa de respiración y la actividad enzimática pueden producir un rápido deterioro por lo que deben controlarse. Además, el desarrollo microbiano ocurre principalmente en las superficies más expuestas y en las que hay presencia de jugos celulares [17]

### **2.1.3 Operaciones unitarias del procesamiento mínimo**

Los tejidos de las frutas y vegetales están vivos y por ende responden a los procesos realizados durante su preparación con un aumento en su actividad fisiológica y mayor susceptibilidad al deterioro debido al rompimiento de tejidos y a la exposición a las condiciones ambientales externas. Estas condiciones, favorecen la pérdida de humedad, ablandamiento de tejidos, cambios de color, deterioro enzimático e inocuidad alimentaria. Por lo tanto, la manipulación y procesamiento de alimentos se torna sumamente importante para que estos conserven las características deseadas del consumidor final [25].

La preparación de vegetales mínimamente procesados se divide en operaciones unitarias específicas que deben realizarse adecuadamente para asegurar la calidad, inocuidad y vida útil del producto final. Las operaciones unitarias utilizadas en los vegetales mínimamente procesados corresponden mayoritariamente a operaciones de reducción de tamaño, lavado, desinfección y empaque [30].

Durante la etapa de lavado y desinfección se requiere reducir la carga microbiana, evitar la presencia de suciedad y materia extraña en el producto. Permite remover contenidos celulares que se liberan durante el corte y que pueden afectar desfavorablemente la calidad de los vegetales mínimamente procesados [19]. Los desinfectantes comunes utilizados durante el lavado de frutas y verduras incluyen cloro, dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ), ácidos orgánicos, ozono, peróxido de hidrógeno, agua electrolizada y fosfato trisódico [16]. En este proceso se utilizan soluciones en concentraciones relacionadas a parámetros como concentración, tiempo de contacto, pH, naturaleza del agua y temperatura. La inocuidad en los vegetales mínimamente procesados es una preocupación que ha ido aumentando en las industrias con el paso de los años, debido a que se han reportado varios brotes asociados con este tipo de alimentos [31].

La desinfección de verduras y frutas es un tratamiento destinado a reducir la carga microbiológica presente en forma natural en estos alimentos, o aquella que se incorpora a través de las distintas etapas que ocurren desde su cultivo hasta que el producto se consume [16]. La efectividad del método utilizado para reducir la carga microbiológica generalmente depende del tipo de tratamiento que se utilice, el tipo y la fisiología del microorganismo que se desea reducir, características del alimento como textura, tipo de superficie y otros, el tiempo de exposición, la concentración del desinfectante, así como el pH y la temperatura de la disolución desinfectante [32].

Cuando se realizan operaciones de corte, se genera un aumento de la superficie del producto, que permite que la disponibilidad de nutrientes sea mayor en los vegetales mínimamente procesados, lo cual favorece al crecimiento microbiano, aumentando la probabilidad de contaminación con patógenos como *Escherichia coli* patógenas, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* y *Salmonella sp*, patógenos mayormente asociados con las hortalizas [33].

Las operaciones de reducción de tamaño se logran mediante el troceado, triturado o molienda, aplicando una fuerza que permita funciones de corte, compresión, cizalla e impacto, reduciendo los materiales en partículas más pequeñas. El cortado es una operación que se realiza mediante utensilios o equipos de cuchillas, sierras o alambreas delgadas. Esta operación permite dar forma definitiva al producto. Se disminuyen las posibilidades de conservación debido a la ruptura de los tejidos que ocasiona una elevada tasa de respiración, transpiración y producción de etileno, lo que produce una degradación alta de la calidad. Además, también se exponen los tejidos internos del producto y los hace susceptibles a microorganismos [19]. La tasa de deterioro aumenta debido a la interrupción mecánica que libera fluidos vasculares y celulares ricos en nutrientes. Entre los factores que influyen en las operaciones de cortado se pueden considerar: el tamaño del producto, filo de la herramienta, propiedades mecánicas y madurez del producto que pueden influir en el grado de daño mecánico que pueda sufrir el producto [16]. Además, entre las operaciones de reducción también se encuentra el rallado y pelado de vegetales. El rallado se utiliza para obtener cortes más finos o delgados en diferentes usos de la industria [25]. En la operación de pelado el objetivo primordial consiste en retirar capas externas como la cáscara del producto [34].

## **2.2 Propiedades fisicoquímicas de los vegetales mínimamente procesados**

### **2.2.1 Color**

El color es uno de los atributos de apariencia y calidad más importantes en productos frescos. Generalmente, este atributo se utiliza como un indicador de frescura, estabilidad de almacenamiento, enriquecimiento de nutrientes, contenido de agua y aplicación del proceso en una amplia gama de productos alimenticios [35]. Además, el color de un producto permite realizar una primera evaluación del estado de calidad, esto debido a que, si el aspecto visual de un producto alimentario no es aceptable, otros atributos como el sabor y olor son poco probables considerarse importantes en la elección del producto [36].

El proceso de corte es uno de los principales responsables de la degradación y oxidación de pigmentos como clorofila y carotenoides en hortalizas. Bajo este proceso degenerativo, los comportamientos internos de las células se dañan, liberando compuestos fenólicos en el interior dando como resultado cambios de color de los tejidos, provocando pardeamiento foliar en las hortalizas [37].

Los cambios en el color también se dan como resultado de procesos naturales de pérdida de agua en la superficie, ocasionando que el color sea más opaco. Afectando de tal manera la calidad de los vegetales, limitando su tiempo de vida útil y su comercialización. El cambio en color en las hortalizas es más lenta que en las frutas debido al bajo contenido de polifenoles, y compuestos fenólicos que permiten la maduración temprana. La lechuga es uno de los vegetales mínimamente procesados más presentes en el mercado, sin embargo, la vida útil de este producto es reducida debido al oscurecimiento y deterioro microbiano que sufre durante su almacenamiento y venta

La determinación de color se puede realizar mediante una inspección visual humana o mediante una herramienta especializada para medir color. El dispositivo de medición de color más sencillo consiste en un colorímetro triestímulo el cual consiste en un instrumento que utiliza tres filtros para simular la sensibilidad espectral del sistema visual humano. Mediante este dispositivo se proporcionan directamente coordenadas de color mediante geometrías de medición

estandarizadas [36]. La Comisión Internacional de l' Eclairage (CIE) ha introducido un modelo para describir los colores de forma matemática y objetivo mediante el sistema colorimétrico XYZ, utilizado para desarrollar otros sistemas que definen el espacio de color uniforme como el CIELAB, el cual consiste en uno de los sistemas más utilizados. Este espacio se compone de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , en donde L representa la luminosidad, a representa tonos rojizos para valores positivos y tonos verdes para valores negativos, mientras que el valor de b representa tonos amarillentos para valores positivos y tonos azulados para valores negativos [35].

### **2.2.2 Acidez**

Los principales problemas producidos en los productos de IV gama están directamente relacionados con la perecibilidad. Esta depende de factores internos y externos. Dentro de los principales factores internos se encuentra la acidez. Los vegetales mínimamente procesados han sido calificados como productos altamente perecederos, los cuales presentan rangos de pH por encima de 4,6. Bajo este valor se inhibe el crecimiento bacteriano, sin embargo también es susceptible al desarrollo de microorganismos fúngicos y bacterias acidófilas [1]. La acidez de los productos se mide generalmente por titulación con una solución alcalina adecuada, como el hidróxido de sodio o midiendo el pH con un pHmetro [34].

### **2.2.3 Pérdida de peso**

La pérdida de peso de los productos frescos después de la cosecha influye directamente en su vida útil, calidad y su valor comercial. Este fenómeno se debe a la migración de agua del producto al medio que lo rodea, por lo tanto depende de las condiciones de almacenamiento, empaque y las características fisicoquímicas del producto [38].

En las hortalizas de hoja, como la lechuga, la pérdida de peso es un problema de gran importancia, debido a que el producto está totalmente expuesto al ambiente, y por sus propiedades pierden rápidamente la turgencia y apariencia fresca [26]. Durante el manejo poscosecha de este tipo de hortalizas, estas se ven expuestas a ambientes con y sin refrigeración, con o sin control de la humedad relativa del ambiente que rodea. Esto lleva a pérdidas de peso de la lechuga, que pueden superar un 5-10 % en unos pocos días, con la consecuente pérdida de su vida útil, considerando que este tipo de productos puede tolerar una pérdida de peso máxima de 3-5 % [39]. Asociados al fenómeno de pérdida de peso se presentan cambios indeseables en los

productos como aumento de la tasa de respiración, marchitamiento, reducción de vida útil y aparición de oscurecimientos en las hojas [40].

#### **2.2.4 Apariencia**

Las propiedades visuales de los productos mínimamente procesados son parámetros que definen la calidad total del producto terminado listo para el consumo. Una vez el producto está empacado es posible observar la presencia o ausencia de parámetros físicos que ponen en riesgo la calidad del producto ante el consumidor, tales como: cambios de color, pardeamiento enzimático, bordes amarillentos, opacidad, daños mecánicos y pudrimiento [37].

El análisis de la calidad y la apariencia en productos mínimamente procesados ha sido estudiado a fondo, con el fin de determinar las condiciones de almacenamiento y tratamientos utilizados sean óptimas para un producto de altos estándares.

La textura es un atributo muy importante, y es muy difícil determinar y medir la textura de la fruta y la verdura almacenada. Este atributo se refiere a la sensación del producto en las manos o en la boca. Los atributos de textura pueden describirse en el contexto de la firmeza o dureza, el carácter crujiente, la ternura, la jugosidad, la harinosidad y la dureza, dependiendo del producto [34]. Las diferentes frutas y verduras tienen su tipo de textura específico, y también cambia con el tiempo de almacenamiento y la maduración. Este atributo cambia con respecto al tiempo y se ve influenciado por la composición y estructura de las paredes celulares [41].

La lechuga es un vegetal, que encontrado en procesamiento mínimo atraviesa una vida útil corta debido al deterioro microbiano y al oscurecimiento foliar. Dado que la apariencia es un aspecto muy importante de calidad, las técnicas de análisis de este parámetro resultan muy útiles para predecir el comportamiento de la vida útil de este producto en el almacenamiento [26].

#### **2.2.5 Respiración y transpiración**

La respiración es un proceso muy común y esencial en los productos frescos [41]. Este fenómeno consiste en la degradación total de los sustratos almacenados (generalmente carbohidratos) para producir compuesto como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y energía [42][43]. El metabolismo respiratorio restringe la disponibilidad de oxígeno para el tejido.

Comúnmente el aire está compuesto por 78% de  $\text{N}_2$ , 21% de  $\text{O}_2$ , 0,9% Ar, 0,04%  $\text{CO}_2$  y 0,06 % de otros gases. Bajo la respiración aeróbica de glucosa, se consume una molécula de  $\text{O}_2$

para cada molécula de CO<sub>2</sub> producida. Por lo tanto, el consumo de O<sub>2</sub> o la producción de CO<sub>2</sub> podrían usarse para medir la tasa de respiración. Esta acción puede realizarse mediante un sistema estático en donde se introduce un producto a un peso conocido y se cierra herméticamente en un recipiente (empaque) rígido de volumen conocido durante un tiempo específico. La respiración consumirá O<sub>2</sub> en el recipiente bajando su concentración, y producirá CO<sub>2</sub>, elevando su concentración. Se toman muestras del gas en el contenedor al principio y al final del período de muestreo y se analizan [43].

La transpiración implica la evaporación del agua de las superficies celulares hacia los espacios intercelulares y la difusión de moléculas de agua fuera del tejido u órgano vegetal hacia el aire circundante. La pérdida de agua de frutas y verduras induce estrés hídrico en sus tejidos. Este estrés hídrico puede aumentar o acelerar la senescencia en los productos básicos, probablemente debido a una mayor tasa de desintegración de la membrana celular y fuga de solutos. La pérdida excesiva de agua produce ablandamiento y arrugamiento del producto, pérdida del brillo y oscurecimiento [44].

La transpiración implica la evaporación del agua de las superficies celulares hacia los espacios intercelulares y la difusión de moléculas de agua fuera del tejido u órgano vegetal hacia el aire circundante. La pérdida de agua de frutas y verduras induce estrés hídrico en sus tejidos. Este estrés hídrico puede aumentar o acelerar la senescencia en los productos básicos, probablemente debido a una mayor tasa de desintegración de la membrana celular y fuga de solutos. La pérdida excesiva de agua produce ablandamiento y arrugamiento del producto, pérdida del brillo y oscurecimiento [44].

Los productos vegetales varían su tolerancia a la pérdida de peso, sin embargo, la pérdida de peso permisible antes de que los productos se conviertan en no comercializables oscila entre 3 a 10% del peso del producto. Como regla general, el marchitamiento es visible en aproximadamente la mitad de la cifra total de la pérdida de peso permitida. Esto significa que la mitad de la pérdida de peso permitida comercialmente no es visible. Para la lechuga la pérdida de agua máxima permitida es de 5% [44].

## **2.3Empaques en los alimentos**

### **2.3.1 Empaques compostables**

El empaque de alimentos es la etapa final del proceso productivo y es un componente fundamental en la cadena de suministro [45]. Esta operación proporciona condiciones adecuadas para prevenir daños mecánicos, brindar protección y frenar el deterioro bioquímico en los alimentos mediante la contención [46]. La función principal del empaque es controlar el intercambio de gases y vapores externos para prevenir la interacción microbiana y química. Esta función permite extender la vida útil y garantizar la seguridad alimentaria [47]. Los empaques deben estar diseñados en función de las propiedades y necesidades del producto (características del alimento, los parámetros de calidad, la cadena de distribución y marketing); además en la actualidad deben ser medioambientalmente sostenibles [46].

Los envases para productos hortícolas se clasifican en función del sistema de distribución al que estén destinados, ya sea para consumo unitario, empaques de transporte o bien para carga. El uso de materiales de empaque adecuados para los productos hortícolas es esencial para conservar la vida útil y la calidad de conservación, así como para minimizar las pérdidas posteriores a la cosecha [33]. El uso de materiales favorables y las condiciones de almacenamiento adecuadas contribuyen al retraso de la maduración y senescencia en las frutas y hortalizas.

Los materiales utilizados para empaque de alimentos generalmente son derivados de metales, cerámica, papel o polímeros. Los plásticos derivados de polímeros son el material más aceptado comercialmente para el empaque en la industria del embalaje y para las frutas y hortalizas frescas. Las ventajas de estos materiales en términos de resistencia y propiedades de barrera incluyen beneficios como durabilidad, manejo y coste [48].

Entre estos polímeros se incluyen el tereftalato de polietileno (PET), polietileno de baja y alta densidad (LDPE y HDPE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC) y poliestireno (PS) [49]. El uso de plásticos presenta desventajas como bajas propiedades de transmisión de vapor de agua, restringiendo la ventilación y respiración adecuadas del producto [41]. Además, los materiales convencionales de envasado han mostrado una deficiencia en la expresión de su impacto con la contaminación ambiental que representan consecuencias en el medioambiente

traducidas al calentamiento global [48][41]. A esto se genera la necesidad de fabricación de recursos renovables y alternativos que permitan hacerle frente a esta realidad.

El creciente interés por sustituir productos derivados del petróleo por materiales naturales, económicos y renovables ha generado una conciencia ambiental impuesta a las películas de empaque en diseñar o sintetizar polímeros que sean biodegradables para ser utilizados como materiales de empaque [41]. Para la aplicación en una serie de áreas, como envases y recipientes para alimentos, los beneficios de utilizar materiales de envasado biodegradables son evidentes. Los polímeros biodegradables derivados de azúcares, fibras naturales, recursos forestales renovables y proteínas pueden reducir o reemplazar el uso de materiales de origen fósil, reduciendo así la contaminación causada por los envases de plástico convencionales [50].

Según el nivel de biodegradabilidad así se clasifican los biopolímeros en: compostables, fotodegradables u oxodegradables (oxobiodegradables). Los materiales compostables se definen como biológicamente degradables a través de bacterias que generan dióxido de carbono, compuestos inorgánicos y agua sin dejar restos tóxicos [51].

Los empaques biodegradables se clasifican según el tipo y las características del material. Según su composición pueden estar elaborados con materias primas que contengan almidón como arroz y caña de azúcar, así como alimentos con residuos de ácido láctico como maíz y papa [52]. Un material plástico se define como bioplástico si es de base biológica, biodegradable o bien presenta ambas propiedades [48]. El ácido poliláctico (PLA) y polihidroxialacatos (PHA) son las principales sustancias utilizadas para realizar plásticos biodegradables de base biológica [5].

### **2.3.2 Economía circular de los empaques compostables**

La economía circular busca que se integren procesos cíclicos, circulares y sustentables en las actividades de producción y consumo. El objetivo principal es la prolongación del valor y el uso de recursos, reduciendo al mínimo la generación de residuos [53].

El propósito detrás de este concepto y modelo de economía consiste en mitigar problemas de cambio climático, pérdida de biodiversidad y contaminación por plástico. Su implementación

considera un mejor diseño de productos y sistema económico, generando cadenas de valor aumentadas diferentes a las tradicionales y lineales actualmente utilizadas [54].

Se destacan tres conceptos fundamentales y básicos alrededor de la economía circular. El primero consiste en el diseño de productos que no generen desechos al ambiente, que permitan la reducción y transformación de productos destinándolos a un uso positivo. Como segundo concepto la economía tiene como propósito conservar los productos y materiales en uso a lo largo de la cadena de producción. Además, el tercer propósito consiste en regenerar los sistemas naturales, promoviendo una menor extracción de recursos que generen a su vez valor. En la **Figura 1** se muestra, la forma de actuar de la cadena de una economía circular [54].



**Figura 1** Cadena de valor de una economía circular.

Fuente: Dosmil50 Costa Rica [54]

Los empaques compostables nacen como parte de la conciencia ambiental a la reducción de materiales convencionales de empaque, que impactan de forma negativa al ambiente. Estos materiales son un sustituto apropiado de los plásticos convencionales. Según la Asociación de

Industrias Biodegradables y de Bases Bio (BBIA) se puede llegar a sustituir hasta un 20% de plásticos flexibles y hasta aproximadamente un 5-8% de los envases plásticos convencionales [55].

El uso de empaques compostables representa una gran oportunidad a las aplicaciones utilizadas en la industria de alimentos y bebidas, en donde se aumenta la proporción de residuos orgánicos, recolectados, tratados y reciclados [55].

Desde la perspectiva del uso de los recursos orgánicos, el concepto de economía circular fomenta el uso de todos los subproductos al encontrarle nuevos usos. El compostaje consiste en una solución eficaz y adecuada a la economía circular, con el objetivo de prevenir la contaminación de materiales orgánicos y garantizar que una mayor cantidad de ellos se devuelvan de manera segura al suelo. Este concepto se define como una degradación natural de productos en presencia de oxígeno, que en materia de disposición de residuos se aplica específicamente al tratamiento biológico de degradación al que se someten los residuos orgánicos ordinarios [56].

### **2.3.3 Ácido poliláctico (PLA) como material de empaque**

El ácido poliláctico (PLA) es un producto de la fermentación de materiales de fuentes vegetales como almidones de maíz, arroz y azúcar u otras fuentes que contengan dextrosa. Para producir ácido láctico es necesaria la fermentación de la dextrosa en ácido láctico seguido de una policondensación o bien por medio de una polimerización [57]. Este polímero puede convertirse en bioplástico mediante procesos de fabricación comercial [11].

El PLA pasa por diversos procesos químicos para lograr condensarse [52]. El ácido poliláctico se produce a partir del monómero de ácido láctico (LA), por medio de dos procesos: el primero es la policondensación directa y el otro es la polimerización por apertura de anillos. Mediante la fermentación del azúcar el ácido láctico se convierte en lactida para posteriormente transformarse en PLA [58].

El PLA presenta el comportamiento y las características similares a las de un plástico. Este es procesado en un termoplástico rígido que puede ser cristalino o amorfo, siendo tan versátil que puede manufacturarse obteniendo películas transparentes, fibras, botellas y por sus características organolépticas puede tener aplicaciones en empaques para alimentos. El PLA puede ser naturalmente compostado en humus, CO<sub>2</sub> y agua, ocurriendo una degradación completa en un corto plazo bajo condiciones típicas de compostaje [59]. El PLA es biodegradable en condiciones de compostaje comercial y se descompondrá en doce semanas. Esto lo convierte en una opción más ecológica cuando se trata de plásticos en contraste con los plásticos tradicionales que podrían tardar siglos en descomponerse y terminar creando microplásticos [60].

El proceso de fabricación de PLA también es más respetuoso con el medio ambiente que el de los plásticos tradicionales fabricados a partir de recursos fósiles finitos. Según una investigación, las emisiones de carbono asociadas con la producción de PLA son un 80 % más bajas que las del plástico tradicional [60]. Sin embargo, a pesar de las múltiples ventajas que tiene este material presenta las desventajas de un comportamiento quebradizo, una baja barrera contra gases [61] y distorsiones por temperatura [11]. Además, los envases de plástico PLA pueden ser más caros que sus contrapartes de plástico convencionales debido a la cantidad de pasos necesarios en el proceso de producción. Sin embargo, a medida que el PLA se vuelve más disponible, entran en juego las eficiencias de escala, lo que significa que el costo puede disminuir [60].

#### **2.3.4 Interacciones empaque alimento**

La calidad e inocuidad de los alimentos es un tema relevante que involucra el empaque en la preparación y el almacenamiento de los productos. Según Lee et al. una interacción física podría ser la transferencia de sustancias químicas a través de la interfaz alimento-envase al alimento. Una interacción química podría ser el resultado de la acción corrosiva de un alimento sobre un envase metálico. La contaminación microbiológica de alimentos debido al contacto con materiales de envasado inadecuados podría ser un ejemplo de interacción microbiana. Las interacciones entre los alimentos y los envases incluyen, entre otras la introducción de micro y macroorganismos, gases y vapores, agua y otros compuestos de bajo peso molecular [62].

Las migración es la transferencia de componentes como gases, agua, aroma y sabor del empaque al alimento [63]. La migración se define de acuerdo con la difusión del aditivo en la

matriz del material y su solubilidad en el alimento. Algunos factores por los que se da esta interacción son: naturaleza del alimento, estructura, tamaño y concentración de la sustancia, composición y propiedades del alimento, temperatura, tiempo de contacto, relación entre superficie de contacto y volumen del alimento contenido [64]. La migración puede observarse en ambas direcciones: del envase al alimento y del alimento al envase [65]. En el primer caso, las sustancias de difusión molecular de bajo peso molecular pueden transferirse a los alimentos. En el segundo caso, la migración de sustancias químicas de los alimentos al envase puede acarrear problemas tanto económicos como nutricionales debido a la pérdida de peso y de constituyentes que pueden afectar gravemente las características organolépticas de los alimentos (66, 50).

La permeabilidad es la propiedad que tienen las películas plásticas de permitir el paso de gases o vapores a través de su estructura molecular ya sea hacia adentro o hacia afuera del envase. Bajo esta interacción se permite conocer la velocidad de transmisión de vapor de agua que atraviesa un material  $\left(\frac{g}{m^2}\right)$ . Esta velocidad se determina bajo condiciones específicas de temperatura y humedad relativa [67].

La sorción se refiere cuando el empaque o alimento se exponen a olores indeseables causados por el almacenamiento inapropiado donde son absorbidos por el empaque o bien por el producto. También se puede dar cuando hay una pérdida de olores del producto debido a la permeación del empaque. La transparencia de los empaques alimentarios afecta al producto principalmente cuando la luz a longitudes de onda corta cataliza reacciones adversas como la oxidación de alimentos. En consecuencia, la luz causa efectos como decoloración, pérdida de nutrientes y el desarrollo de malos olores por descomposición [68].

La evaluación de las propiedades de transporte de gases y vapores a través de materiales poliméricos biodegradables ha despertado un gran interés científico y tecnológico en los últimos años. Varias aplicaciones de ingeniería, donde el comportamiento de difusión tiene un gran impacto, son de fundamental importancia desde el punto de vista tecnológico como lo son las estructuras de barrera para el envasado de alimentos [69].

## **2.4 Permeabilidad al vapor de agua**

La permeabilidad del empaque es un factor importante que afecta la vida útil de la mayoría de los alimentos debido al transporte masivo, el vapor de agua y el oxígeno. Se requiere

una baja permeabilidad para aumentar la vida útil de los productos alimenticios sensibles a la humedad y al oxígeno [70] .

La permeabilidad consiste en la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. La permeabilidad de vapor se define como la cantidad de vapor (gramos) que pasa por unida de superficie ( $m^2$ ) de un material de espesor unitario (mm) por unidad de tiempo ( $h$ ) cuando entre sus paredes existe una diferencia de presión unitaria ( $kPa$ ) [71].

Existen dos formas en que las moléculas pequeñas pasan a través de un material sólido. Una es pasando por un pequeño agujero o fuga. La segunda es que la molécula pequeña se abra camino a través del sólido entre los pequeños espacios entre las moléculas (en el caso de polímeros o plásticos) o átomos en la estructura cristalina de sólidos inorgánicos o metales [72]. La velocidad con la que el fluido atraviesa un material depende de cuatro factores básicos: la estructura del material que incluye la porosidad, el tamaño de poros, la sección y el espesor de películas; además, la densidad del fluido, la presión a la que es sometida el fluido y el tiempo de exposición.

Todo material destinado al servicio como película protectora de alimentos, debe de tener un grado de permeabilidad al vapor de agua, para evitar transferencias de humedad y descomposición de los alimentos. Los polímeros naturales poseen una alta permeabilidad al vapor de agua en comparación con los polímeros sintéticos.

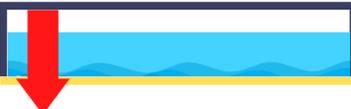
#### **2.4.1 Norma ASTM E96-00**

Dentro del marco normativo de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), la norma ASTM E96-00 es específica para determinar la permeabilidad de vapor de agua en materiales. El objetivo de las pruebas establecidas en esta norma es obtener valores fiables de la transferencia de vapor de agua de materiales permeables y semipermeables, en sus respectivas unidades. Los valores obtenidos a través de estas pruebas tienen utilidad y uso en el diseño, fabricación y comercialización de los materiales.

Básicamente la norma dispone de dos métodos, el método desecante y el método de agua (**Cuadro 1**), para la medición de la permeabilidad, dentro de este último encontramos dos

variaciones en las condiciones de uso, una que moja una cara de la película y la otra que no moja ninguna de las caras de la película. El método debe ser seleccionado según los enfoques de las condiciones de uso.

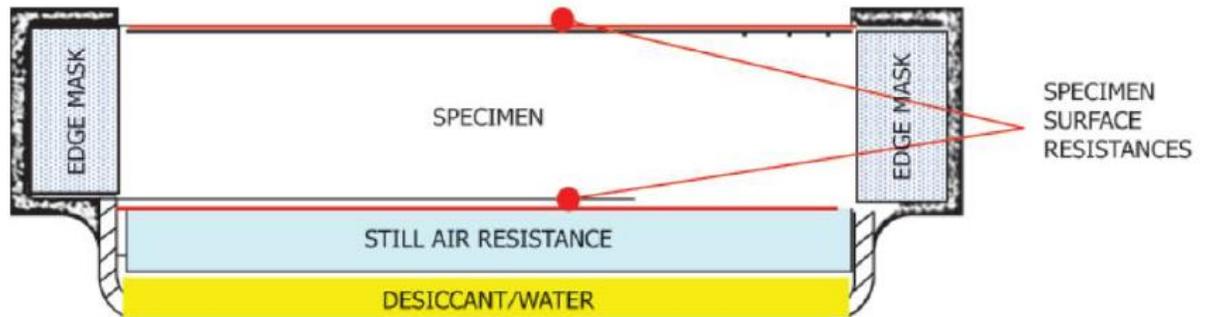
*Cuadro 1. Descripción de los métodos de ensayo de la norma ASTM E-96*

<b>Método</b>	<b>Descripción</b>	<b>Representación gráfica</b>
<b>Desecante</b>	La muestra de prueba se sella en la boca abierta de un tubo o placa de ensayo que contiene desecante (comúnmente CaCl <sub>2</sub> ) y luego se coloca el montaje en una atmósfera controlada.	
<b>Agua</b>	La muestra de prueba se sella en la boca abierta de un tubo o placa de ensayos que contiene agua y luego se coloca el montaje en una atmosfera controlada	
<b>Agua invertida</b>	El procedimiento es igual al método de agua, salvo que en la prueba se coloca el tubo invertido para que el agua esté en contacto con la muestra.	

*Fuente: ASTM, 2015 [73]. \*Figuras elaboración propia*

Las pruebas bajo el método ASTM E96-00 para la medición de la permeabilidad al vapor de agua son realizadas con una película de muestra, la cual se emplea como cierre de un tubo de ensayos, que contiene desecante o agua, luego se coloca el montaje en una atmosfera controlada como se muestra en **Figura 2**. La unidad de prueba se pesa periódicamente y el peso se representa gráficamente como una función del tiempo. La transmisión de vapor de agua se toma

como la pendiente de la curva (en la región lineal) dividida por el área de apertura y, para obtener finalmente el valor que representa la permeabilidad al vapor de agua.



**Figura 2.** Montaje prueba de ensayo método ASTM E96-00.

Fuente: ASTM, 2015 [73]

## 2.5 Aceites esenciales

La Organización Internacional de Normalización (ISO) define los aceites esenciales como un producto obtenido a partir de materia prima natural de origen vegetal, por destilación al vapor, procesos mecánicos de epicario o por destilación seca [74]. Los aceites esenciales son sustancias olorosas y altamente volátiles presentes en las plantas que pueden detectarse tanto por el olfato como por el gusto. Estas sustancias volátiles pueden aislarse mediante destilación al vapor de una planta aromática de una sola especie botánica [75]. Estas sustancias tienen diversas aplicaciones en cosmética y perfumes, así como en aplicaciones medicinales y usos agroalimentarios por sus efectos antimicrobianos y antioxidantes [12].

### 2.5.1 Actividad microbiana de los aceites esenciales

La aplicación de los aceites esenciales como agente antimicrobiano y antioxidante es una tendencia creciente y refleja interés hacia el consumismo verde y prolongación de la vida útil de los alimentos. En este campo los aceites de plantas aromáticas han sido objeto de amplia investigación ya que además de ser un producto natural también han demostrado beneficios en la alimentación y la salud humana. Se han estudiado las propiedades antioxidantes, antimicrobianas

y la forma en que se pueden incluir directamente al alimento o en empaques para preservar su calidad y extender su vida útil [76].

Los compuestos de los aceites esenciales han demostrado tener propiedades que permiten la inhibición microbiana, aumentan la permeabilidad, además evitan la degradación de compuestos celulares. El efecto antimicrobiano de los aceites esenciales se ha demostrado en alimentos como cárnicos, hortalizas [77] y frutas. El extracto de hoja y los aceites esenciales tienen una característica antifúngica, antimicrobiana y antiviral y ya se evalúan a nivel mundial como posibles fuentes de nuevas sustancias antibacterianas y conservantes de alimentos y opciones alternativas para el tratamiento de enfermedades transmisibles [78].

La incorporación de aceites esenciales en los alimentos es un desafío debido a su naturaleza hidrofóbica, fuerte aroma y sabor. El uso de sistemas de aplicación basados en emulsión ha surgido como método eficaz para encapsular los aceites y superar los inconvenientes que puedan presentarse [79]. Esta técnica permite proporcionar una mejor estabilidad y protección además de una mejor liberación de compuestos, minimizar sabores y olores intensos; además, aumentar la vida útil y la biodisponibilidad de los materiales encapsulados. Para obtener sistemas encapsulados se utilizan varias técnicas, entre las más utilizadas se encuentran el uso de una solución emulsificante como base [80]. El uso de extractos de plantas y aceites esenciales (AE) para la conservación de productos frescos está ganando cada vez más interés, en un intento por reducir el uso de agentes desinfectantes químicos que pueden afectar negativamente a la salud humana.

En la industria alimentaria se utilizan alrededor de trescientos AE de interés comercial. Estos son utilizados en alimentos listos para comer, carnes, chocolates y recetas de bebidas, en los cuales el sabor antioxidante, antimicrobiano y agradable de los aceites es un ingrediente clave [81]. Los estudios han demostrado que muchos aceites esenciales son altamente efectivos contra un amplio espectro de bacterias Gram-positivas y Gram-negativas; además, de algunas de las principales bacterias patógenas transmitidas por los alimentos, como *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli*, *Campylobacter jejuni* y *Staphylococcus aureus* [82].

### **2.5.2 Aceite esencial de romero (*Rosmarinus officinalis*)**

El aceite esencial de romero tiene muchas propiedades antimicrobianas, antioxidantes, antiinflamatorias e insecticidas. El romero se ha utilizado desde la antigüedad con fines medicinales, culinarios y ornamentales. Se ha descrito una importante variabilidad química para el perfil volátil del aceite esencial de romero, dependiendo del origen de la planta, entre otros factores [83].

La higiene y las técnicas de producción de alimentos son cada vez más importantes bajo el concepto de seguridad alimentaria (OMS), por lo que se ha requerido la búsqueda de nuevas soluciones que garanticen la seguridad de los alimentos. Se pueden encontrar muchos artículos en la literatura científica sobre la actividad antibacteriana del aceite esencial de romero frente a patógenos transmitidos por los alimentos [84].

El aceite esencial de romero podría ser una fuente importante de antioxidantes naturales y, por lo tanto, una alternativa potencial a los conservantes sintéticos utilizados en la industria alimentaria [83]. Se ha comprobado la actividad antibacteriana del aceite esencial de romero contra 18 géneros de bacterias, la mayoría de las cuales son patógenos alimentarios comunes y bacterias que contribuyen al deterioro de los alimentos, además de ser un inhibidor contra microorganismos patógenos como *E. coli*, *Bacillus cereus* y *Staphylococcus aureus*. Los principales componentes del aceite esencial de romero son eucaliptol (39,6%), alcanfor (19%),  $\alpha$ -pineno (4,8%), timol (52,9%) y p-cimeno (34%) [85].

### **2.5.3 Aceite esencial de naranja (*Citrus sinerensis*)**

La naranja es conocida por sus propiedades nutricionales y medicinales en todo el mundo. Todas sus partes, tanto fruta, jugo, hojas, flores y cáscaras, han sido utilizadas a lo largo de los años como medicina tradicional. Entre sus principales propiedades, este fruto tiene efectos antibacterianos, antifúngicos, antidiabéticos, anticancerígenos y antioxidantes [86].

El aceite esencial de naranja es un agente potencial microbiológico. Según la norma ISO-3140:2019 el principal componente del AE de naranja es el Limoneno (93-96%). Además, como parte de sus componentes principales también está  $\alpha$ -Pineno (0,8%),  $\beta$ - Pineno (0,15%), sabineno (1%), mirceno (1,5-3,5 %) y en menor proporción n-Octanal, n-Nonanal, n-Decanal, neral, geranial, entre otros [87].

Los aceites esenciales cítricos tienen un amplio espectro de aplicaciones que van desde aplicaciones en cosméticos, textiles y productos farmacéuticos hasta formulaciones alimentarias [88]. Los antibióticos contra las enfermedades patógenas humanas se están volviendo muy deficientes debido a la creciente resistencia de los microorganismos a los fármacos antimicrobianos. Las investigaciones realizadas a los aceites esenciales cítricos sobre la actividad antibacteriana han dado una respuesta positiva entre los descubrimientos de antibióticos de origen vegetal [89].

El aceite esencial de naranja (*Citrus sinensis*) se ha sometido a análisis antibacteriano contra bacterias patógenas, dos Gram +ve (*S. aureus* y *B. subtilis*) y dos bacterias Gram -ve (*E. coli* y *P. multocida*), mediante un ensayo de difusión discal y se ha detectado que funciona como un agente preservante de las condiciones microbiológicas [88].

#### **2.5.4 Aceite esencial de limón (*Citrus limon*)**

El aceite esencial de limón es obtenido principalmente de la cutícula de la cáscara de limón, o de la destilación completa del mismo. La aplicación de este aceite es mayoritariamente en la industria alimentaria como base fundamental de los sabores cítricos.

La composición química de los aceites esenciales se representa comúnmente de compuestos alifáticos (alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos), monoterpenos, fenil propanos y sesquiterpenos, siendo así, en ocasiones, la mezcla de más de cien compuestos. En el caso del aceite esencial de limón, este se compone aproximadamente de un 2% de sustancias no volátiles [90]. Entre estos según la ISO 2003: 500, el perfil cromatográfico del aceite esencial de limón está compuesto principalmente por Limoneno (63%),  $\beta$ -pineno (12%),  $\gamma$ -terpineno (9%) y otros compuestos secundarios como geranial, neril acetato, citronelal y linanol en menor proporción [91].

En particular, el aceite esencial de limón, como agente bacteriostático natural, con un amplio espectro de actividades antimicrobianas, tiene un excelente efecto antimicrobiano sobre el crecimiento de diversos microorganismos y bacterias cuando se introduce en los materiales de empaque y matriz alimentaria. A pesar de estas propiedades debido a su volatilidad, inestabilidad

térmica y fuerte aroma se ve limitado para la aplicación en la conservación de alimentos [92]. Como solución a estos inconvenientes, la nanotecnología por medio de las nano emulsiones ha aumentado el potencial para utilizar este tipo de aditivos naturales [15].

## **2.6 Evaluación sensorial**

El Instituto de Tecnología de Alimentos (IFT; Institute of Food Technologists), define la evaluación sensorial como la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones de las características de alimentos y otras sustancias que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído [93].

La valoración de un producto alimenticio se percibe a través de uno o de dos o más sentidos. La percepción de cualquier estímulo ya sea físico o químico, se debe principalmente a la relación de la información recibida por los sentidos, denominados también como órganos receptores periféricos, los cuales codifican la información y dan respuesta o sensación, de acuerdo con la intensidad, duración y calidad del estímulo, percibiéndose su aceptación o rechazo. Además de medir la aceptación de un producto, la evaluación sensorial permite también medir el tiempo de vida útil de un producto alimenticio[94].

Las pruebas sensoriales empleadas en la industria de alimentos se dividen en tres grupos: pruebas discriminativas, pruebas descriptivas y pruebas afectivas. Las pruebas discriminativas tienen como objetivo determinar si hay diferencia entre dos o más muestras y generalmente no se interesa ni en cuantificar, ni identificar dichas diferencias. Dentro de estas pruebas discriminativas se pueden aplicar pruebas de diferenciación o también pruebas de sensibilidad al producto. Generalmente son aplicadas para evaluar la influencia de tratamientos y en general para juzgar la homogeneidad del producto [95].

Por su parte las pruebas descriptivas se refieren aquellas donde los jueces establecen los descriptores que definen las características sensoriales de un producto y así cuantifican las diferencias existentes entre varios productos. Consiste en describir el color y el sabor integral de un producto, así como sus atributos individuales. A través de estas pruebas se define el orden de aparición de cada atributo, grado de intensidad de cada uno, sabor residual y amplitud o impresión general del sabor y el olor. Estas pruebas permiten obtener perfiles de sabor y textura de productos a través de técnicas como escalas de atributos, análisis descriptivos y análisis cuantitativos [96].

### **2.6.1 Pruebas hédonicas**

Las pruebas afectivas o hedónicas se refieren al grado de preferencia o aceptabilidad de un producto. Este tipo de pruebas nos permiten tanto, establecer si hay diferencias entre muestras así como también conocer el sentido o magnitud de esta diferencia. Dentro de las pruebas hedónicas se pueden encontrar las pruebas de preferencias y las pruebas de aceptabilidad. La aceptabilidad se refiere al grado de gusto o disgusto de una persona sobre un producto y se basa en una escala de medición. La preferencia por su parte se refiere a la elección entre varios productos sobre la base de gusto o disgusto, entre un conjunto de alternativas [97].

En las pruebas de aceptación, se asume que el nivel de aceptabilidad del consumidor existe en un continuo, no necesariamente hay el mismo nivel de escala entre me gusta mucho y me gusta, que entre me disgusta mucho y me disgusta. Las respuestas están categorizadas en escalas desde gusta a no gusta, también se pueden evaluar otros atributos del alimento por ejemplo: salado, dulce, espeso, aguado, etc. Para el análisis se asigna un valor numérico a cada escala. No se debe buscar otra alternativa o alternativas intermedias, se usa las que están dadas. Generalmente se usan escalas entre me gusta y no gusta, las cuales pueden aumentar o disminuir [93].

Las pruebas hedónicas pueden ser de carácter verbal o facial. Las pruebas hedónicas verbales son aquellas donde el panelista da su informe sobre el grado de satisfacción del producto a través de la escala de satisfacción, ya sea verbal (desde me gusta muchísimo a me disgusta muchísimo con un punto intermedio de no me gusta ni me disgusta) o gráfica (presentación de caritas o figuras faciales). Las pruebas faciales se utilizan cuando la escala tiene un gran tamaño presentándose dificultad para describir los puntos dentro de esta, también se emplea cuando el panel está conformado por niños o por personas adultas con dificultades para leer o para concentrarse. Las escalas gráficas más empleadas son las hedónicas de caritas varias expresiones faciales. Los resultados obtenidos a través de esta prueba cuando se aplica a una población adulta no son muy confiables ya que les resulta ser un tanto infantiles[95].

## 3 METODOLOGÍA

La investigación se dividió tres partes correspondientes a la evaluación de cada uno de los objetivos específicos planteados. En la primera, se evaluó el efecto de dos tipos de empaque constituidos por ácido poliláctico (PLA) y tres tipos de aceite esencial sobre las condiciones de almacenamiento y vida útil de las ensaladas mixtas precortadas. Posteriormente, se realizó un análisis sensorial de la aplicación de los aceites esenciales en ensaladas mínimamente procesadas. Finalmente, se evaluó la permeabilidad al vapor de agua como propiedad de barrera de los empaques. Las evaluaciones se llevaron a cabo en los Laboratorios de Poscosecha y Empaque y de Investigaciones Varias de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas de la Universidad de Costa Rica.

### 3.1 Evaluación de los parámetros fisicoquímicos

#### 3.1.1 Preparación de muestras

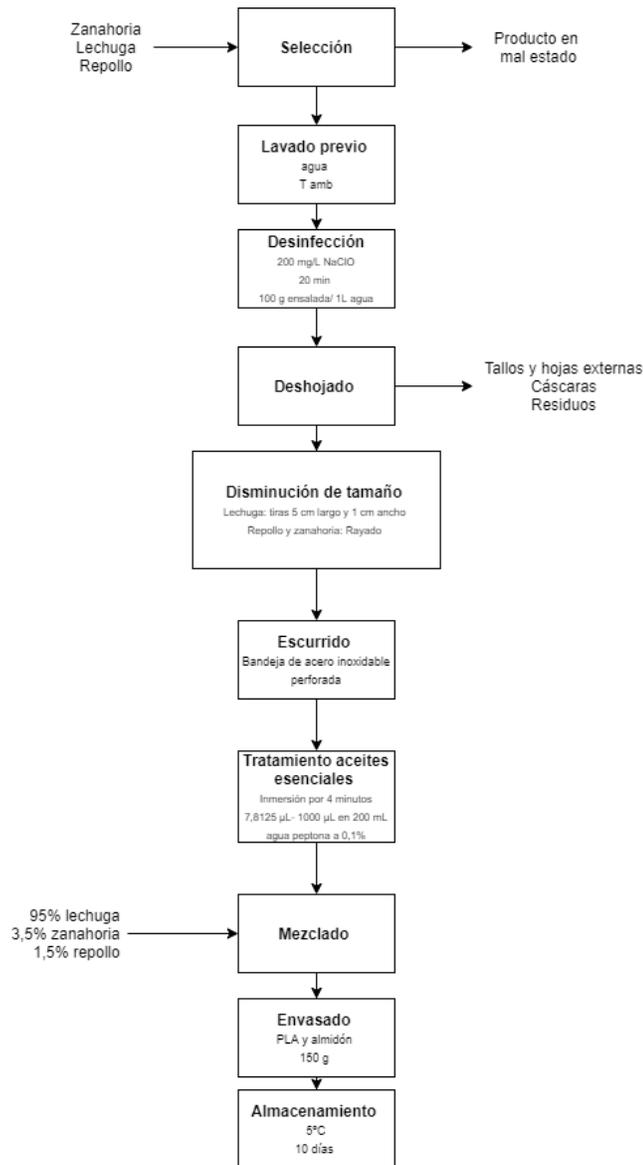
La preparación de las muestras consistió en primer lugar en una selección de la materia prima brindada la cual consiste en lechuga iceberg (*Lactuca sativa var. Capitata*), zanahoria (*Daucus carota*) y repollo morado (*Brassica oleracea var. Capitata f. rubra*). La materia prima fue proporcionada por la empresa Vegetales Fresquita S.A, ubicada en El Guarco, Cartago. A la materia prima se realizó el proceso de IV Gama de Mínimamente Procesados a escala de laboratorio, el cual conlleva las etapas del diagrama de flujo presentado en la **Figura 3**.

Al inicio se realizó una inspección minuciosa del producto y un lavado inicial con únicamente agua para eliminar la suciedad de campo del producto. Una vez finalizado este proceso, se continuó con el tratamiento de desinfección, para el cual se emplearon 50 ppm de hipoclorito de sodio al 3,5% (concentración comercial). Para este proceso se determinó la dosis de solución a usar mediante la ecuación (1)

$$D = V_a \cdot \frac{ppm * 100}{\%C * 1000} \quad (1)$$

Donde  $D$  corresponde a la dosis de cloro en ml,  $V_a$  el volumen de agua en litros,  $ppm$  representa las partes por millón empleadas para tener un efecto desinfectante y  $\%C$  representa la concentración comercial de cloro utilizada.

Posteriormente, se realizó el corte del producto. Las lechugas se cortaron en trozos de ~3 a 5 cm de ancho. La zanahoria se peló y se rayó con un rayador convencional. El repollo se rayó con una mandolina para obtener el producto en forma de tiras. A partir de esto se hizo una mezcla de 95% de lechuga, 3,5% de zanahoria y 1,5% de repollo.



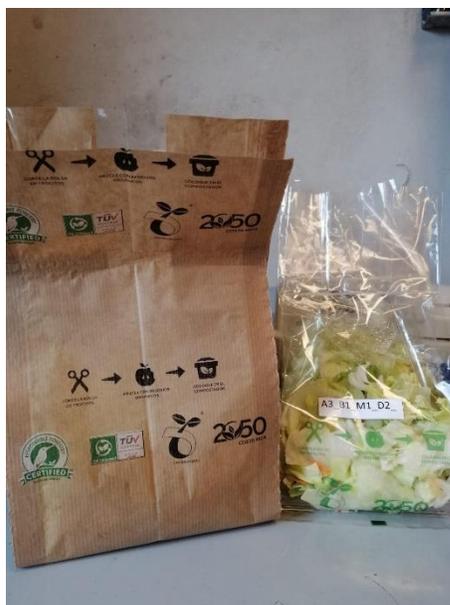
**Figura 3.** Diagrama de flujo de la preparación de muestras de ensaladas mixtas precortadas  
Fuente: Elaboración propia.

Para el tratamiento con aceites esenciales se utilizaron tres esencias de grado alimenticio (*Astek*) de limón (*Citrus limon*), naranja (*Citrus sinensis*) y romero (*Salvia Rosmarinus*). Se preparó una solución de 156,25  $\mu\text{l/l}$  de aceite esencial y Polisorbato 80 (Tween 80) al 4% de la solución. Se aplicó un tiempo de inmersión de 5 minutos para cada uno de los tratamientos. Finalmente, el producto se centrifugó mediante un escurridor de vegetales antes de proceder al empaque.

El empaque de las muestras se realiza como se describe en la sección 3.1.2, mediante atmósferas modificadas pasivas. Estas se obtienen cuando se alcanza el equilibrio entre la respiración de las ensaladas empacadas y la permeabilidad del material de los empaques utilizados.

### **3.1.2 Diseño experimental para las evaluaciones de las propiedades fisicoquímicas**

Como parte del diseño experimental en total se empacaron 100 muestras de ensalada mixta precortada de ~130 g cada una, simulando la cantidad de masa promedio utilizada para comercializar el producto. De estas, 50 muestras se empacaron en bolsas de PLA de 40  $\mu\text{m}$  mientras que las otras 50 se empacaron en empaque Classpack Vision Bag (bioenvasado compuesto de PLA y papel tipo kraft) como se muestra en la **Figura 4**. Se prepararon 3 muestras por cada tratamiento y una muestra testigo por cada día de evaluación y tipo de empaque.



**Figura 4.** *Empaques compostables de ácido poliláctico (PLA) utilizados para el almacenamiento.*

*Fuente: elaboración propia.*

La distribución de los tratamientos se muestra en el **Cuadro 2**. Finalmente, se almacenaron las muestras a 5°C durante 10 días. Para cada aceite se trabajó con una misma concentración de 156,25  $\mu\text{l/l}$ . Este procedimiento fue realizado en tres corridas (repeticiones), en diferentes épocas del año con el fin de evitar la variabilidad que pudiese existir en el producto por la época de cosecha.

**Cuadro 2.** *Tratamientos aplicados a las ensaladas mixtas precortadas.*

Factor A	Factor B	Niveles
PLA 40 micras (B1)	Aceite limón (A1)	A1 B1
	Aceite naranja (A2)	A2 B1
	Aceite romero (A3)	A3 B1
	Testigo (T)	T B1
Classpack (B2)	Aceite limón (A1)	A1 B2
	Aceite naranja (A2)	A2 B2
	Aceite romero (A3)	A3 B2
	Testigo (T)	T B2

Las propiedades fisicoquímicas determinantes de la vida útil del producto se analizaron en cinco días de evaluación los cuales corresponden a los días: 1, 3, 6, 8 y 10 del periodo de almacenamiento. Para cada día de evaluación se analizó la composición interna de los gases en el empaque, la textura, el pH, el comportamiento de pérdida de peso y el gradiente de color.

El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar, debido a que las condiciones del experimento fueron a nivel de laboratorio y bajo condiciones controladas de temperatura.

### **3.1.3 Determinación del comportamiento de la pérdida de peso versus tiempo**

Para determinar el comportamiento de la pérdida de peso se utilizó una balanza electrónica *Scout-Pro Ohaus SP202* ( $\pm 0.01$ g), mediante la cual se realiza la medición del peso inicial de las muestras, en el día de preparación y el peso final de las muestras en el día de evaluación correspondiente. A partir de estos valores se determina el porcentaje de pérdida de peso para cada día transcurrido, mediante la ecuación (2).

$$\% \text{ pérdida de peso} = \frac{m_f - m_i}{m_i} \cdot 100 \quad (2)$$

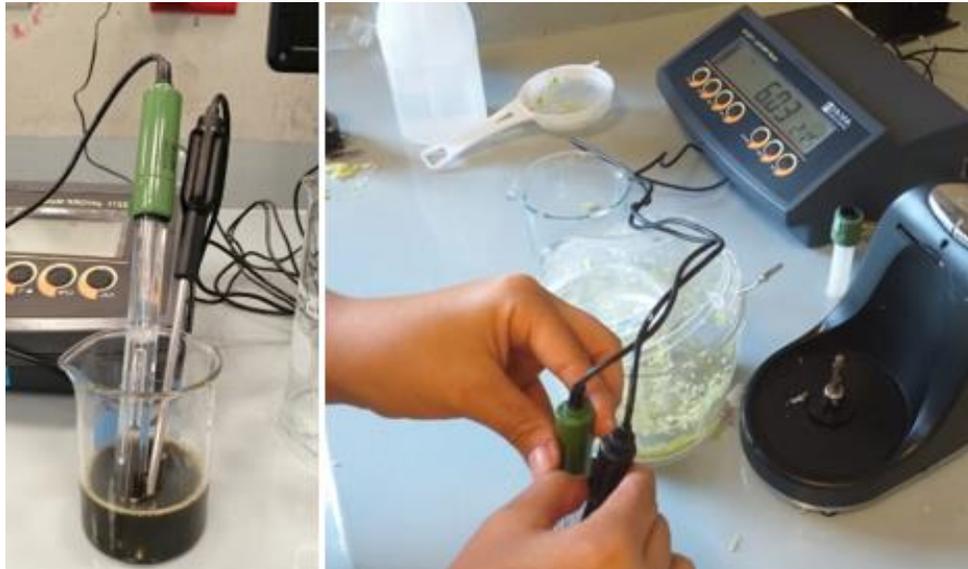
$m_i$  = peso inicial de la muestra en el día de preparación (g).

$m_f$  = peso final de la muestra el día de evaluación (g).

### **3.1.4 Determinación de pH**

El pH se determinó por un método cuantitativo mediante un pH metro *Hanna Instruments HI221*. Las muestras se prepararon como se muestra en la **Figura 5**, se maceró la muestra total con un procesador de alimentos, y posteriormente se filtró utilizando una gasa para poder obtener la parte líquida de la muestra, aproximadamente entre 15-20 ml . Posteriormente, se introduce el

electrodo en cada muestra determinando el pH por potenciometría según el método AOAC 981.12.



*Figura 5* Proceso de medición de pH de las ensaladas mixtas precortadas.

### **3.1.5 Determinación y análisis de la composición de gases en la atmósfera interna de cada empaque**

La determinación de la composición de gases se realizó mediante el analizador de gases *GasSpace Advance GS3*. Este instrumento brindó los porcentajes volumen/ volumen de  $CO_2$  y  $O_2$  para cada una de las muestras de ensaladas. Las lecturas de esta composición se realizan introduciendo una jeringa con sonda en el empaque (*Figura 6*). Posterior a la lectura se determina la composición promedio inicial y la composición promedio el día de medición. A partir de dichas mediciones se determina la permeabilidad de  $O_2$  y  $CO_2$  en los empaques de PLA.



**Figura 6.** Medición de composición de gases en las ensaladas mixtas precortadas.

### 3.1.6 Determinación y análisis del gradiente de color

El color se cuantificó con un colorímetro digital portátil *Konica Minolta CR-10 plus*. La medición de color se basó en la escala CIELab bajo los parámetros  $L$  (luminosidad),  $a$  (rojo a verde) y  $b$  (amarillo a azul). El colorímetro se calibró en blanco ( $L= 95.0$ ,  $a= -0.2$  y  $b= 4.0$ ) antes de su uso. Se realizaron 3 mediciones en distintos puntos de cada muestra para determinar el valor promedio.

A partir los valores obtenidos  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  se determina el gradiente de color mediante la ecuación (3). También se evalúan los cambios totales de cada una de las coordenadas para cada tratamiento.

$$\Delta E = \sqrt{((L^* - L_{inicial})^2 + (a^* - a_{inicial})^2 + (b^* - b_{inicial})^2)} \quad (3)$$

### 3.1.7 Evaluación de la apariencia física y los daños

Para evaluar la apariencia física y los daños basados en el pardeamiento enzimático, se estandarizó una escala visual mediante diferentes estados de la materia prima, a partir de esta se establecieron calificaciones para evaluar y determinar estas propiedades. En la **Figura 7** se

muestra la escala visual utilizada para determinar la apariencia física y el daño en las ensaladas, la cual tiene su respectiva descripción en el *Cuadro 3*



**Figura 7** Representación de escala visual de apariencia física y daños en las ensaladas.

*Fuente: elaboración propia basada en Morales, 2012 [37].*

**Cuadro 3.** Escala de evaluación de apariencia física de las muestras de ensalada mixta precortada.

Escala de calificación	Calificación	Descripción
1	Excelente	Sin presencia de pardeamiento y libre de daños
2	Buena	Presencia leve o insignificante de daños y oscurecimiento en las superficie y bordes de la lechuga de ensaladas.
3	Moderada	Límite inferior de apariencia atractiva para el consumo. Presencia de oscurecimiento máximo para consumo y aceptación visual del producto.

4	Pobre	Pardeamiento severo, excesiva cantidad de daños mayor al límite inferior y de hojas con oscurecimiento en bordes y superficie de la muestra
5	Extremadamente pobre	Pardeamiento grave, producto no apto para el consumo. Más del 50 % del producto presenta oscurecimiento foliar en los bordes y superficie.

---

Fuente: *Elaboración propia.*

### **3.1.8 Análisis estadístico**

Para el análisis de los datos obtenidos en la evaluación de parámetros físicoquímicos, se utilizó el modelo de bloques completos al azar, con el fin de evitar la variabilidad de los resultados causada por la diferencia estacional de la toma de datos y eliminar el efecto en la comparación estadística de los datos. Se utiliza el paquete estadístico *InfoStat*, para el procesamiento de los datos. Posteriormente se realizó un análisis de varianza con prueba Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) para determinar las diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos y el tiempo de almacenamiento.

## **3.2 Evaluación sensorial del producto terminado**

### **3.2.1 Diseño y preparación del panel sensorial**

Para la prueba de aceptación del producto se diseñó un panel sensorial para identificar el tipo de empaque y de aceite esencial de mayor aceptación para el consumo. La preparación de las muestras se realizó siguiendo el mismo procedimiento descrito en la sección 3.1.1, pero con una muestra menor correspondiendo a una masa de  $\sim 5g$ .

Se realizaron dos paneles informales para determinar el diseño final del panel sensorial. La primera prueba consistió en un panel en modalidad virtual, para estese prepararon las muestras a escala de laboratorio y se entregaron a cada uno de los panelistas. Para esta prueba se realizaron 80 muestras las cuales fueron repartidas a 10 panelistas, donde cada panelista evaluó 8 muestras de las cuales 6 muestras, respectivas a los 3 tipos de aceites esenciales (limón, naranja y romero) en 2 empaques (PLA 40  $\mu\text{m}$  y Classpack 20  $\mu\text{m}$ ) además, 2 muestras testigo correspondientes a cada uno de los empaques como se muestra en la **Figura 8**. En estas pruebas sensoriales, se evaluó la deshidratación, color, olor, sabor y oscurecimiento mediante un formulario con cada una de las muestras debidamente identificadas, se utilizó una escala del 1 al 5, donde 1 corresponde al parámetro evaluado con las características en un nivel menor y 5 al parámetro altamente pronunciado a las características evaluadas.



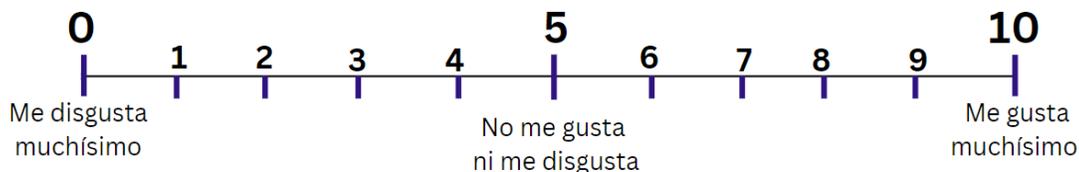
**Figura 8** Muestras de panel sensorial virtual informal.

*Fuente: Elaboración propia.*

Sin embargo, para las primeras pruebas preliminares realizadas se contó con diferentes factores que pudieron inducir error o sesgo en los resultados obtenidos, por lo tanto, se decidió realizar otra prueba preliminar presencial. Para esta segunda prueba se realizó un panel en el laboratorio Poscosecha y Empaque de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas, en el cual se habilitó un espacio donde se contó con la participación de 10 panelistas (consumidores), los

cuales se iban turnando para realizar la evaluación. Cada panelista contaba con un formulario mostrado en el Anexo 1 para evaluar cada una de las muestras con respecto al sabor, olor, acidez, apariencia y textura mediante una escala de calificación del 1 al 10. Además, cada uno contaba con 4 muestras correspondientes a cada tratamiento con aceite esencial y una muestra testigo. De estas pruebas se obtiene que la muestra con mayor aceptación es la tratada con aceite de esencial de naranja. Estas pruebas preliminares fueron realizadas con el fin de reducir fuentes de error o imprecisiones que pudieran presentarse en el panel sensorial formal.

Por medio de los paneles informales realizados se permite identificar el método de evaluación óptimo para realizar el panel sensorial de aceptación oficial. Considerando los atributos evaluados en cada una de estas pruebas, se concluyó que lo más conveniente era evaluar el grado de aceptación de la muestra por parte del consumidor sin considerar los atributos por separado (independientemente), evaluando el agrado general de los consumidores, esto debido a que los consumidores (panelistas) no tienen un entrenamiento estandarizado para inferir en la evaluación de un atributo específico. En la **Figura 9** se muestra la escala hedónica utilizada por cada consumidor para evaluar las muestras de ensaladas tratadas con aceites esenciales, donde cada centímetro de la escala equivale a un nivel de agrado, siendo 0: “me disgusta muchísimo” y 10 representa “me gusta muchísimo”.



**Figura 9** Escala de evaluación del sensorial de las ensaladas tratadas con aceites esenciales.

*Fuente: Elaboración propia basado en Lawless y Heymann ,2010 [97]*

Además, la evaluación de sensorial incluyó una encuesta de evaluación tipo CATA (*Check All That Apply*). A cada panelista se le presentó una lista con diferentes propiedades organolépticas de sabor y olor que describieran al producto, los cuales fueron generados por comentarios recibidos en los paneles sensoriales informales realizados. Las propiedades utilizadas fueron: ácido, dulce, agrio, aceitoso, frutal, floral, pasto recién cortado, cítrico, sabor a especias, mentolado, refrescante y picante. Además, se puso en la encuesta la opción de describir el producto con alguna otra propiedad que se percibiera del producto. En el **Anexo 2**, se encuentra la encuesta realizada.

El panel sensorial formal realizado, estuvo compuesto por 66 participantes con edades entre los 18 y 66 años, se consideró una probabilidad de error  $\alpha = 10\%$ , una probabilidad de error  $\beta = 20\%$ , RMSL (error cuadrado medido dividido por la longitud de escala) de 0,23 y se buscó una diferencia de medias ( $d$ ) de 0,1 [98].

### 3.2.2 Análisis estadístico

Se utiliza el paquete estadístico *InfoStat*, para el procesamiento de los datos. Posteriormente se realizó un análisis de varianza con prueba Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) para determinar las diferencias significativas entre muestras evaluadas.

## 3.3 Evaluación de la interacción e integridad de los empaques compostables

### 3.3.1 Diseño experimental de la evaluación de la permeabilidad al vapor de agua

Para determinar la propiedad de barrera al vapor de agua en los materiales de empaque de ácido poliláctico (PLA) se utilizó la norma ASTM E96/ E96M-21 “*Métodos de prueba estándar para la determinación gravimétrica del índice de transmisión de vapor de agua de los materiales*”. Este método consistió en una técnica gravimétrica para determinar la permeabilidad al vapor de agua, el cual se puede implementar de dos formas, una mediante el método de desecante y la otra mediante el método húmedo con agua destilada. En esta investigación se propuso utilizar la técnica que utiliza agua destilada.

Para la preparación de las muestras se utilizaron placas Petri de 15 x 80 mm. Dentro de estas se introdujeron 10 mL de agua destilada, posteriormente se procedió a colocar la película de material de empaque (PLA 40  $\mu\text{m}$  y Classpack). Las muestras de empaque se cortaron en un cuadrado de 10 cm. Luego, las placas se sellaron con papel Parafilm en las orillas como se muestra en la **Figura 10**. Se prepararon cuatro muestras por cada material de empaque de las cuales tres de las muestras contenían el agua destilada y una muestra se preparó sin contener agua. Esta última se preparó con el fin de que funcionara como un control del peso para compensar la variabilidad en las condiciones de la prueba debido a las fluctuaciones de la temperatura y/o la presión barométrica.



**Figura 10** Preparación y almacenamiento de muestras para evaluar la permeabilidad al vapor mediante la norma ASTM E-96.

El almacenamiento de las muestras se realizó en una cámara ambiental a condiciones de temperatura (20-23 °C) y humedad relativa (76-82 %HR) previamente establecidas. Posteriormente, se realiza el registro del peso en una balanza analítica (Ocony, ES-1000H ± 0.01 g), durante un periodo de 15 días (360 horas), correspondientes al periodo máximo que podría contener el material de empaque el producto almacenado.

### 3.3.2 Determinación de la tasa de transmisión de vapor

Una vez registrada la información mediante la tabla de recolección de datos, se procesó la información a través de una gráfica de dispersión, en la cual se dispusieron los pesos en función del tiempo. Posteriormente se determina mediante la ecuación (4), la tasa de transmisión de vapor.

$$TVA = \left( \frac{\Delta P}{t \cdot A} \right) \quad (4)$$

*TVA: Tasa transmisión de vapor de agua,  $\frac{g}{h \cdot m^2}$*

*$\Delta P$ : Cambio de peso en estado estacionario, g*

*t: tiempo, h*

*A: Área de prueba (boca de la placa) , m<sup>2</sup>*

### **3.3.3 Determinación de permeabilidad de vapor de agua**

Primero, se determinó la permeancia de vapor de agua mediante la ecuación (5). La humedad relativa dentro de la placa se consideró %HR= 100%, debido a las condiciones estacionarias dentro de la cámara.

$$\text{Permeanza} = \frac{TVA}{\Delta p} = \frac{TVA}{S (R_1 - R_2)} \quad (5)$$

*$\Delta p$  : diferencia de presión de vapor, mmHg (1.333x10<sup>2</sup> Pa)*

*S: Saturación de vapor a la temperatura de la prueba, mmHg (1.333x10<sup>2</sup> Pa)*

*R<sub>1</sub>: Humedad relativa del medio , %*

*R<sub>2</sub>: Humedad relativa de la cámara , %*

Posteriormente, se determinó la permeabilidad de vapor con la ecuación (6):

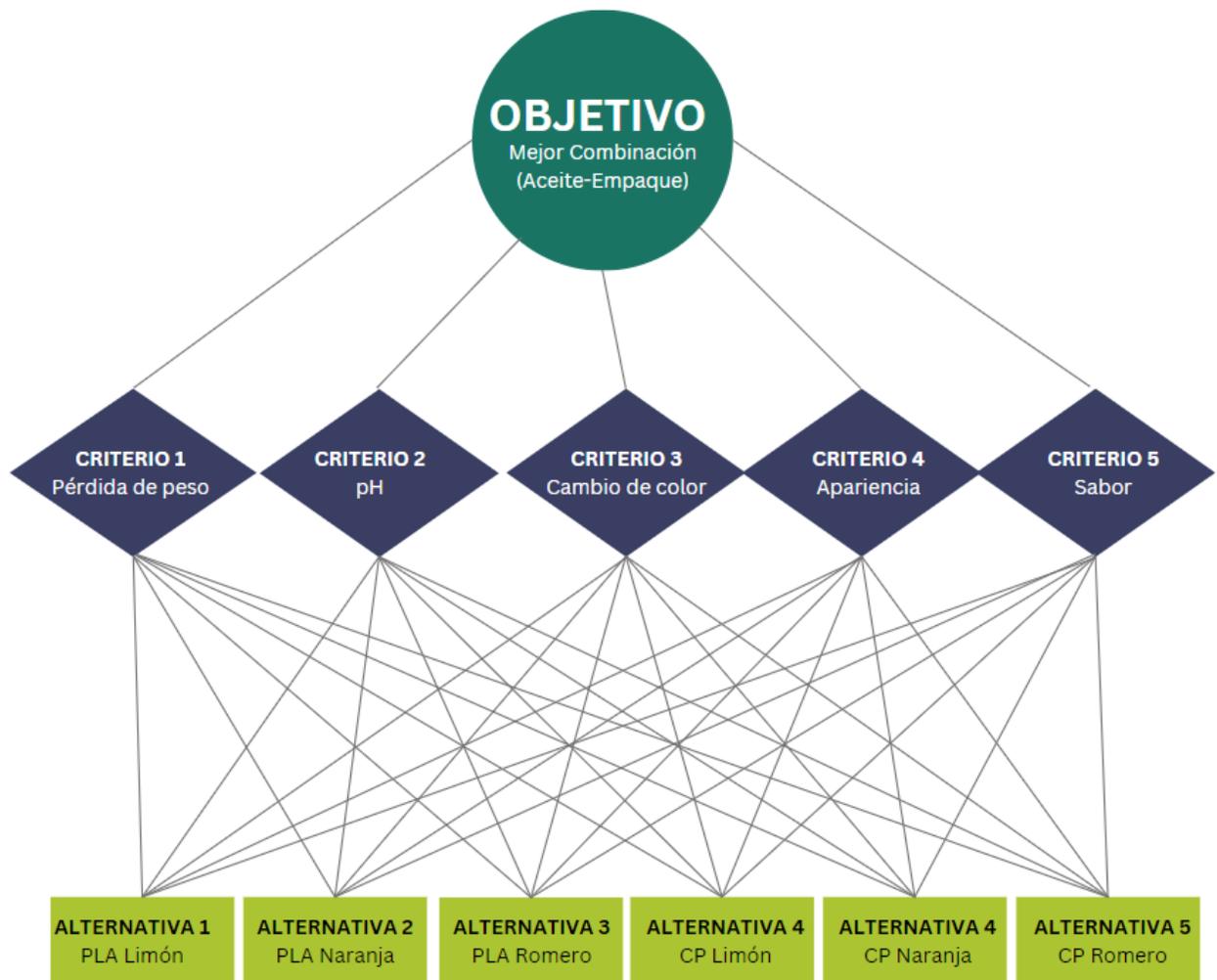
$$PVA = \text{Permeanza} \times \text{grosor} \quad (6)$$

La norma ASTM E96/ E96M-2, indica que se debe tomar en cuenta el espesor del material solo si este es mayor a 12,5 mm, para darle una corrección al valor de la permeabilidad. Sin embargo, se considera el grosor de cada uno de los materiales. Para los empaques de Classpack se utiliza un grosor de 20  $\mu\text{m}$  (0.00002 mm) y para las muestras de empaque PLA se utiliza un grosor de 40  $\mu\text{m}$  (0.00004 mm) .

### 3.4 Análisis multicriterio

Con el fin de determinar la mejor combinación de aceite-empaque aplicadas a las ensaladas, se realizó un análisis multicriterio basado en la metodología de Proceso Analítico Jerárquico (AHP: Analytic Hierarchy Process), el cual consiste en un método de decisión que ayuda a seleccionar entre diferentes alternativas en función de una serie de criterios o variables [99].

Para aplicar esta metodología se utiliza la estructura jerárquica presentada en la *Figura 11*, en donde las alternativas evaluadas corresponden a las combinaciones de aceite-empaque evaluadas en función de los criterios de pérdida de peso, pH, sabor, cambio de color y apariencia, según los resultados obtenidos.



*Figura 11 Estructura jerárquica del análisis multicriterio del Proceso Analítico Jerárquico (AHP).*

*Fuente: elaboración propia.*

Para la aplicación de esta metodología se realizó una normalización de los datos cuantitativos que se tienen para cada criterio y cada alternativa respectivamente. Para lo cual se construye inicialmente una matriz comparativa, como se muestra en el **Cuadro 4**, donde  $X_{ij}$ , corresponde al valor relacionado a cada alternativa con el criterio correspondiente.

**Cuadro 4.** *Diseño de matriz comparativa de criterios y alternativas para metodología AHP*

<b>Alternativa/Criterio</b>	<b>Criterio 1</b>	<b>Criterio 2</b>	<b>Criterio 3</b>	<b>Criterio 4</b>	<b>Criterio 5</b>
<b>Alternativa 1</b>	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$
<b>Alternativa 2</b>	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{24}$	$X_{25}$
<b>Alternativa 3</b>	$X_{31}$	$X_{32}$	$X_{33}$	$X_{34}$	$X_{35}$
<b>Alternativa 4</b>	$X_{41}$	$X_{42}$	$X_{43}$	$X_{44}$	$X_{45}$
<b>Alternativa 5</b>	$X_{51}$	$X_{52}$	$X_{53}$	$X_{54}$	$X_{55}$
<b>Alternativa 6</b>	$X_{61}$	$X_{62}$	$X_{63}$	$X_{64}$	$X_{65}$

Se realizó una comparación pareada utilizando la escala comparativa de Thomas Saaty presentada en el **Cuadro 5**. Mediante la cual se comparó entre cada uno de los niveles jerárquicos para representar la intensidad de los juicios.

**Cuadro 5.** *Escala comparativa de Saaty.*

<b>Escala Numérica</b>	<b>Escala Verbal</b>	<b>Descripción</b>
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente al criterio
3	Moderadamente más importante que el otro elemento	El juicio y la experiencia previa favorecen un elemento frente al otro
5	Fuertemente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen un elemento frente al otro
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente su dominación está probada práctica
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro	Un elemento domina con mayor orden de magnitud imposible.
2,4,6,8	Valores intermedios cuando sean necesarios	

Fuente: Saaty, T, 1984 [100].

Partiendo de la escala anterior se construyeron varias matrices cuadradas  $A_{n \times n}$  ( $n$ : cantidad de criterios o alternativas) para comparar primeramente los criterios a valorar y posteriormente cada una de las alternativas en función de cada criterio. Posteriormente se normalizó cada una de las matrices mediante la ecuación (7), y una vez normalizada se procedió a sumar todas las filas de cada una de las matrices como en la ecuación (8).

$$X_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad (7)$$

$$\frac{a_{11}}{\sum_{n=1}^n a_{n1}} + \frac{a_{12}}{\sum_{n=1}^n a_{n2}} + \dots + \frac{a_{1n}}{\sum_{n=1}^n a_{nn}} = b_1 \quad (8)$$

$$\frac{a_{21}}{\sum_{n=1}^n a_{n1}} + \frac{a_{22}}{\sum_{n=1}^n a_{n2}} + \dots + \frac{a_{2n}}{\sum_{n=1}^n a_{nn}} = b_2$$

$$\frac{a_{n1}}{\sum_{n=1}^n a_{n1}} + \frac{a_{n2}}{\sum_{n=1}^n a_{n2}} + \dots + \frac{a_{nn}}{\sum_{n=1}^n a_{nn}} = b_n$$

Posteriormente a partir del conjunto de las sumas de cada fila se formó un vector columna, el cual se promedia mediante la ecuación (9) para obtener un vector promedio B.

$$B = \left[ \frac{b_1}{n}, \frac{b_2}{n}, \dots, \frac{b_n}{n} \right] \quad (9)$$

Con este vector promedio B y con la matriz original A se obtuvo un nuevo vector columna total (C) mediante la multiplicación de A por B (ecuación (10))

$$A * B = C \quad (10)$$

Una vez obtenido el vector C, se realizó una sumatoria de este vector para obtener  $\lambda_{max}$ . Una vez obtenido este último valor se determinó el Índice de Consistencia (CI) mediante la ecuación (11).

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1} \quad (11)$$

Mediante la ecuación (12) se procedió a calcular el índice de consistencia aleatoria (RI) para poder determinar la ratio de consistencia (RC). Mediante la ecuación (13), que según el tamaño de la matriz (n=5 o mayor) esta ratio debería ser un 10% (0,1).

$$RI = \frac{1,98 (n - 2)}{n} \quad (12)$$

$$RC = \frac{CI}{RI} \quad (13)$$

Una que se comprobó la consistencia y el ratio de consistencia, para cada una de las matrices se obtiene una matriz con todos los vectores promedio de cada una de las comparaciones de las alternativas para cada criterio, generando así una matriz de 6x5, que consideró las seis alternativas de la combinación de empaques y aceites, y los cinco criterios a analizar. Se realizó la multiplicación de productos de esta matriz por la matriz generada por los vectores promedio que se generó entre criterios, obteniendo así la priorización de cada una de las alternativas, la cual corresponde a la mejor combinación empaque-aceite.

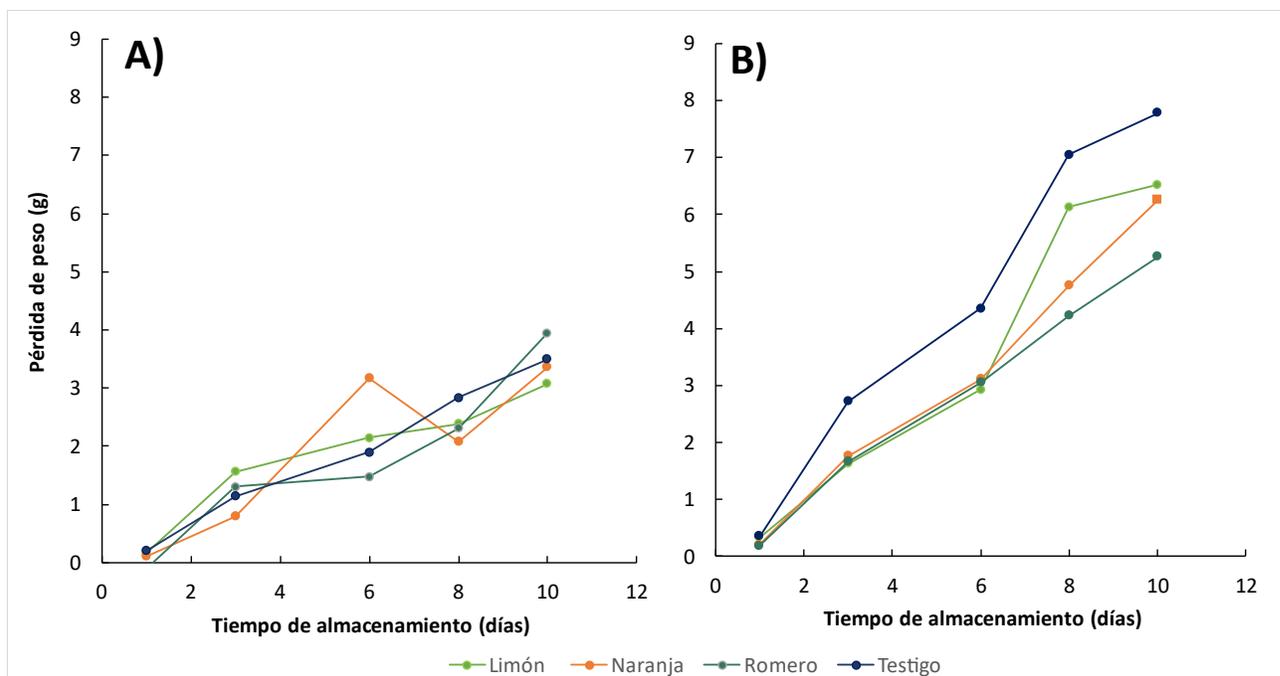
## 4 RESULTADOS

### 4.1 Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos de las ensaladas mixtas precortadas durante el almacenamiento

#### 4.1.1 Comportamiento de la pérdida de peso

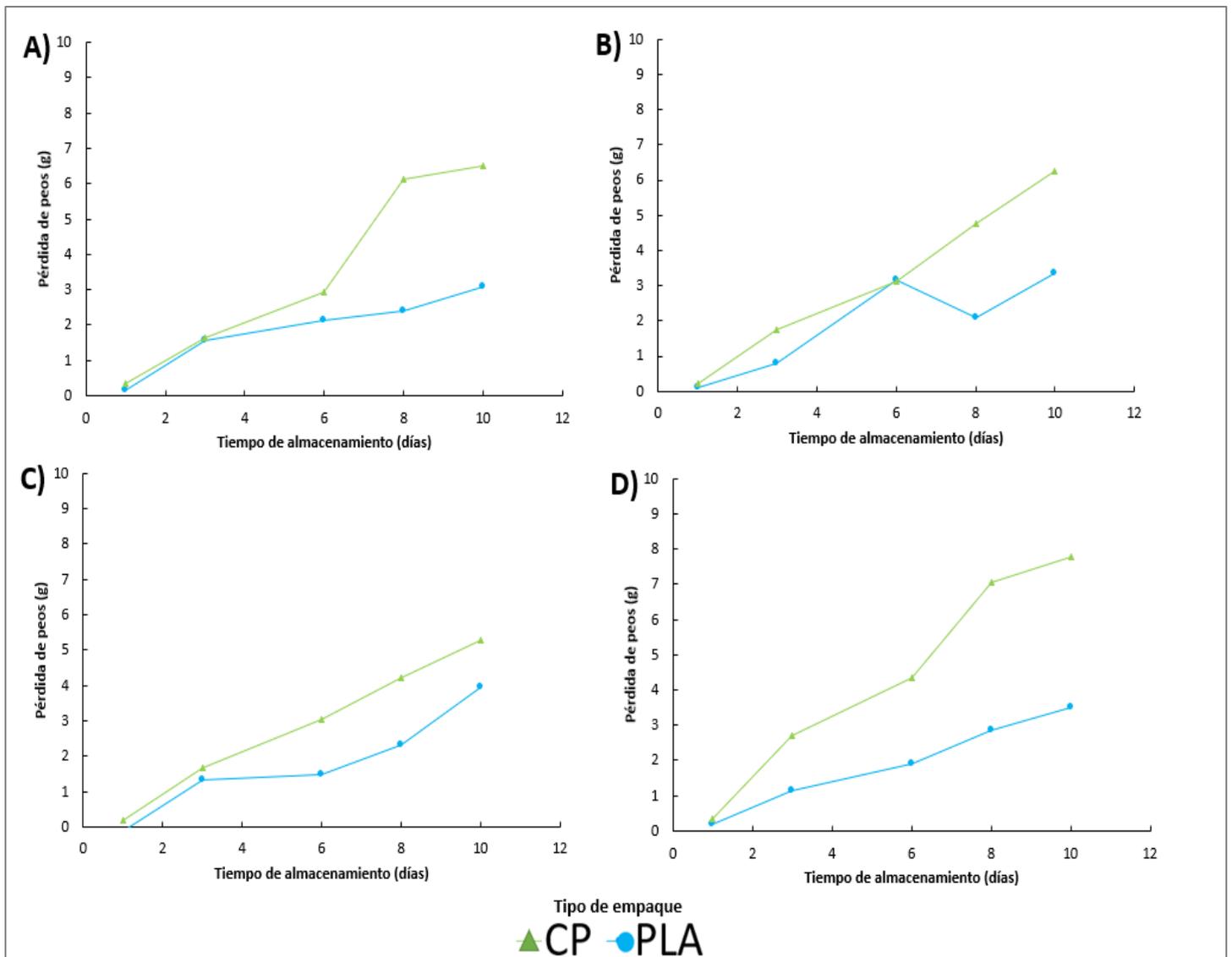
La pérdida de peso refleja la deshidratación debida a la pérdida de agua en frutas y verduras durante el almacenamiento. Las muestras ensayadas presentaron una tendencia a la pérdida de peso durante el almacenamiento. La pérdida de peso ocurre en su mayoría por el diferencial de presiones de vapor entre el producto y el ambiente que lo rodea [38].

La **Figura 12** muestra los resultados de la pérdida de peso para las ensaladas empacadas en bolsas de Classpack 20  $\mu m$  y PLA 40  $\mu m$ . Las muestras fueron tratadas con aceite esencial de romero, naranja y limón, así como las muestras testigo. La pérdida de peso aumentó a lo largo del almacenamiento para ambas condiciones de empaque y los tres tipos de aceites esenciales. La pérdida de peso fue mayor para las ensaladas empacadas en empaque Classpack, obteniendo así un 6,45 % pérdida de peso promedio durante el periodo de almacenamiento, mientras que para las ensaladas almacenadas en empaques de PLA la pérdida de peso promedio es 3,47%. Además, la **Figura 12 A** muestra que las ensaladas con aceite de limón presentan la mayor pérdida de peso y las muestras con aceite de romero presentan la menor pérdida de peso. Esta tendencia se observa durante los últimos días del periodo de almacenamiento en el empaque Classpack.



**Figura 12** Comportamiento de la pérdida de peso para los diferentes tratamientos con aceites esenciales (naranja, romero y limón) en las ensaladas almacenadas en empaques compostables (A) PLA y B) Classpack).

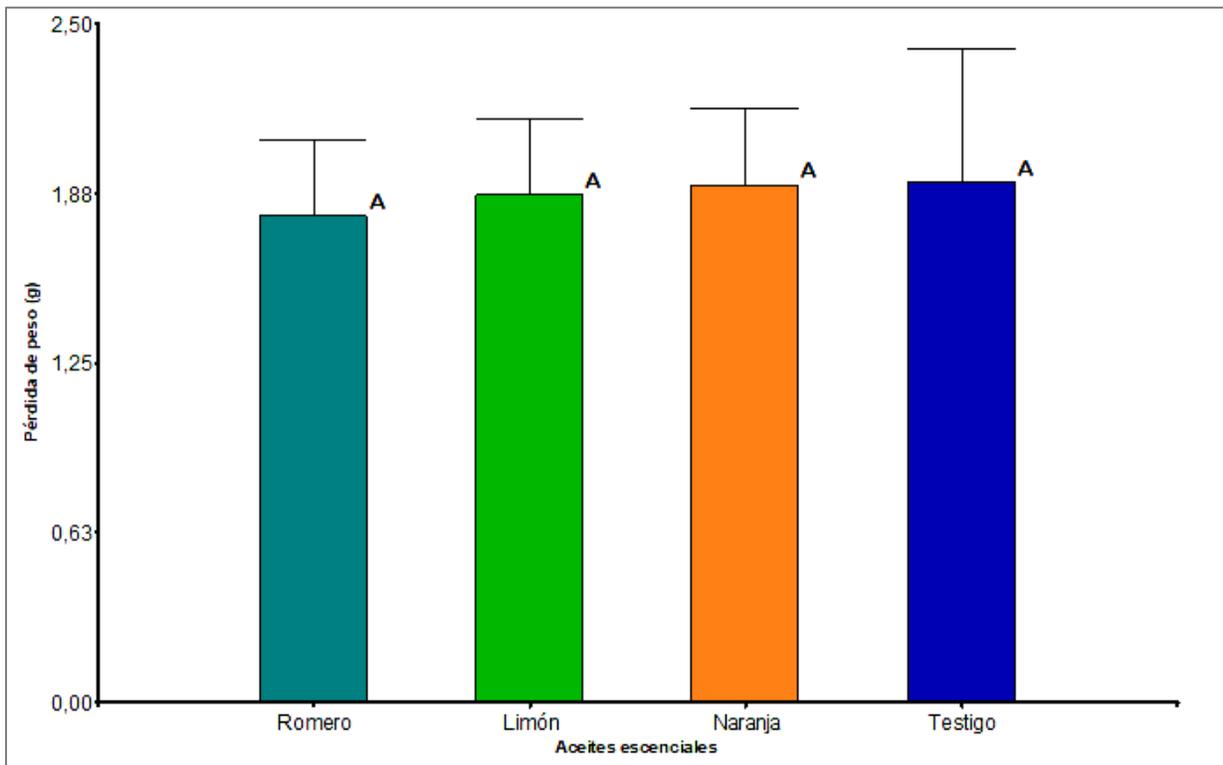
En la **Figura 13**, se muestra el comportamiento de la pérdida de peso según el aceite esencial y el empaque en el que se encuentra la ensalada previamente empacada y almacenada. Los tratamientos con aceites esenciales retardaron la disminución de la pérdida de peso con respecto a las ensaladas que no recibieron el tratamiento con un aceite (**Figura 13D**). Las muestras testigo, para el empaque de Classpack muestran una mayor pérdida de peso (7,78%) con respecto a las muestras tratadas con aceites esenciales de limón (6,52%), naranja (6,26%) y romero (5,26%). Para las muestras testigo empacada en empaque PLA presentan una pérdida de peso ligeramente mayor (3,50%) a las muestras tratadas con aceites esenciales de limón (3,08%) y naranja (3,36%). Como justificación de este resultado se podría afirmar que la aplicación de aceites esenciales reduce la actividad debida a los microorganismos por el efecto antimicrobiano que tienen. Por otro lado, el efecto antioxidante de estos aceites, tiende a disminuir el proceso de oxidación, por lo que retarda la respiración y la deshidratación de los productos [9].



**Figura 13** Comportamiento de la pérdida de peso (g) para los empaques compostables (Classpack 20µm y PLA 40 µm) en los diferentes tratamientos con aceites A) Aceite esencial de limón, B) Aceite esencial de Naranja C) Aceite esencial de Romero D) Muestras testigo.

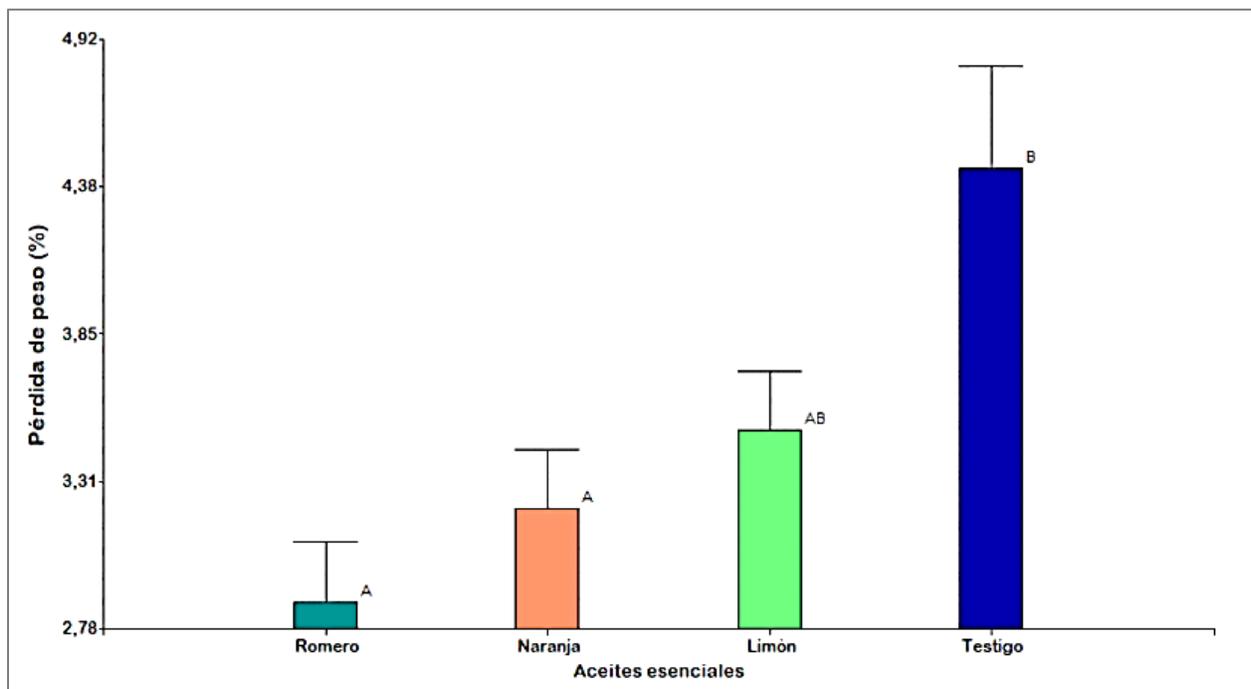
La pérdida de peso de las ensaladas tratadas con aceites esenciales es menor ( $p < 0,05$ ) en comparación con el testigo durante el almacenamiento, tanto para los empaques de Classpack como de PLA. Sin embargo, este efecto puede deberse a que los aceites esenciales reducen los efectos de descomposición por microorganismos (enzimas, levaduras y

patógenos), en consecuencia, tienden a disminuir el metabolismo respiratorio de las muestras en el interior del empaque. Además, los aceites son antioxidantes por esta razón retardan el proceso de oxidación principalmente en la lechuga lo que evita una pérdida de peso debido a la descomposición del producto [38]. Los resultados estadísticos indican que no existen diferencias significativas para las muestras de ácido poliláctico (PLA) con respecto al tratamiento con aceite esencial aplicado como se muestra en la **Figura 14** ( $p=0,09894$ ). Por lo que se podría afirmar que los tratamientos con los aceites esenciales tienen el mismo efecto en la pérdida de peso para este tipo de empaque independientemente del tipo de aceite. Sin embargo, en la **Figura 16** se presenta que existe una diferencia significativa en función del tiempo de almacenamiento ( $p < 0,0001$ ) en ambos empaques, es decir, en el periodo de almacenamiento se considera un cambio en el peso del producto por cada día transcurrido de evaluación con respecto al anterior, comportamiento que se puede apreciar también en la figura **Figura 13**.

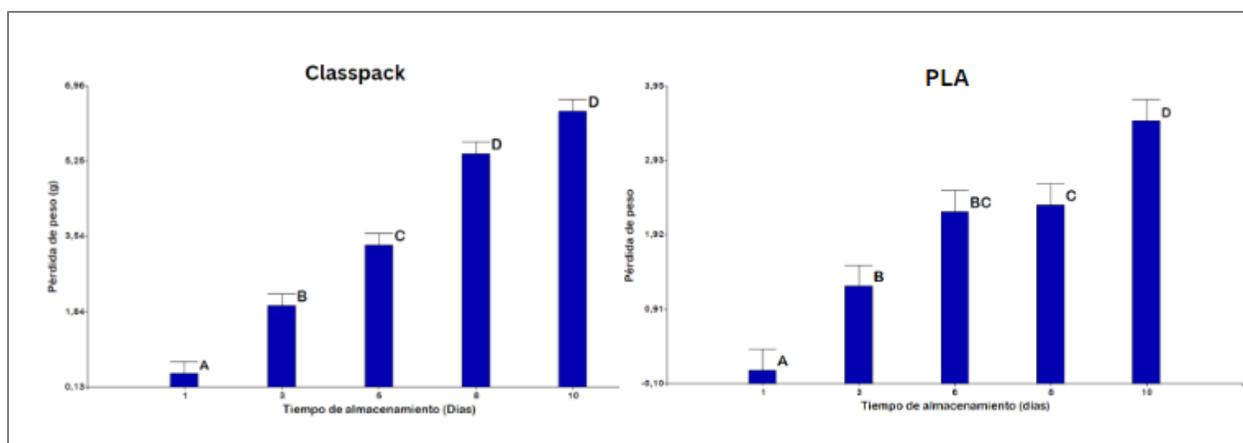


**Figura 14** Análisis de la pérdida de peso para los diferentes tratamientos con aceites esenciales para la ensalada empacada en empaque de Ácido Poliláctico (PLA).

Como se observa en la **Figura 15**, para el producto empacado en CP existe una diferencia significativa en la pérdida de peso, entre el tratamiento de aceite esencial de romero y el aceite esencial de naranja, con respecto a las muestras testigo ( $p = 0,00033$ ). A partir del día 6 de almacenamiento existe una diferencia significativa en la pérdida de peso en el empaque CP ( $p < 0,001$ ). Además, se muestra una tendencia clara en la pérdida de peso entre las muestras testigo y las muestras tratadas con aceite esencial. Cabe recalcar que la pérdida de peso esta influenciada por diversos factores que afectan su vida útil y que dependen de las condiciones de almacenamiento. El crecimiento de microorganismos promueve el deterioro del producto por lo que afecta directamente la descomposición provocando así la pérdida de humedad en los productos frescos. Sin embargo, como se puede observar en los resultados de la **Figura 15**, el efecto antioxidante y antimicrobiano de los aceites esenciales inhibe la proliferación de microorganismos. Este efecto inhibitorio retarda la disminución de la pérdida de peso y la descomposición.



**Figura 15** Análisis de la pérdida de peso para los diferentes tratamientos con aceites esenciales para la ensalada empacada en empaque Classpack (CP).



**Figura 16** Análisis de la pérdida de peso para el producto en los empaques CP y PLA según el tiempo de almacenamiento.

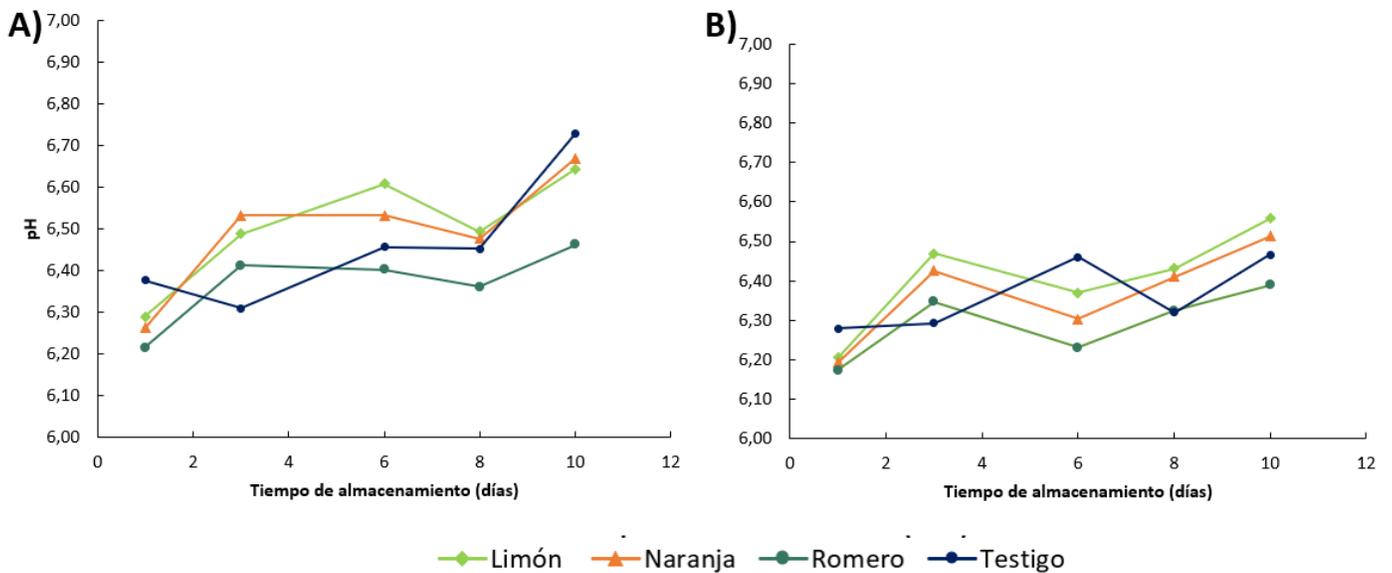
#### 4.1.2 Comportamiento del pH durante el almacenamiento

El pH es uno de los parámetros que presenta menor variación durante el período poscosecha en las hortalizas de hoja y productos frescos. Diversos estudios, como Suárez (2013) [101] muestran pocos o ningún cambio con el tiempo, incluso con la modificación de factores externos como la temperatura y un aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> en el interior del empaque .

**Cuadro 6.** Comportamiento del pH durante el periodo de almacenamiento según el tipo de empaque compostable (PLA o CP) y el tratamiento con el aceite esencial.

Empaque	Aceite	Tiempo del almacenamiento (Días)				
		1	3	6	8	10
PLA	Limón	6,29 ± 0,19	6,49 ± 0,09	6,61 ± 0,14	6,49 ± 0,11	6,64 ± 0,10
PLA	Naranja	6,26 ± 0,17	6,53 ± 0,08	6,53 ± 0,17	6,48 ± 0,10	6,67 ± 0,13
PLA	Romero	6,22 ± 0,15	6,41 ± 0,04	6,40 ± 0,21	6,36 ± 0,20	6,46 ± 0,22
PLA	Testigo	6,38 ± 0,05	6,31 ± 0,15	6,46 ± 0,30	6,45 ± 0,18	6,73 ± 0,11
CP	Limón	6,21 ± 0,13	6,47 ± 0,16	6,37 ± 0,12	6,43 ± 0,11	6,56 ± 0,13
CP	Naranja	6,19 ± 0,16	6,43 ± 0,10	6,30 ± 0,07	6,41 ± 0,12	6,51 ± 0,14
CP	Romero	6,17 ± 0,08	6,35 ± 0,10	6,23 ± 0,08	6,32 ± 0,19	6,39 ± 0,13
CP	Testigo	6,28 ± 0,14	6,29 ± 0,09	6,46 ± 0,31	6,32 ± 0,10	6,47 ± 0,08

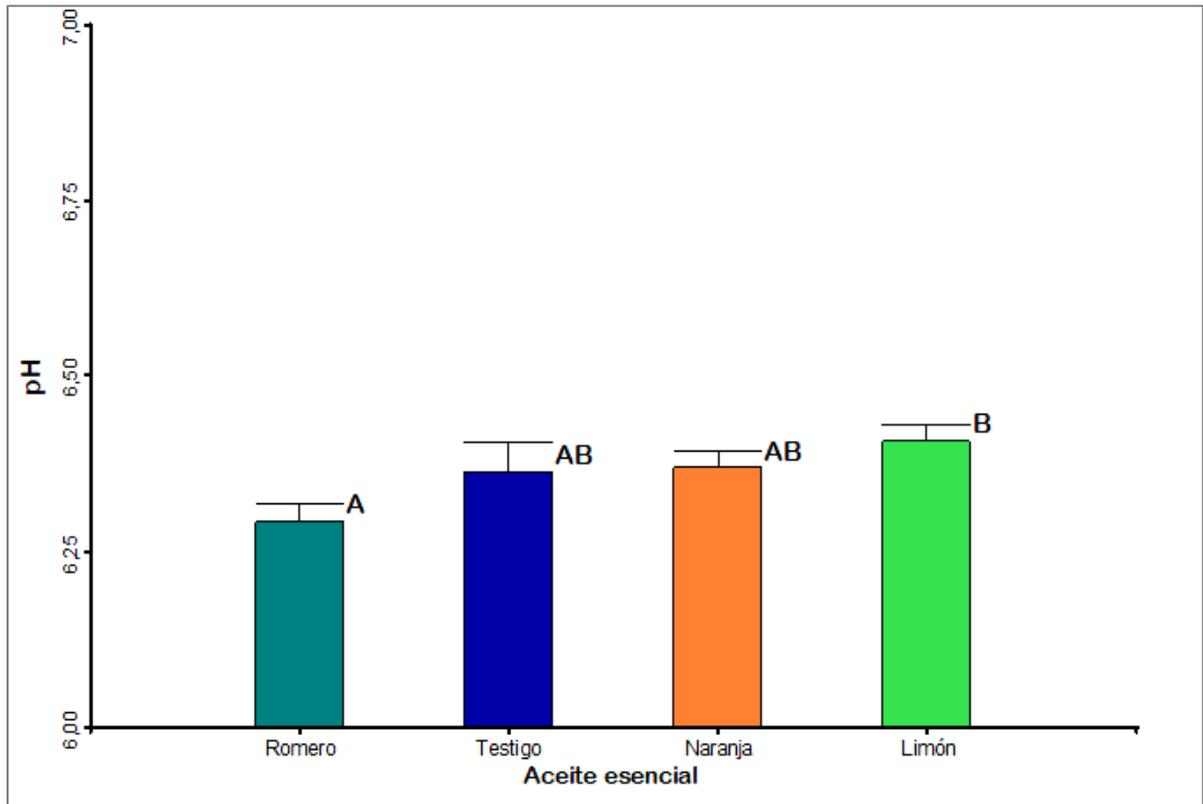
En el **Cuadro 6**, se observan los valores de pH promedio obtenidos de las tres repeticiones ensayadas, para cada uno de los tratamientos realizados con aceites esenciales y el uso de ambos empaques compostables (CP y PLA). Los valores de pH se encuentran en un rango de 6,17 a 6,73 durante un periodo de 10 días de almacenamiento. El empaque de PLA y el tratamiento con aceite esencial de naranja reportan un mayor diferencial en el pH (0,41) con respecto al pH inicial durante el periodo de almacenamiento, mientras que el tratamiento con aceite esencial de romero presenta una menor variación para ambos tipos de empaque PLA (0,24) y Classpack (0,22).



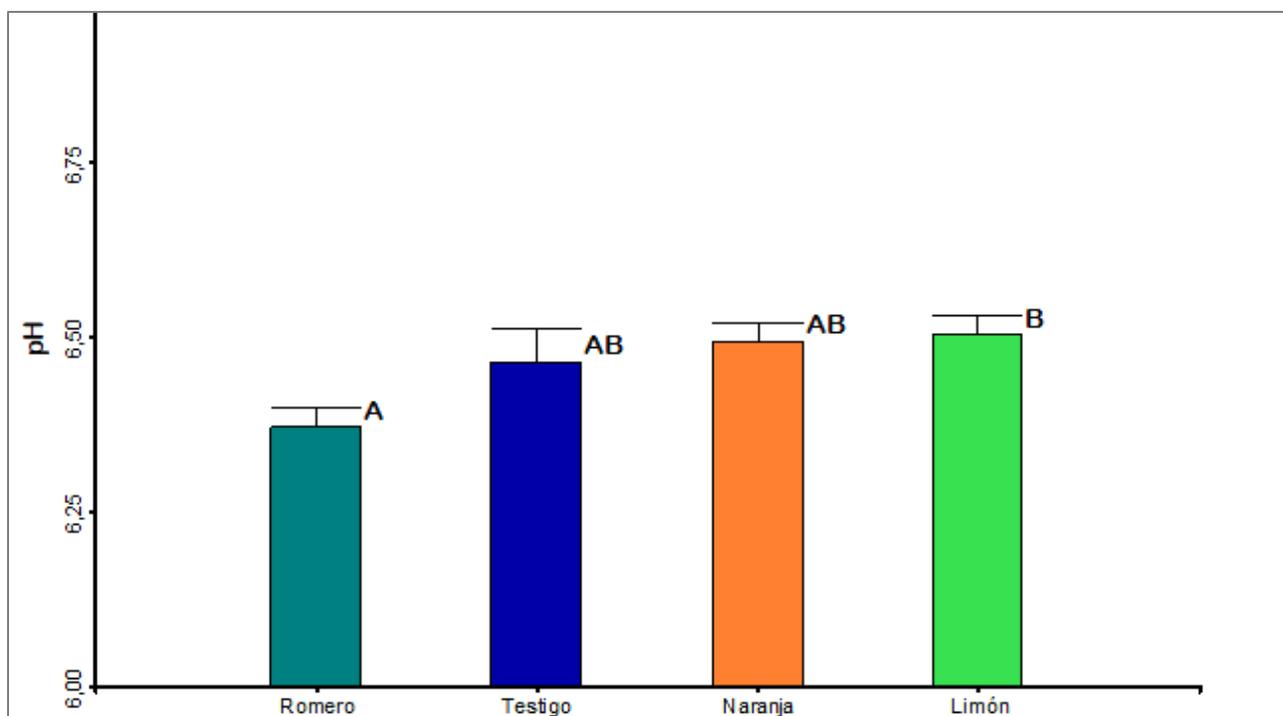
**Figura 17** pH versus tiempo para el producto empacado en ambos tipos de empaque (A) PLA y B) CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo.

Además, comparando las muestras testigo, se puede diferenciar que para los empaques de PLA el aumento del pH es mayor que para los empaques Classpack. El pH presentó cambios significativos en el periodo de almacenamiento para ambos empaques ( $p < 0.0001$ ). En la **Figura 18**, se muestra que para el producto en los empaques Classpack existen diferencias significativas en el pH de las muestras con los tratamientos de aceite de romero y limón; mientras que para los empaques de PLA mostrados en la **Figura 19**, el tratamiento con el aceite de romero muestra diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos, sin embargo, no presenta diferencias con respecto al control. La variación del pH afecta

procesos de deterioro del producto como lo son el pardeamiento enzimático por lo que se requiere que este factor se determine durante el almacenamiento.



**Figura 18** Análisis del comportamiento del pH del producto en los empaques CP de 20 μm de espesor según el aceite esencial.

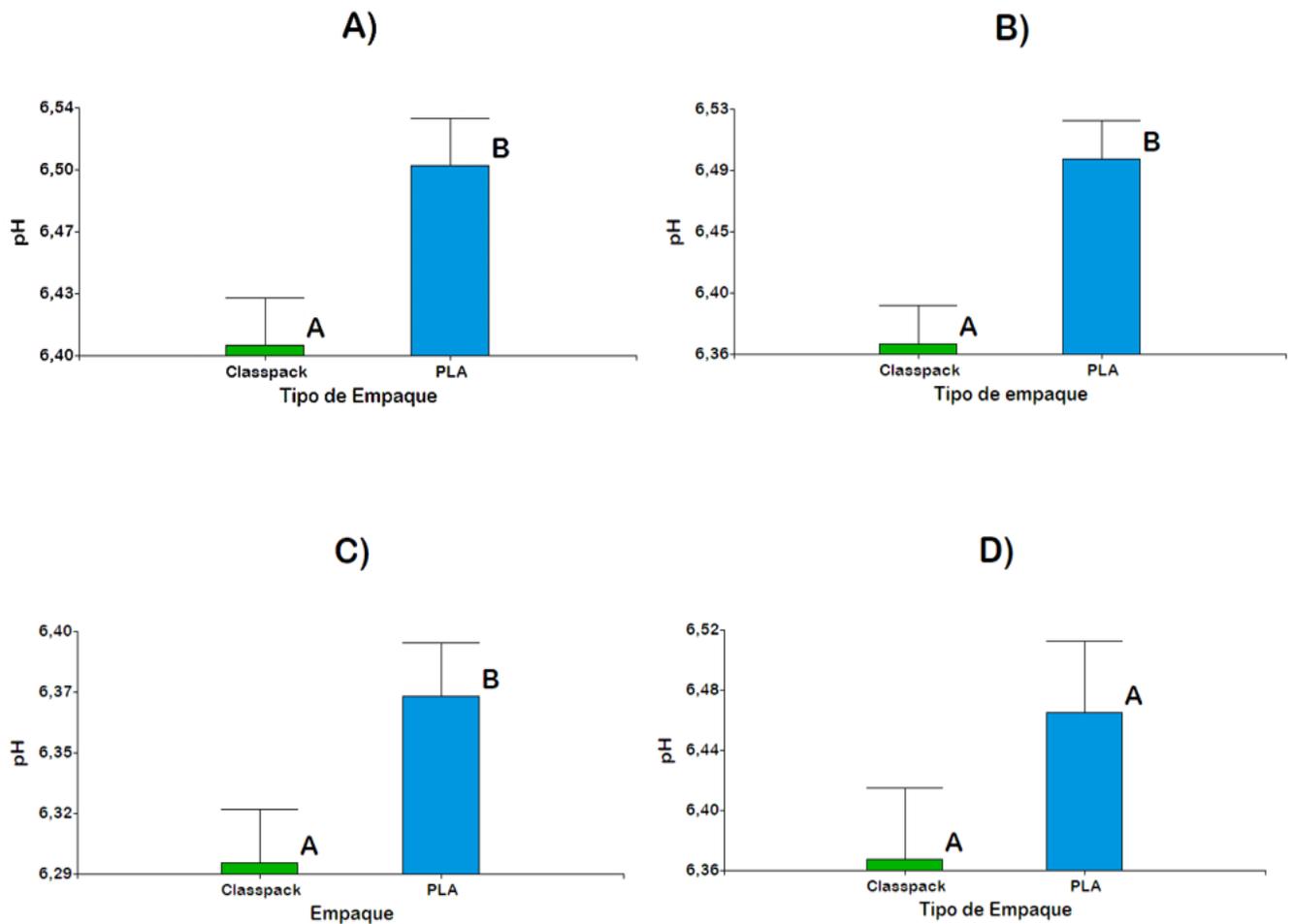


**Figura 19** Análisis del comportamiento del pH del producto en los empaques de PLA de 40  $\mu\text{m}$  de espesor según el aceite esencial.

Como se muestra en la **Figura 17** *Error! Reference source not found.*, el pH no presenta cambios significativos en las muestras testigo en ambos materiales de empaques ( $p = 0,1535$ ), esto puede deberse las muestras que no fueron tratadas previamente con un aceite esencial. El efecto de los aceites esenciales inhibe la oxidación de fenoles que producen la oxidación de las muestras cuando no están tratadas; en consecuencia se dan reacciones relacionadas al pardeamiento oxidativo, oxidación lipídica y el aumento de la pérdida de agua. El principal efecto en el cambio del pH se produce cuando los tejidos han sido dañados y hay oxígeno presente en ellos y se produce el pardeamiento enzimático. Las polifenoloxidasas que son las enzimas que catalizan la oxidación de los fenoles tienen un rango óptimo de acción de pH entre 5 y 7 [102]. Además, el aumento de la oxidación produce un aumento en la velocidad de la intensidad respiratoria del producto, produciendo cambios en la apariencia física, el sabor, la calidad nutricional y la textura. También se debe considerar un aumento en la transpiración debido a la exposición del tejido en la superficie causada por el corte que incrementa la pérdida de agua. Esta se relaciona con el deterioro

originado por la degradación enzimática originando pérdidas de compuestos lipídicos y en la afinidad entre las enzimas y los sustratos [103].

Otro efecto contribuyente a esta oxidación corresponde a los procesos de corte. Estos inducen altas velocidades de producción de gases que contribuyen a la síntesis de las enzimas implicadas en el deterioro de las hortalizas [104]. Se puede afirmar que la aplicación aceites esenciales tiene un efecto sobre la oxidación de los productos una diferencia entre el tipo de empaque utilizado (*Figura 20*), ni entre los diferentes tratamientos con aceites esenciales.

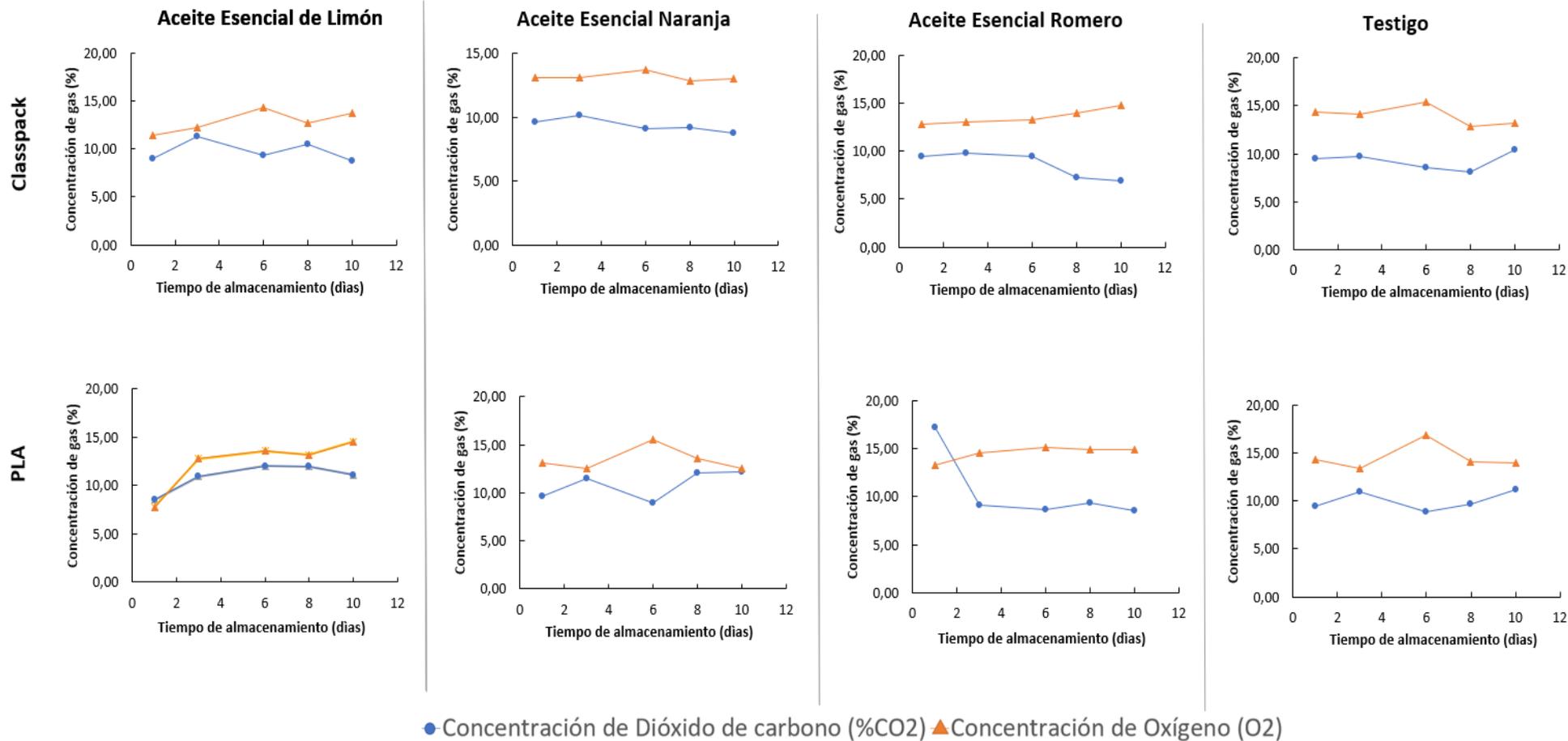


*Figura 20* Comportamiento del pH para el producto empacado en ambos empaques compostables (CP y PLA) según el tratamiento con los aceites esenciales A) limón, B) Naranja, C) Romero y D) Testigo.

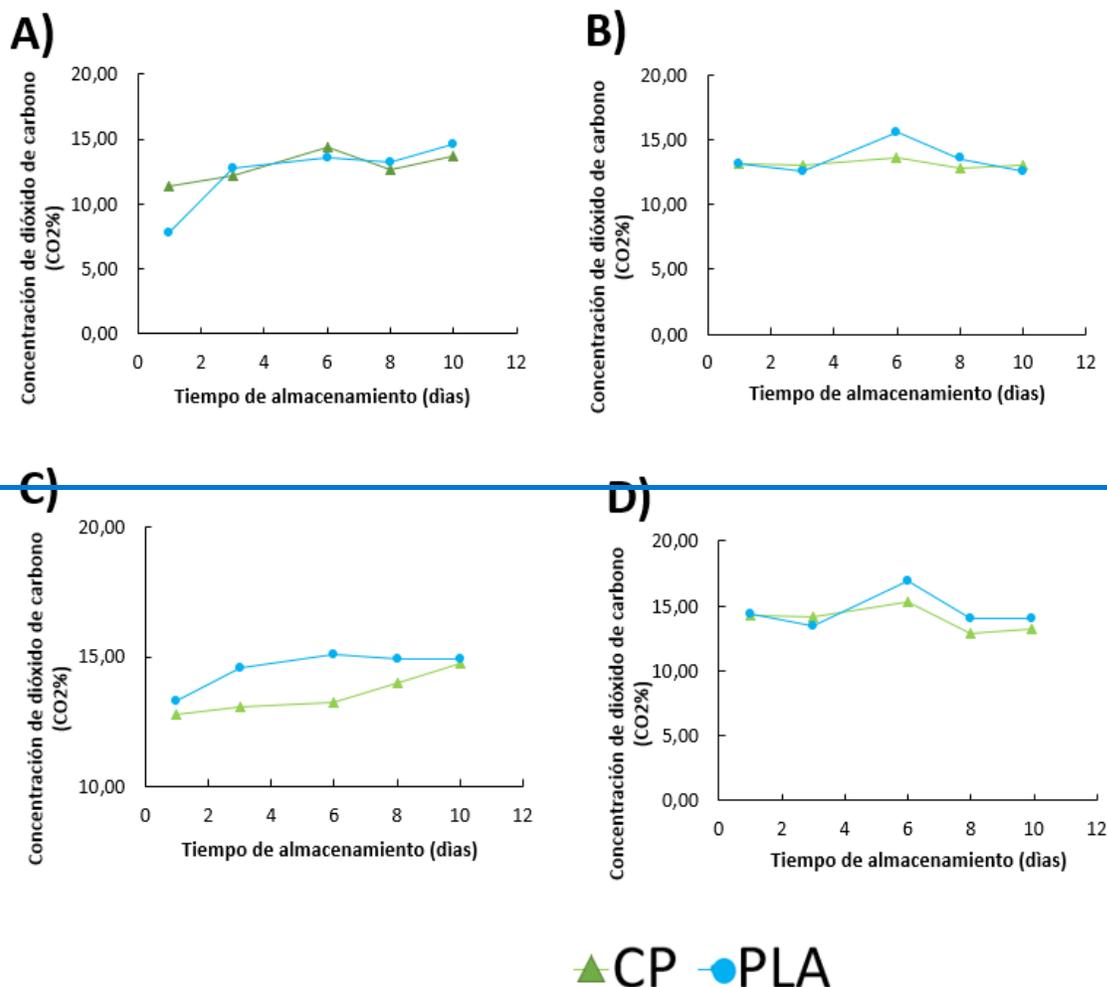
#### 4.1.3 Interacción de la composición de los gases en la atmósfera interna del empaque

Los cambios en las emisiones de los gases producto de la respiración de los vegetales mínimamente procesados son el resultado directo de un procesamiento mínimo y pueden reflejar los cambios en los atributos sensoriales que ocurren en el producto. Se muestra en la **Figura 21**, presenta la composición de los gases en el interior del empaque según el tipo de aceite esencial y tipo de empaque en el periodo de almacenamiento (10 días). En esta figura se puede observar que para todos los tratamientos a medida que desciende (se consume) la concentración del oxígeno ( $\%O_2$ ); la concentración del dióxido de carbono presenta un aumento (producción) ( $\%CO_2$ ). Además, se puede observar que para las muestras tratadas con aceites esenciales se aprecia un comportamiento consistente en el empaque CP a producir una barrera al consumo de  $\%O_2$  y la producción de  $\%CO_2$  mayor que las muestras testigo que no poseen tratamiento. Esto indica que la respiración del producto puede retardarse debido al tratamiento con aceites esenciales.

En la **Figura 22**, se pueden observar los resultados de dióxido de carbono producido en función del tiempo de almacenamiento, en ella se aprecia que la concentración de  $CO_2$  aumentó en las muestras evaluadas. La mayor producción fue reportada para los tratamientos con aceite esencial de romero (CP= 14,76% y PLA= 14,90%) y para la combinación de aceite de limón con el empaque de PLA con una producción de 14,56%, mostrando una diferencia de aproximadamente 7% con respecto a la producción en el día 1. Este comportamiento se puede atribuir a los altos contenidos de  $CO_2$  en el ambiente interno del empaque que tiene un efecto en la reducción de la tasa de respiración [105]. Así mismo, al comportamiento respuesta de los productos hortícolas frescos en ambientes con altas concentraciones de  $CO_2$  [105]. La lechuga a una elevada tasa de transpiración produce pérdidas de agua que implican arrugamiento (aspecto envejecido), disminución de peso comercial y descenso de la calidad sensorial, afectando a la apariencia, textura y jugosidad.



**Figura 21** Concentración de gases (% CO<sub>2</sub> y % O<sub>2</sub>) en el periodo de almacenamiento para los empaques de Classpack 20 μm y PLA 40 μm para cada tratamiento con aceite esencial (naranja, limón y romero) y testigo.

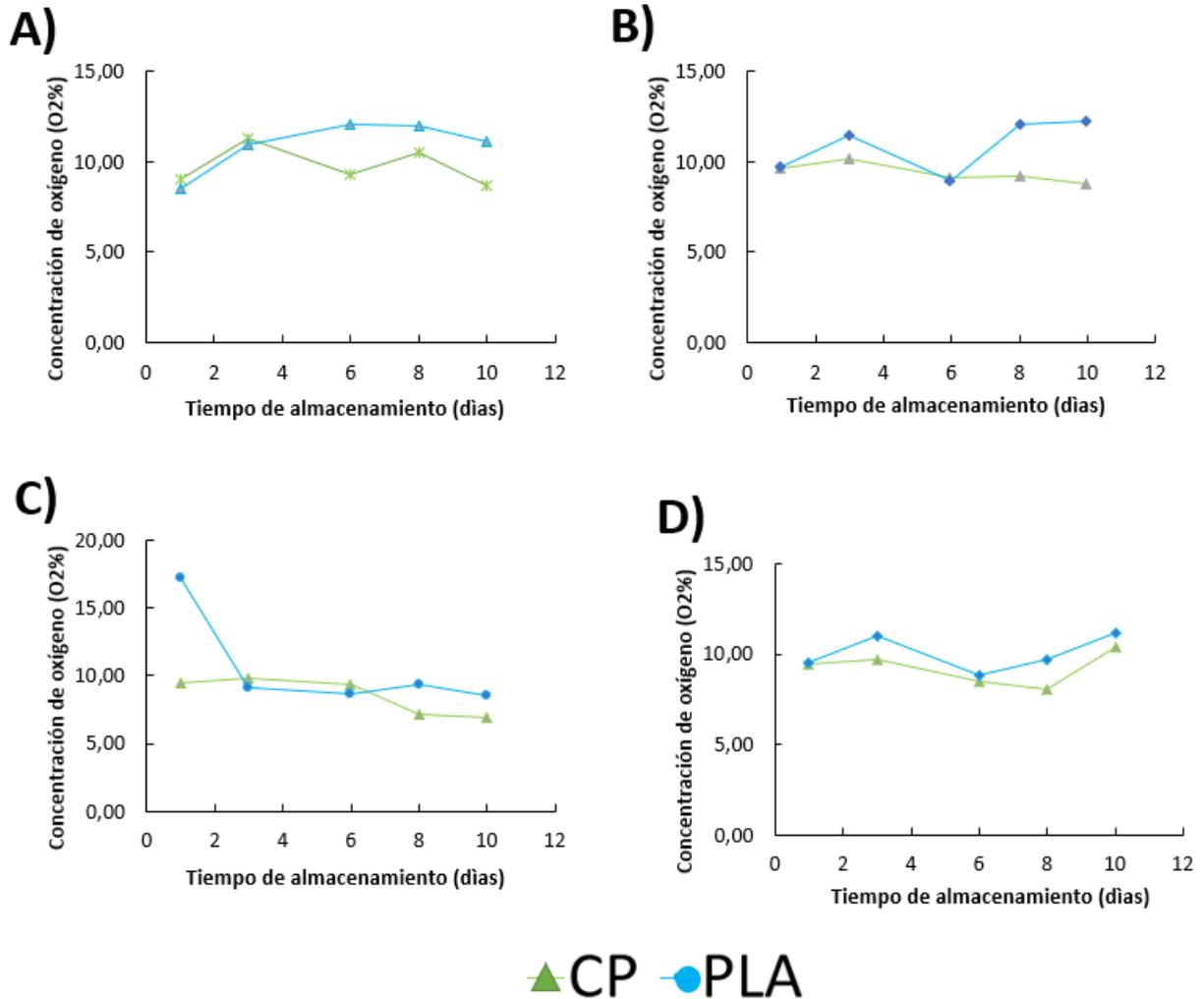


**Figura 22** Producción de dióxido de carbono para cada tratamiento con aceite esencial A) naranja, B) limón, C) romero) y D) testigo del producto empacado en ambos tipos de empaques biodegradables (CP y PLA).

O=I

A partir de la **Figura 23** se puede determinar que los empaques de Classpack de 20  $\mu\text{m}$  presentan un mayor consumo de oxígeno mostrando una disminución, al día 10 de almacenamiento, alcanzando concentraciones de 8,71% para el aceite de limón, 8,76% para el aceite de naranja y el 6,95% para el aceite de romero, siendo este último el mayor consumo de oxígeno hasta de 2,50% del porcentaje inicial de la composición de oxígeno en el empaque. Respecto a las muestras empacadas en PLA 40  $\mu\text{m}$ , al contrario presentan un aumento en el consumo de oxígeno. Este resultado puede atribuirse a que los aceites forman una barrera que evita la descomposición del producto y también que las propiedades de permeabilidad a los gases

que presenten estos empaques eviten el intercambio de gases con el entorno. Sin embargo, el consumo de oxígeno no presenta diferencias significativas en función del tratamiento con aceites esenciales (**Anexo 5**) y alcanza Los mayores valores (A1= 11,08%, A2= 12,24%, A3= 8,50%). El aceite esencial de romero es el que da como resultado un mayor consumo de oxígeno.



**Figura 23** Consumo de oxígeno (%O<sub>2</sub>) para los empaques de Classpack 20 μm y PLA 40 μm para cada tratamiento con aceite esencial **A)** naranja, **B)** limón, **C)** romero y **D)** Testigo.

Con respecto a la producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y consumo de CO<sub>2</sub>, como se puede apreciar en el análisis estadístico (**Anexo 4**), no existen diferencias significativas con respecto al material de empaque ni respecto a los diferentes tratamientos con aceites esenciales.

Por lo tanto, se puede afirmar que los tratamientos con aceites esenciales y el empaque no tienen influencia sobre la producción de gases de las ensaladas mixtas precortadas, y por ende en su proceso de respiración.

#### 4.1.4 Gradiente de color

La diferencia del color es un indicador fundamental de la calidad. El color se evaluó con la escala de CIELab. La mayor variación se presenta en los parámetros  $L^*$  y  $a^*$  para todos los tratamientos.

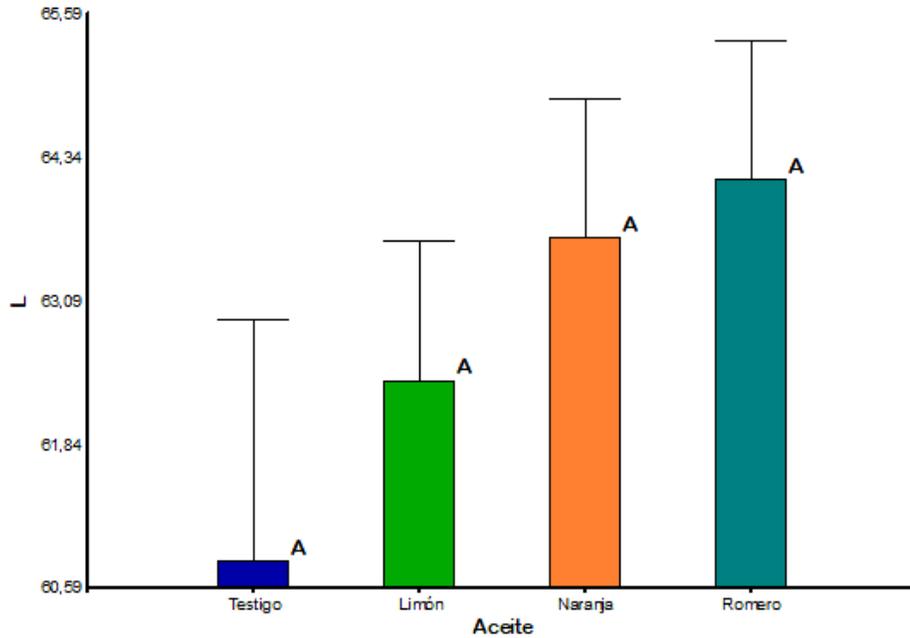
El almacenamiento promovió la disminución de tonalidades verdes en la lechuga y aumento de las tonalidades rojizas y marrones de acuerdo con lo esperado. Esto se ve reflejado en el parámetro  $a^*$ , lo que se atribuye a la degradación de la clorofila por el estrés metabólico inducido en las operaciones de corte y por la oxidación de fenoles [22]. Las ensaladas evaluadas están compuestas por diferentes tipos de productos frescos, en su gran mayoría por la lechuga la cual presenta pérdidas de color y presencia de pardeamiento por degradación de la clorofila.

En el **Cuadro 7**, se observa que las muestras tratadas con aceites esenciales presentan un retraso en el cambio de color en el periodo de almacenamiento. Además, el cambio de color presentado en las muestras empacadas en PLA (ácido poliláctico  $40 \mu m$ ) es menor con respecto al cambio de color de las muestras empacadas en empaque CP ( $20 \mu m$ ), lo cual indica que los empaques del PLA preservan el color del producto al generar un menor cambio en los parámetros con respecto al color inicial. Esto en función de los otros parámetros evaluados se puede atribuir a que el uso de este empaque generó un menor deterioro en la vida útil del producto con respecto al uso del empaque CP. Además, se puede evidenciar que para ambos empaques, el tratamiento con aceite de naranja es el que menor efecto tuvo sobre el cambio de color del producto. Este cambio es significativamente menor en comparación con los otros aceites.

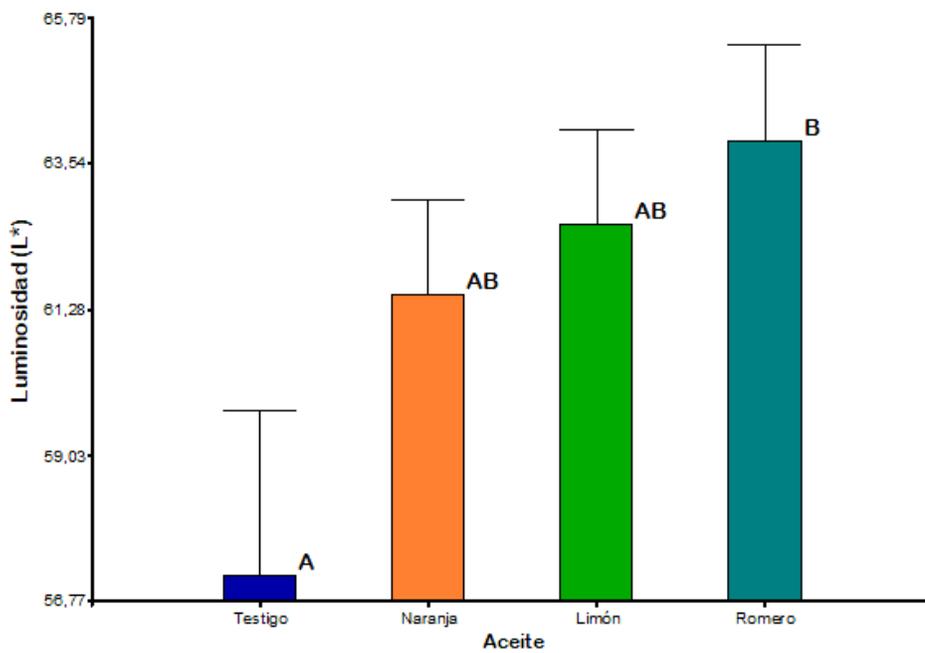
**Cuadro 7.** Gradiente de color ( $\Delta E$ ) en el producto durante el periodo de almacenamiento para los tratamientos con aceites esenciales y los empaques compostables.

Empaque	Aceite	$\Delta E$				
		Tiempo de almacenamiento (días)				
		1	3	6	8	10
CP	Limón	0,00	1,05	5,81	8,25	16,19
CP	Naranja	0,00	23,30	2,78	12,90	7,11
CP	Romero	0,00	2,76	7,99	8,58	13,13
CP	Testigo	0,00	8,62	159,65	39,74	12,54
PLA	Limón	0,00	15,83	3,09	18,51	7,45
PLA	Naranja	0,00	13,81	3,56	3,36	3,44
PLA	Romero	0,00	1,00	5,89	1,39	8,53
PLA	Testigo	0,00	2,42	25,62	24,80	7,62

Los resultados muestran que los valores del parámetro  $L^*$ , no presentan diferencias significativas ( $p = 0,1455$ ), entre los tratamientos que consistieron en la aplicación de diferentes aceites esenciales en la ensalada empacada en ácido poliláctico (PLA) (**Figura 24**). Sin embargo, para el empaque de Classpack (CP), las muestras testigo y las tratadas con aceite esencial de romero presentan diferencias significativas entre sí, como se muestra en la **Figura 25**. Las muestras presentan un aumento en la luminosidad ( $L$ ) que indica la presencia de tejido translucido durante el periodo de almacenamiento.

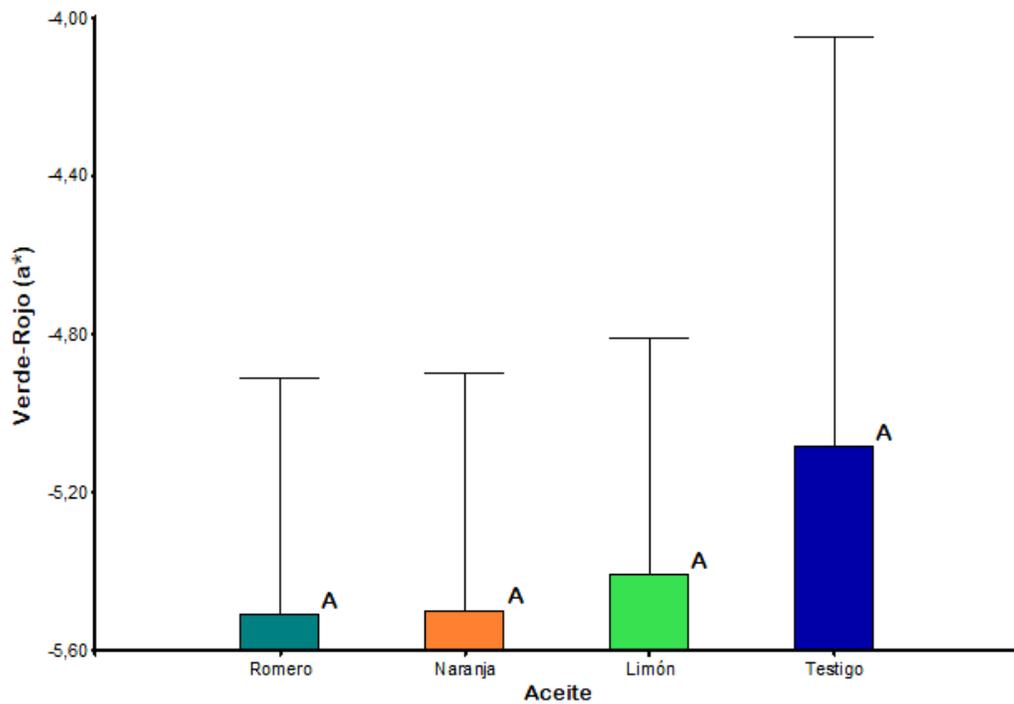


**Figura 24** Comportamiento del parámetro de luminosidad ( $L^*$ ) en los tratamientos de aceites esenciales para el empaque de ácido poliláctico (PLA).

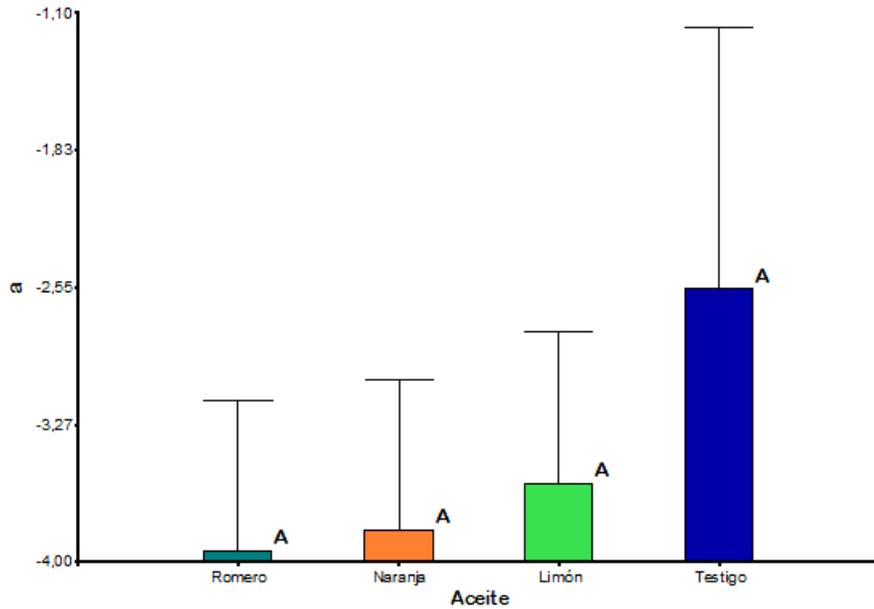


**Figura 25** Comportamiento del parámetro de luminosidad ( $L^*$ ) en los tratamientos de aceites esenciales para el empaque Classpack (CP).

El comportamiento del parámetro  $a^*$ , a lo largo del periodo de almacenamiento se mantiene en valores negativos, es decir en tonalidades verdes. Este resultado representa el color característico del tipo de lechuga usada en la elaboración de la ensalada. A partir del día 3 del periodo de almacenamiento presenta un cambio constante hacia las tonalidades rojas, que se deben a la oxidación y el pardeamiento de las hojas. Existen diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ) con respecto al primer día de almacenamiento y el décimo día, en función del parámetro de color  $a^*$  para el empaque CP. Para el empaque de PLA, también se presentan diferencias significativas únicamente para el tercer día de almacenamiento con respecto a los demás días de evaluación ( $p < 0,0001$ ). No hay diferencias significativas ( $p = 0,7878$ ) entre los diferentes tratamientos de aceites esenciales utilizados para ambos tipos de empaques (*Figura 26 y Figura 27*).



**Figura 26** Comportamiento del parámetro de color verde-rojo ( $a^*$ ) en el producto empacado en PLA para los diferentes tratamientos con aceites esenciales.



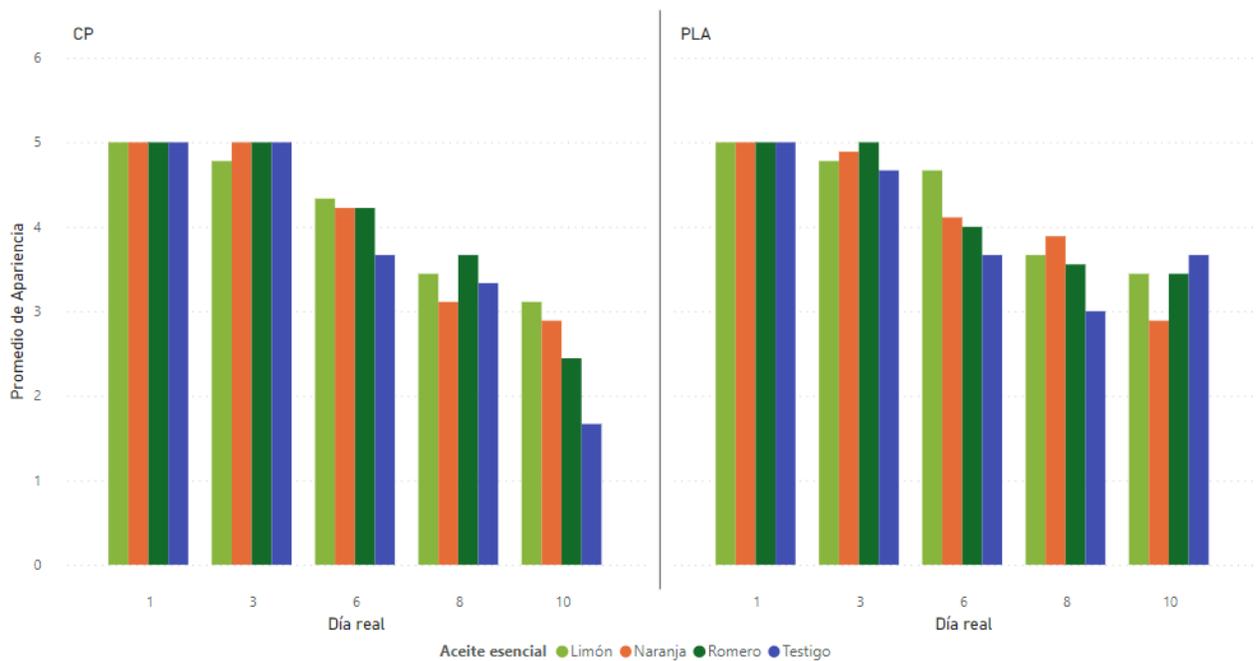
*Figura 27 Comportamiento del parámetro de color verde-rojo ( $a^*$ ) en el producto empacado en CP para los diferentes tratamientos con aceites esenciales.*

En cuanto al parámetro b (-b: azul; +b: amarillo), las tonalidades presentadas fueron positivas para todos los tratamientos, es decir, mostraron valores con mayor intensidad en el color amarillo para todas las muestras a lo largo del periodo de almacenamiento (**Anexo 9**). Este parámetro se podría afirmar que no representa el color dominante para los diferentes productos usados en la elaboración de la ensalada. Las diferencias presentadas en los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , permiten comprobar que existen diferencias notables en la estructura y composición de las hojas de ensaladas, además de reportar efectos en la estructura de la superficie de este producto, que permiten identificar la afectación de la calidad en su apariencia y factores asociados como la pérdida de peso.

#### **4.1.5 Apariencia y pardeamiento enzimático**

Los defectos de calidad visual son fundamentales para guiar el proceso de decisión de compra del consumidor. Los esfuerzos se han enfocado en medir y cuantificar los trastornos en la apariencia y en el pardeamiento enzimático, tanto en la academia como en la industria. En la evaluación las muestras empacadas en CP como se muestra en la Figura 28 Comportamiento de

apariciencia visual de las ensaladas mínimamente procesadas en cada tratamiento con aceite esencial (naranja, limón y romero). para los empaques de Classpack 20  $\mu\text{m}$  y PLA 40  $\mu\text{m}$ ., presentaron un índice de apariencia visual mayor con respecto a las muestras empacadas en PLA. La calificación global para las muestras testigo de PLA corresponde a 3,67 mientras que la calificación global para las muestras testigo en empaque CP corresponde a 1,67. Por lo que se puede apreciar una variación subjetiva del uso de ambos empaques en la apariencia visual del producto. Además, las muestras tratadas con el aceite esencial de limón presentan la calificación más alta en el día de evaluación 10 (3,11 para CP y 3,44 para PLA).



**Figura 28** Comportamiento de apariencia visual de las ensaladas mínimamente procesadas en cada tratamiento con aceite esencial (naranja, limón y romero). para los empaques de Classpack 20  $\mu\text{m}$  y PLA 40  $\mu\text{m}$ .

Los diferentes tratamientos con aceites esenciales no presentaron diferencias significativas, sin embargo, a partir del día 6 de almacenamiento se puede percibir que las muestras testigo presentan daños físicos en el producto. Estos daños se encuentran en más del 10% de la muestra y además presentan daños visibles, que posicionan el producto en el punto límite para ser consumido. Los principales defectos que determinaron las pérdidas en la apariencia visual fueron el marchitamiento, deterioro y daño mecánico por corte.



**Figura 29** Comparación de la apariencia visual de la muestra testigo con las muestras tratadas con aceite esenciales en empaques de PLA.

Los resultados del **Cuadro 8**, muestran que a partir del día seis de almacenamiento el pardeamiento aumenta y la apariencia disminuye en función a la escala visual utilizada. Además, las muestras testigo en ambos empaques presentan los mayores valores de pardeamiento según la escala usada durante el periodo de almacenamiento en comparación con las muestras con aceites esenciales. El pardeamiento aumento 3 puntos del día 6 al 10 de almacenamiento alcanzando los valores máximos según la escala para las muestras testigo.

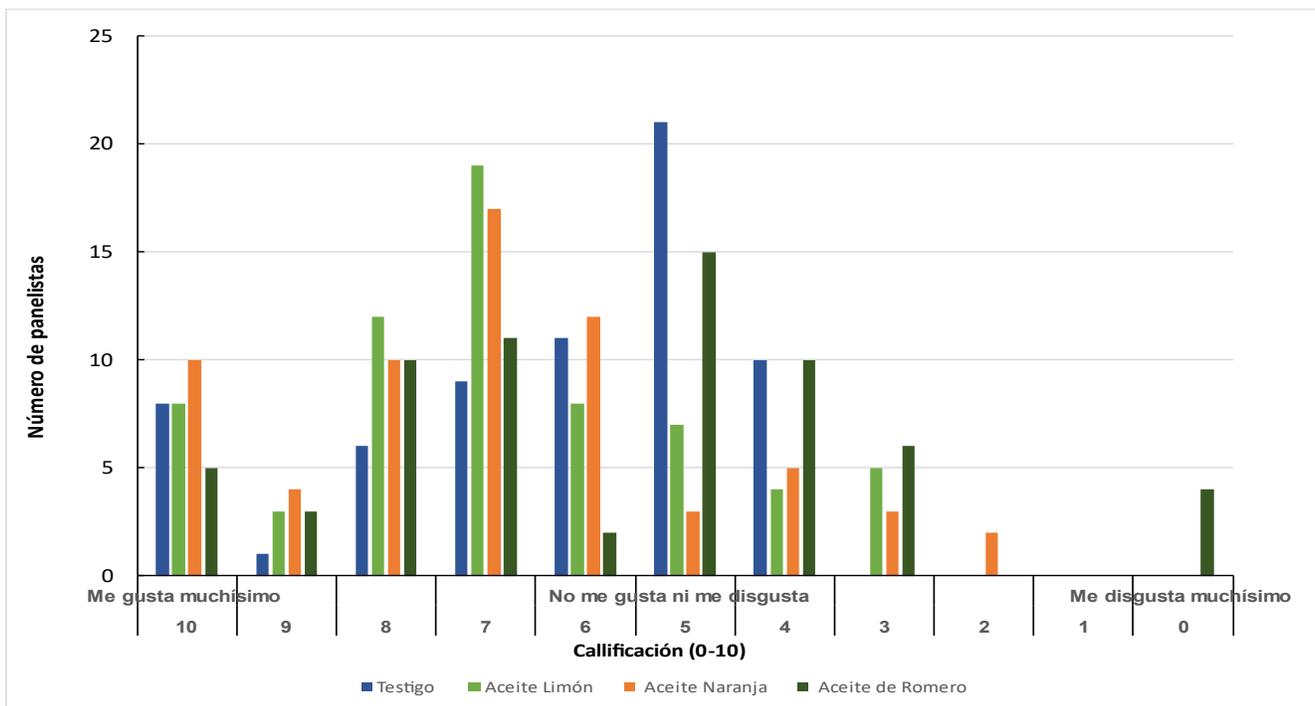
**Cuadro 8.** Evaluación de apariencia visual de la aplicación de tratamientos de aceites esenciales y empaques compostables en ensaladas mixtas precortadas.

Tratamiento	Empaque	Tiempo del almacenamiento (Días)				
		1	3	6	8	10
CP	Limón	5,0± 0,00	4,8 ± 0,44	4,3 ± 0,50	3,4 ± 0,53	3,1 ± 0,60
CP	Naranja	5,0 ± 0,00	5,0 ± 0,00	4,2 ± 0,67	3,1 ± 0,33	2,9 ± 0,93
CP	Romero	5,0 ± 0,00	5,0 ± 0,00	4,2 ± 0,67	3,7 ± 0,50	2,4 ± 0,53
CP	Testigo	5,0 ± 0,00	5,0 ± 0,00	3,7 ± 0,58	3,3 ± 0,58	1,7 ± 1,15
PLA	Limón	5,0 ± 0,00	4,8 ± 0,44	4,7 ± 0,50	3,7 ± 0,87	3,4 ± 0,73
PLA	Naranja	5,0 ± 0,00	4,9 ± 0,33	4,1 ± 0,60	3,9 ± 0,33	2,9 ± 0,93
PLA	Romero	5,0 ± 0,00	5,0 ± 0,00	4,0 ± 0,87	3,6 ± 0,53	3,4 ± 0,88
PLA	Testigo	5,0 ± 0,00	4,7 ± 0,58	3,7 ± 0,58	3,0 ± 0,00	3,7 ± 0,58

## 4.2 Análisis sensorial del producto terminado

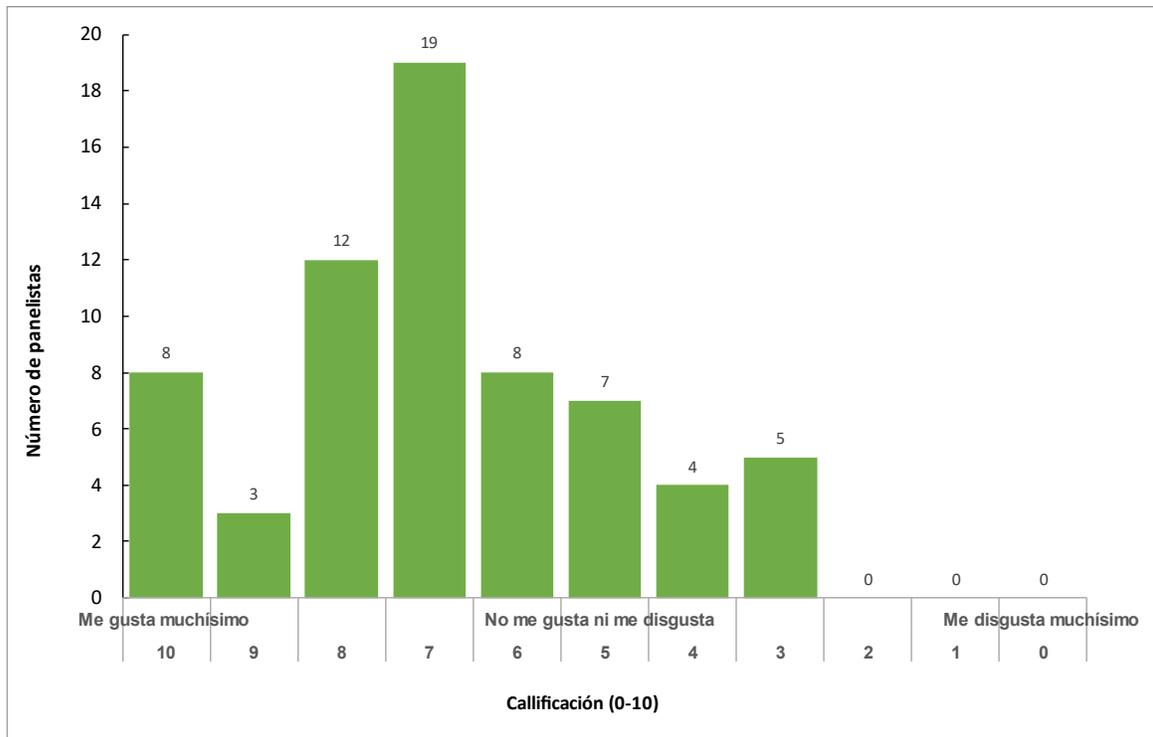
Se realizó el panel sensorial de aceptación, en una población 66 personas con edades entre los 18 y 68 años, de las cuales un 57,1% corresponden al sexo masculino y un 42,9% corresponden al sexo femenino. Entre la muestra de la población que realizó la evaluación se identifica personal técnico, administrativo y estudiantil de la Universidad de Costa Rica. La mayoría de los consumidores (85,3%) indicó haber comido vegetales mínimamente procesados.

El agrado general de las ensaladas mixtas precortadas tratadas con aceites esenciales (romero, naranja y limón) fue de 7,20 (me gusta moderadamente/ me gusta mucho), para las cuatro muestras presentadas y evaluadas. Como se observa en la *Figura 30*, los resultados de la valoración global de cada tratamiento indican que la muestra con mayor aceptación corresponde a la tratada con aceite de limón con una aceptación del 25 % de todos los panelistas en una escala de 8. Este resultado significa que la calificación de “Me gusta mucho” prevalece para este aceite. Además, con la calificación de “me gusta muchísimo” el tratamiento con aceite esencial de naranja sobresale con la puntuación reportada.

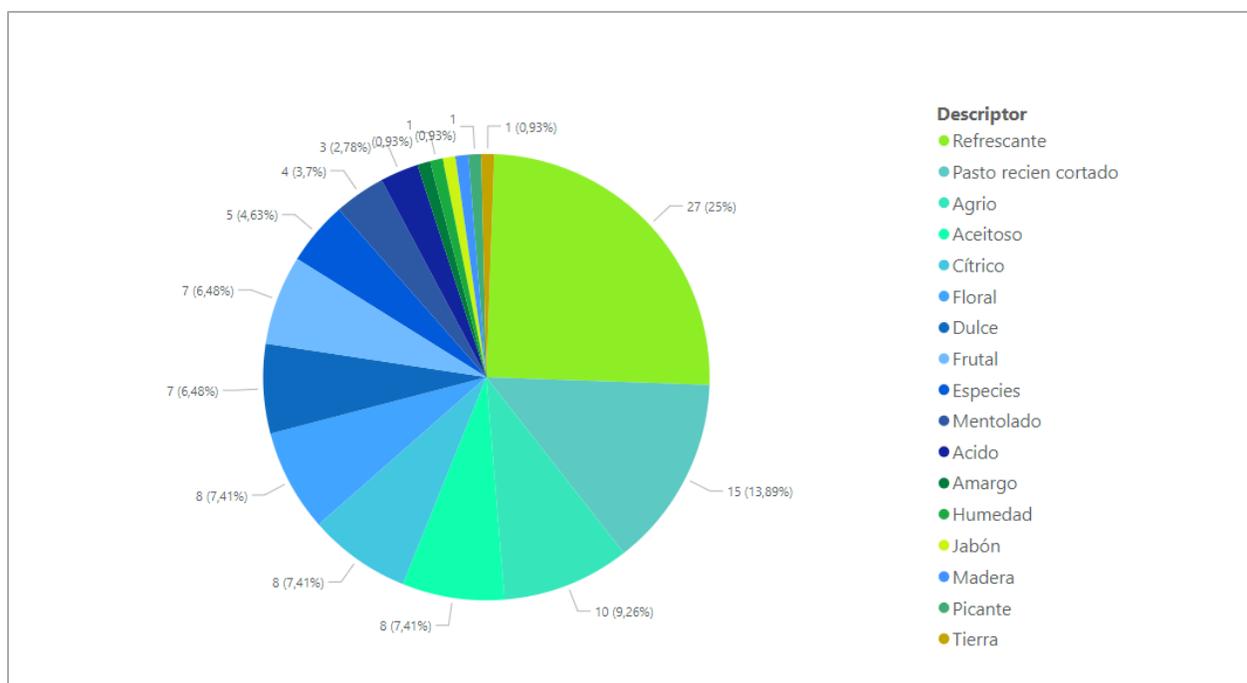


*Figura 30* Valoración global de los consumidores por muestra en la escala hedónica usada.

Como se muestra en la **Figura 31**, las ensaladas tratadas con aceite esencial de limón presentaron a nivel sensorial, una calificación de aproximadamente 7,12 lo que representa un grado de aceptación similar al general que se le da a todas las muestras en la valoración global, posicionándose en un valor de aceptación moderada. Aunado a ello, como parte de los descriptores que mejor describen el producto, por medio del método CATA (*Check all that apply*), los consumidores eligieron que la muestra tenía notas refrescantes (25%), además de sabor a pasto recién cortado, así como también percepciones de agrio y aceitoso. Estas descripciones son notas sensoriales comunes del aceite esencial de limón.

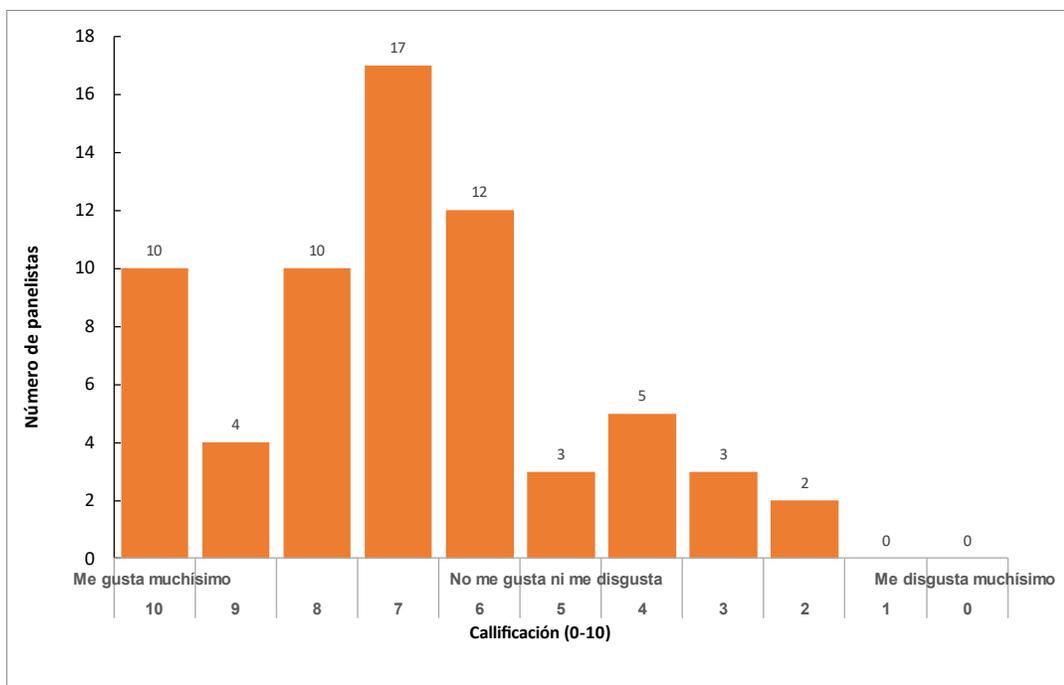


**Figura 31** Valoración en la escala hedónica para las muestras tratadas con el aceite esencial de limón.

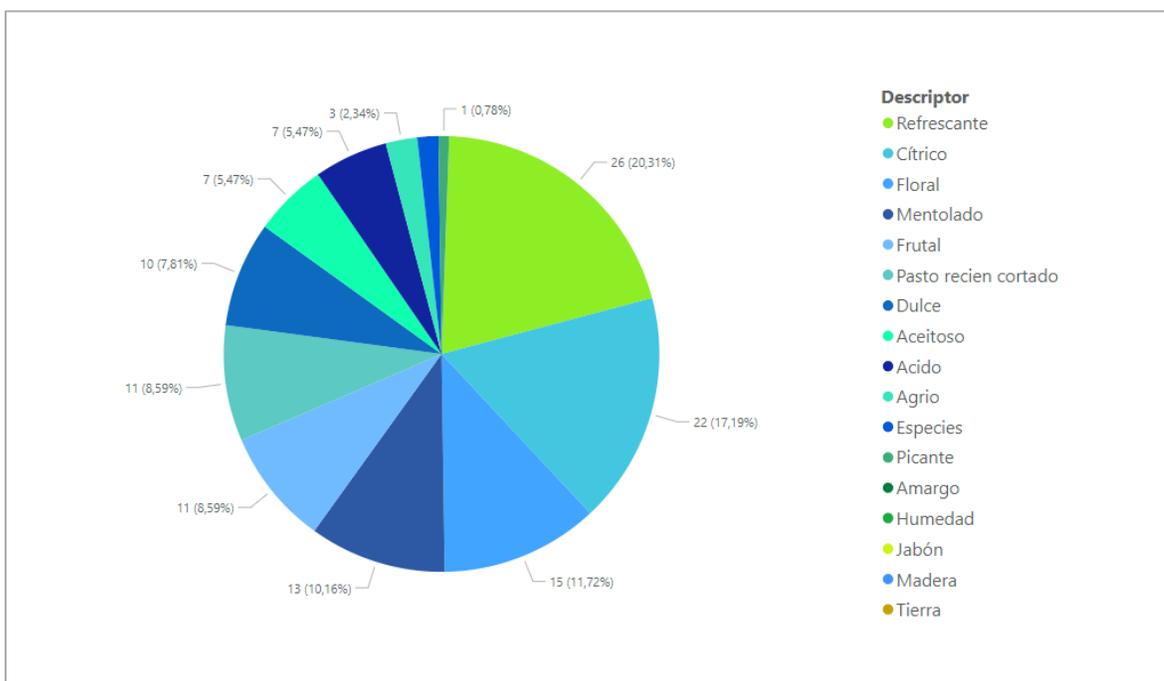


**Figura 32** Descriptores sensoriales percibidos por los consumidores para muestras tratadas con aceite esencial de limón, según la evaluación CATA.

Las muestras tratadas con aceite esencial de naranja (M3) presentaron una tendencia similar a las muestras tratadas con aceite esencial de limón. Como se muestra en la Figura 32, los descriptores más destacados para este tratamiento correspondieron principalmente a refrescante (20,3 %), cítrico (17,19 %) y floral (17,19%). Como parte de la valoración hedónica, en promedio la calificación obtenida corresponde a 7,02, lo que representa al igual que la escala global una calificación de agrado referente a “me gusta moderadamente/ me gusta mucho”.

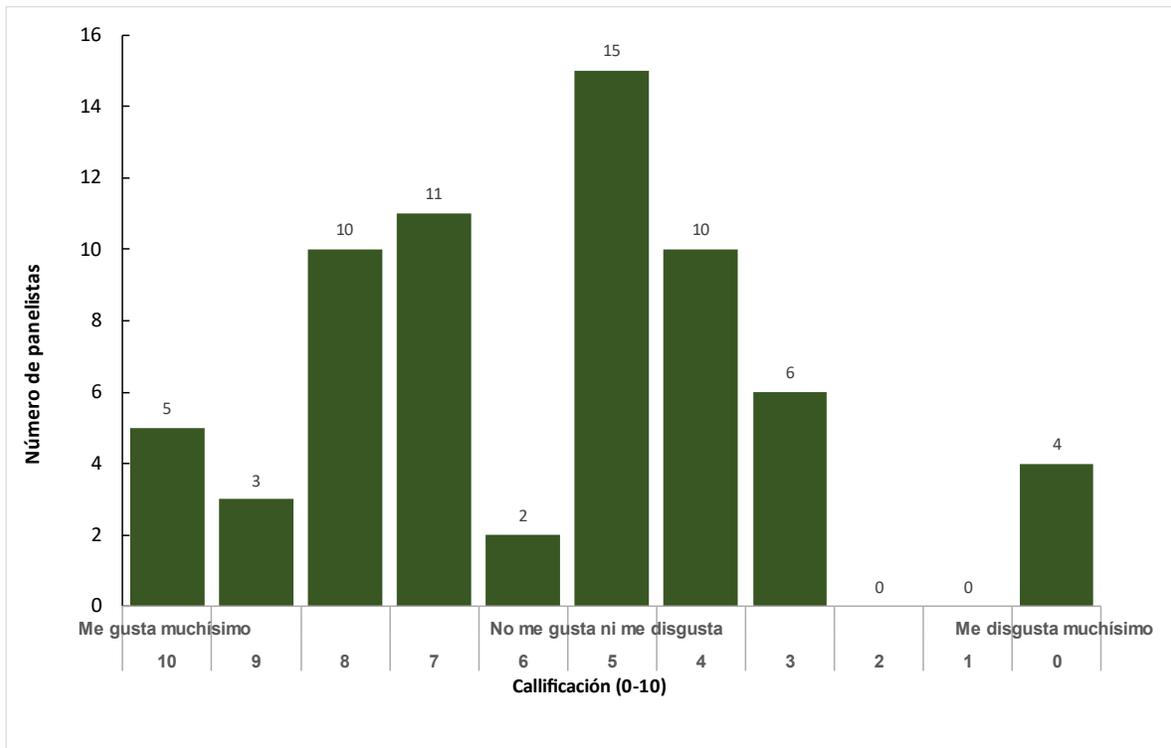


**Figura 33** Resultados de la valoración en la escala hedónica del número de panelistas versus la calificación para las muestras tratadas con aceite esencial de naranja.

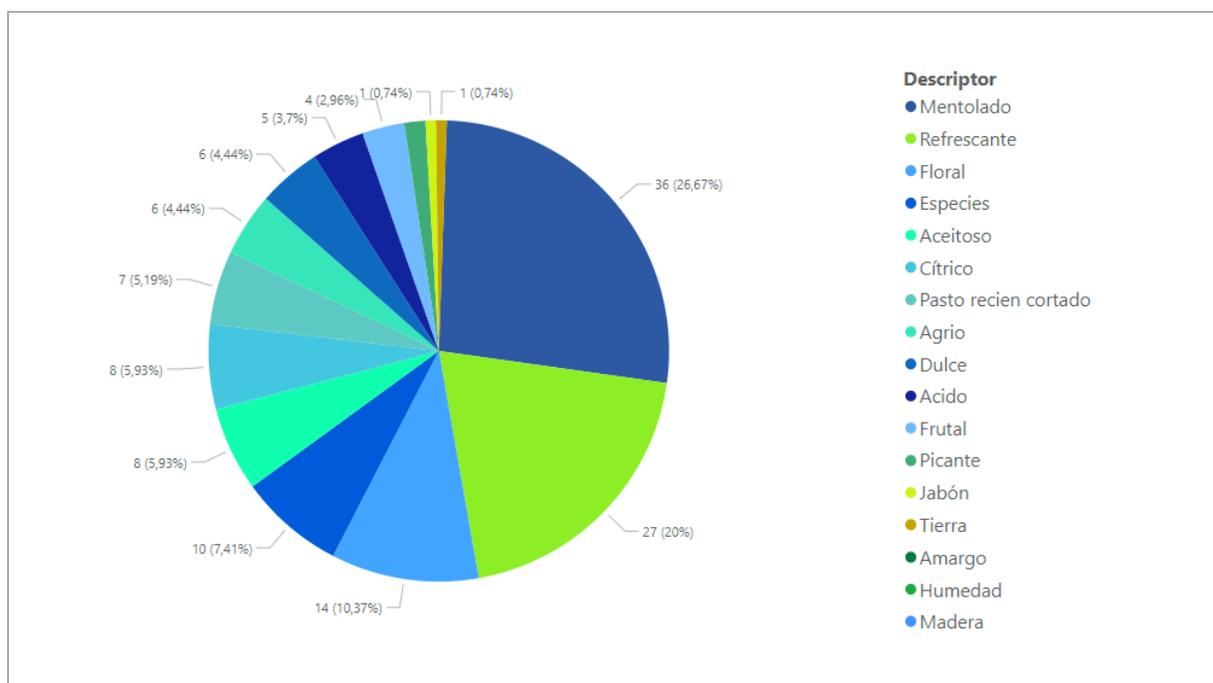


**Figura 34** Descriptores sensoriales percibidos por los consumidores para muestras tratadas con aceite esencial de naranja según la evaluación CATA.

El tratamiento con aceite esencial de romero es el que recibe una menor calificación promedio en comparación con los otros tratamientos como se observa en la **Figura 35**. Las muestras para este tratamiento son calificadas mayoritariamente con un valor de 5, que indica a nivel de agrado que el sabor de este producto no gusta ni disgusta al consumidor. A nivel de promedio global el tratamiento con aceite esencial de romero la calificación recibida es de 6,8. Además, como parte de la evaluación descriptiva (**Figura 36**) se puede determinar que el tratamiento tiene como característica ser refrescante (20 %), sin embargo, su principal característica es el sabor ‘mentolado’ (26,7%).



**Figura 35** Resultados de la valoración hedónica para las muestras tratadas con aceite esencial de romero.



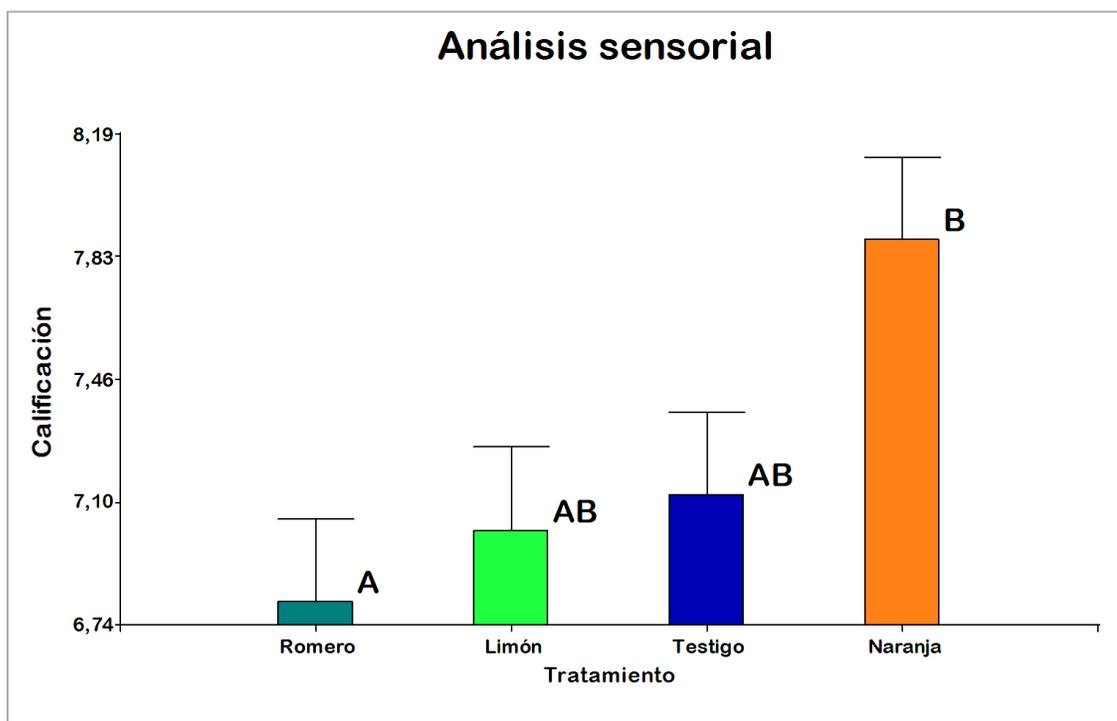
**Figura 36** Descriptores sensoriales percibidos por los consumidores para muestras tratadas con aceite esencial de romero según la evaluación CATA.

El análisis de varianza (ANOVA) para los diferentes tratamientos evaluados en el panel sensorial se puede observar en el **Cuadro 9**. Esta muestra que se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes aceites. El valor de probabilidad  $p = 0,0024$  es menor al valor de significancia establecido ( $p < 0,05$ ). Lo que quiere decir que los tratamientos sometidos a la prueba de agrado poseen diferencias significativas entre sí.

**Cuadro 9.** Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de los diferentes tratamientos evaluados en el panel sensorial.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>de Grados de libertad</i>	<i>de Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>
Panelistas	475,95	65	7,32	2,51	0,0000
Muestras	43,47	3	14,49	4,96	<b>0,0024</b>
Error	569,53	195	2,92		
Total	1088,95	263,00			

La **Figura 37** muestra las diferencias significativas entre los aceites. El tratamiento con el aceite esencial de romero reportó la calificación más baja (6,80 ~ me gusta poco/me gusta moderadamente), con respecto al aceite esencial de naranja. Este último mostró una mayor aceptación (7,88~ me gusta mucho) por parte de los panelistas.



*Figura 37 Medias de la calificación de agrado general de los tratamientos evaluados en el panel sensorial.*

### **4.3 Propiedades de barrera de los empaques compostables**

#### **4.3.1 Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua**

El estudio de la permeabilidad al vapor de agua se ejecutó mediante las especificaciones de la norma ASTM E96, haciendo uso del método del agua que es un método que se puede adaptar a las condiciones del laboratorio donde se ejecutaron los ensayos. Este método se describe como un estudio gravimétrico. Los pesos de cada placa en análisis se registraron periódicamente.

Durante el ensayo se registraron los pesajes de cada una de las muestras hasta un máximo de 360 horas (15 días). A partir de estos registros, se determinó la pérdida de peso para cada una de las muestras evaluadas. El **Cuadro 10** muestra los resultados gravimétricos de las muestras sometidas al estudio de la permeabilidad al vapor de agua. La masa de agua dentro del recipiente va en descenso con respecto al tiempo, evidenciando el fenómeno de escape de vapor de agua por las películas de PLA.

***Cuadro 10.** Resultados gravimétricos de las muestras de los materiales de empaque en las placas de ensayo sometidas al estudio de la permeabilidad del vapor de agua.*

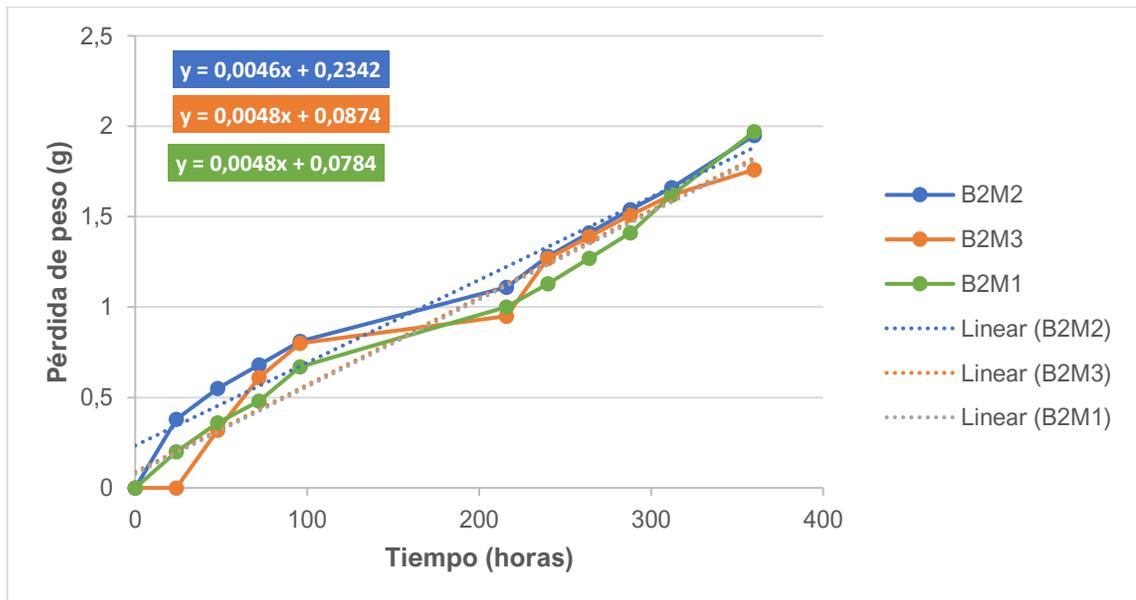
Muestra	Tiempo (Horas)										
	0	24	48	72	96	216	240	264	288	312	360
	Peso (g)										
<b>B1T</b>	27,8	27,86	27,86	27,84	27,86	27,86	27,86	27,85	27,86	27,84	27,85
<b>B2T</b>	27,76	27,8	27,78	27,78	27,78	27,78	27,78	27,78	27,78	27,78	27,78
<b>B1M1</b>	41,62	41,41	41,03	40,8	40,66	40,44	40,32	40,23	40,15	40,08	39,82
<b>B1M2</b>	44,38	44,35	44,24	44,09	44,01	43,84	43,74	43,63	43,53	43,46	43,29
<b>B1M3</b>	42,24	42,23	42,11	41,91	41,76	41,4	41,3	41,21	41,1	40,96	40,63
<b>B2M1</b>	39,68	39,48	39,32	39,2	39,01	38,68	38,55	38,41	38,27	38,06	37,71
<b>B2M2</b>	42,29	41,91	41,74	41,61	41,48	41,18	41,01	40,88	40,75	40,63	40,34
<b>B2M3</b>	41,07	40,75	40,46	40,27	40,12	39,8	39,68	39,56	39,45	39,31	39,02

En el **Cuadro 11**, se muestra la pérdida de peso determinada para cada una de las muestras. Las muestras del material de empaque de Classpack (B2) experimentaron una disminución promedio en su peso de  $1,99 \pm 0,05$  y las muestras de material de Ácido Poliláctico (PLA) (B1) una disminución promedio de  $1,5 \pm 0,37$ . Esta diferencia en la pérdida de peso puede inferir probablemente en que los materiales tengan permeabilidades distintas al vapor de agua, debido a que todas las muestras fueron sometidas a las mismas condiciones experimentales.

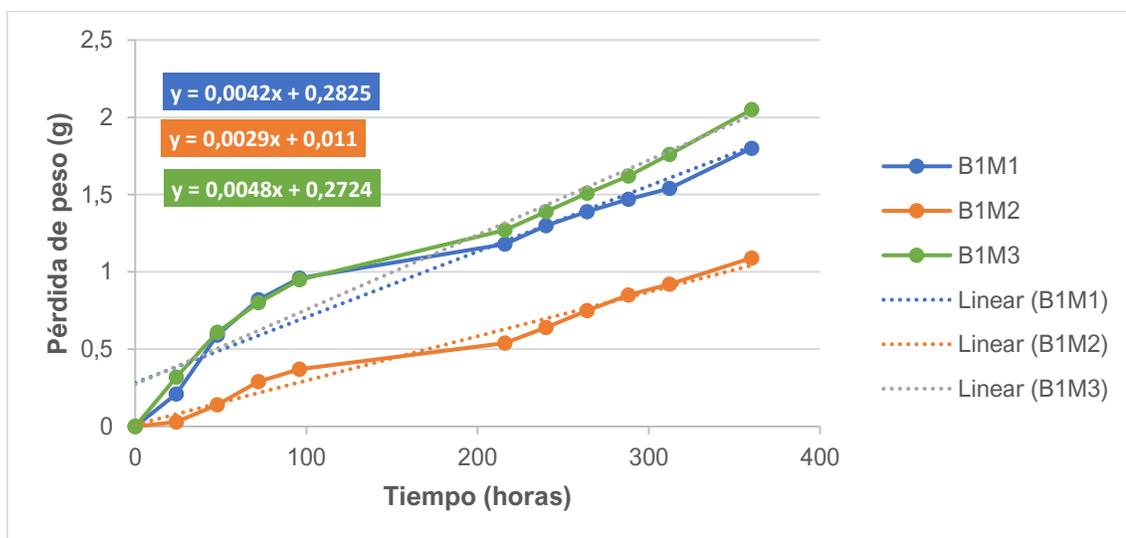
**Cuadro 11.** Pérdida de peso experimentada por las muestras de los materiales de empaque durante el desarrollo del ensayo de la permeabilidad al vapor de agua.

Muestra	Tiempo (Horas)										
	0	24	48	72	96	216	240	264	288	312	360
B1M1	0	0,21	0,59	0,82	0,96	1,18	1,3	1,39	1,47	1,54	1,8
B1M2	0	0,03	0,14	0,29	0,37	0,54	0,64	0,75	0,85	0,92	1,09
B1M3	0	0,01	0,13	0,33	0,48	0,84	0,94	1,03	1,14	1,28	1,61
B2M1	0	0,2	0,36	0,48	0,67	1	1,13	1,27	1,41	1,62	1,97
B2M2	0	0,38	0,55	0,68	0,81	1,11	1,28	1,41	1,54	1,66	1,95
B2M3	0	0,32	0,61	0,8	0,95	1,27	1,39	1,51	1,62	1,76	2,05

Una vez finalizado el ensayo y el registro completo de los datos necesarios, la información se procesa mediante un gráfico de dispersión lineal de pérdida de peso vs tiempo. Posteriormente, un análisis de regresión lineal se realizó para determinar la pendiente para ambos materiales. Una vez obtenido el valor de la pendiente se puede realizar el cálculo del índice de transferencia al vapor de agua.



**Figura 38** Comportamiento de la pérdida de peso versus tiempo para el empaque de Classpack (20um).



**Figura 39** Comportamiento de la pérdida de peso versus tiempo para el ensayo de la permeabilidad del empaque de PLA (40 $\mu$ m).

La permeabilidad al vapor de agua para las muestras de ácido poliláctico (PLA 40  $\mu$ m) presenta una permeabilidad mayor que las láminas de material Classpack (20 $\mu$ m), como se observa en el **Cuadro 12**. Los valores promedio encontrados para la permeabilidad del vapor de agua de estos materiales se encuentran dentro de los valores reportados de permeabilidad de vapor de agua en películas similares. En la investigación de Cortés (2016), se reportan coeficientes de permeabilidad para diferentes composiciones de lámina con PLA, en donde el valor de permeabilidad para el PLA ronda entre  $1,83 \times 10^{-11}$  gm/m<sup>2</sup>sPa y  $1,95 \times 10^{-11}$  gm/m<sup>2</sup>sPa [104]. Además, Rhim et al (2009) encuentran para este material un coeficiente de  $1,80 \times 10^{-11}$  gm/m<sup>2</sup>sPa [106].

**Cuadro 12.** Resumen de los cálculos del ensayo de permeabilidad de vapor para el PLA.

Muestra	Pendiente (g/h)	Área (m <sup>2</sup> )	TVA (g/hm <sup>2</sup> )	Permeanza (g/hm <sup>2</sup> Pa)	PVA (gm/sm <sup>2</sup> Pa)
B1M1	0,0042	0,0020096	2,09	1,07E-03	1,19E-11
B1M2	0,0029	0,0020096	1,44	7,37E-04	8,2E-12
B1M3	0,0042	0,0020096	2,09	1,07E-03	1,19E-11
B2M1	0,0048	0,0020096	2,39	1,22E-03	6,77E-12
B2M2	0,0046	0,0020096	2,29	1,17E-03	6,49E-12
B2M3	0,0048	0,0020096	2,39	1,22E-03	6,77E-12

El grosor de la lámina del empaque tiene una influencia directa en la capacidad de barrera que tiene el material y el desempeño de esta con respecto a la permeabilidad al vapor de agua. Las láminas de Classpack tienen una menor permeabilidad al vapor de agua, por ende, la transmisión de vapor de agua (TVA) es mayor para este material. Este efecto se ve reflejado en las diferencias significativas presentadas en la pérdida de masa que se obtuvo en mayor proporción en los resultados de la evaluación de las propiedades fisicoquímicas por el uso de estos materiales. El PLA en sus presentaciones se ha mostrado como un material de empaque alternativo a los plásticos convencionales de difícil degradación. En contraste, la propiedad de barrera de este material comparada con la propiedad de barrera de los materiales convencionales tiende a ser una limitante en la aplicación a productos en los que la pérdida de humedad durante el almacenamiento es un factor importante.

Estadísticamente, ambos materiales presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto a la pérdida de peso durante el ensayo y con respecto a los valores de la permeabilidad al vapor de agua (PVA), lo cual se evidencia tanto en estos resultados, como en el comportamiento de este material con respecto a las evaluaciones de los parámetros fisicoquímicos. Como se muestra en la sección 4.1.1, se evidencia que la pérdida de peso presenta diferencias significativas con respecto a los dos materiales compostables y se puede asociar la pérdida de peso mayor en los empaques compostables, debido a su baja permeabilidad del vapor de agua y por ende a la que la tasa de transferencia de este es mayor y por lo tanto genera una mayor pérdida de peso. Además, sujeto a este resultado, en la sección 4.1.5, se refleja esta pérdida de peso y las diferencias entre los tipos de empaques y su permeabilidad en los resultados obtenidos de apariencia visual, donde se evidencia que el empaque de Classpack provoca que la apariencia visual del producto se vea afectada negativamente en un menor tiempo.

#### **4.4 Análisis multicriterio**

Los resultados del análisis multicriterio se presentan en los cuadros **14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23** así como los cálculos detallados empleados para realizar este análisis se encuentran en el **Anexo 10**. Los criterios evaluados para el día 10 de almacenamiento de producto se utilizaron debido a que refleja el comportamiento final del producto. Este día corresponde al último día de evaluación. En el **Cuadro 13**, se presentan los valores evaluados de los criterios y alternativas para el análisis multicriterio. Posteriormente, una comparación mediante la escala de Saaty se

realiza y se obtiene el peso relativo de cada uno de los criterios. Estos pesos resultantes se presentan en el **Cuadro 14**.

*Cuadro 13. Matriz comparativa de alternativas y criterios para la selección multicriterio de combinación empaque-aceite.*

Alternativas/Criterios	Perdida de peso	pH	Cambio Color	Apariencia	Sabor
CP Romero	5,26	6,39	13,13	2,44	6,80
PLA Romero	3,95	6,46	8,53	3,44	6,80
CP Naranja	6,26	6,51	7,11	2,89	7,88
CP Limón	6,52	6,56	16,19	3,67	7,02
PLA Limón	3,08	6,64	7,45	3,44	7,02
PLA Naranja	3,36	6,67	3,44	2,89	7,88

*Cuadro 14. Matriz de comparaciones de criterios principales.*

Criterios	Perdida de peso	pH	Cambio Color	Apariencia	Sabor
<b>Perdida de peso</b>	1	3	1	3	5
<b>pH</b>	1/3	1	1/3	1/3	1/5
<b>Cambio Color</b>	1	3	1	1	3
<b>Apariencia</b>	1/3	3	1	1	1/3
<b>Sabor</b>	1/5	5	1/3	3	1

A partir de la normalización de la matriz del Cuadro 15 se obtuvieron los vectores promedio. Estos permitieron determinar que el índice de consistencia (CI) es de 0,24 y el radio de consistencia (RC) 10%, se comprobó que las ponderaciones realizadas se mantienen en un rango aceptable de inconsistencia por lo que se determina el vector promedio, mostrado en el **Cuadro 15**.

**Cuadro 15. Vectores promedio de ponderación para criterios.**

<b>Criterio</b>	<b>Vector promedio</b>
Pérdida de peso	0,34
pH	0,07
Cambio Color	0,25
Apariencia	0,15
Sabor	0,19
Perdida de peso	0,34

Posteriormente, se procedió a comparar las alternativas en función de cada uno de los criterios. La comparación entre criterios se realizó en función de los valores obtenidos durante la evaluación de parámetros fisicoquímicos y sensorial realizadas. Se realizó el análisis de pesos para cada uno de los criterios obteniendo así para la pérdida de peso (**Cuadro 16**), pH (**Cuadro 17**), cambio de color (**Cuadro 18**), apariencia (**Cuadro 19**) y sabor (**Cuadro 20**), las matrices mostradas. Además, se muestra a continuación el análisis realizado para cada uno de los criterios en función de las alternativas, mediante las cuales se le dio el peso de comparación en la matriz:

**Pérdida de peso**

*PLA-limón > PLA naranja > PLA-romero > CP romero >CP-naranja>CP-limón*

**Cuadro 16. Matriz de comparativa de la pérdida de peso para las alternativas de combinación aceite-empaque.**

<b>Alternativas</b>	<b>PLA Limón</b>	<b>PLA Naranja</b>	<b>PLA Romero</b>	<b>CP Limón</b>	<b>CP Naranja</b>	<b>CP Romero</b>
<b>PLA Limón</b>	1	3	3	9	7	5
<b>PLA Naranja</b>	1/3	1	3	7	7	5
<b>PLA Romero</b>	1/3	1/3	1	7	5	3
<b>CP Limón</b>	1/9	1/7	1/7	1	1/3	1/5
<b>CP Naranja</b>	1/7	1/7	1/5	3	1	1/3
<b>CP Romero</b>	1/5	1/5	1/3	5	3	1

## pH

*CP romero > PLA romero > CP naranja > CP limón > PLA limón > PLA naranja*

*Cuadro 17. Matriz de comparativa de pH para las alternativas de combinación aceite-empaque.*

Alternativas	PLA Limón	PLA Naranja	PLA Romero	CP Limón	CP Naranja	CP Romero
<b>PLA Limón</b>	1	3	1/5	1/3	1/3	1/7
<b>PLA Naranja</b>	1/3	1	1/7	1/5	1/5	1/9
<b>PLA Romero</b>	5	7	1	3	3	1/3
<b>CP Limón</b>	3	5	1/3	1	1/3	1/5
<b>CP Naranja</b>	3	5	1/3	3	1	1/3
<b>CP Romero</b>	7	9	3	5	3	1

## Cambio de color

*PLA naranja > CP naranja > PLA limón > PLA romero > CP romero > CP limón*

*Cuadro 18. Matriz de comparativa de cambio de color para las alternativas de combinación aceite-empaque.*

Alternativas	PLA Limón	PLA Naranja	PLA Romero	CP Limón	CP Naranja	CP Romero
<b>PLA Limón</b>	1	1/3	3	7	1/3	5
<b>PLA Naranja</b>	3	1	5	9	3	7
<b>PLA Romero</b>	1/3	1/5	1	5	1/3	3
<b>CP Limón</b>	1/7	1/9	1/5	1	1/7	1/3
<b>CP Naranja</b>	3	1/3	3	7	1	5
<b>CP Romero</b>	1/5	1/7	1/3	3	1/5	1

## Apariencia

*CP limón > PLA romero = PLA limón > CP naranja = PLA naranja > CP romero*

*Cuadro 19. Matriz de comparativa de apariencia para las alternativas de combinación aceite-empaque.*

Alternativas	PLA Limón	PLA Naranja	PLA Romero	CP Limón	CP Naranja	CP Romero
<b>PLA Limón</b>	1	3	1	1/3	3	5
<b>PLA Naranja</b>	1/3	1	1/3	1/5	1	3
<b>PLA Romero</b>	1	3	1	1/3	3	5
<b>CP Limón</b>	3	5	3	1	5	7
<b>CP Naranja</b>	1/3	1	1/3	1/5	1	3
<b>CP Romero</b>	1/5	1/3	1/5	1/5	1/7	1

### Sabor

*PLA naranja = CP naranja > PLA limón = CP limón > CP romero = PLA romero*

*Cuadro 20. Matriz de comparativa de sabor para las alternativas de combinación aceite-empaque.*

Alternativas	PLA Limón	PLA Naranja	PLA Romero	CP Limón	CP Naranja	CP Romero
<b>PLA Limón</b>	1	1/3	3	1	1/3	3
<b>PLA Naranja</b>	3	1	5	3	1	5
<b>PLA Romero</b>	1/3	1/5	1	1/3	1/5	5
<b>CP Limón</b>	1	1/3	3	1	1/3	3
<b>CP Naranja</b>	3	1	5	3	1	5
<b>CP Romero</b>	1/3	1/5	1/5	1/3	1/5	1

A partir de estas matrices comparativas se obtiene la comprobación de los índices de criterio y radios de criterio para cada una de las alternativas. Los resultados de estos índices se muestran en el **Cuadro 21** para cada uno de los criterios evaluados y las alternativas. Se muestra que todos se encuentran dentro del valor de ratio aceptable de 10%. Una vez comprobados para los índices se determinaron los vectores promedio de cada uno de las alternativas criterio, mostradas en el **Cuadro 22**.

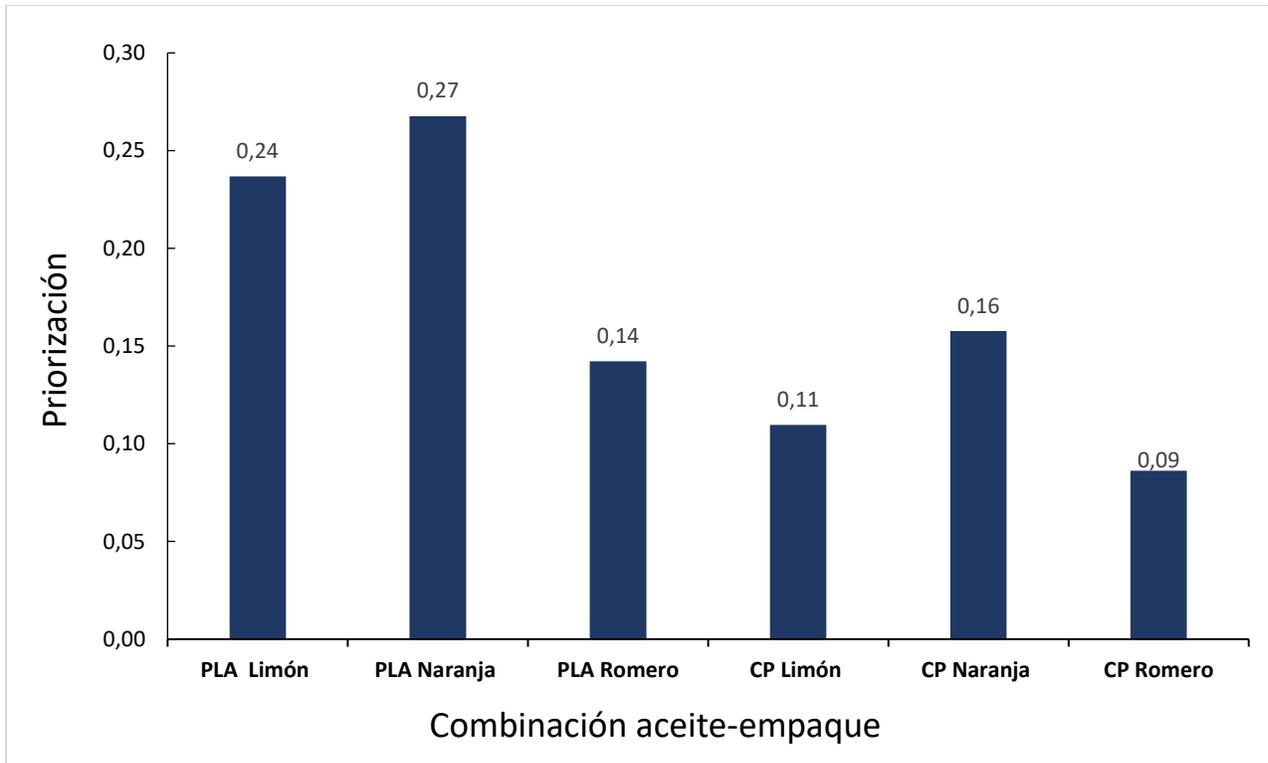
**Cuadro 21.** Índices de consistencia y ratios de consistencia para los criterios evaluados por las alternativas.

<b>Criterio</b>	<b>Índice de consistencia</b>	<b>Ratio de consistencia</b>
<b>Perdida de peso</b>	0,13	10%
<b>pH</b>	0,1	8%
<b>Cambio Color</b>	0,11	9%
<b>Apariencia</b>	0,05	4%
<b>Sabor</b>	0,09	7%

**Cuadro 22.** Vectores promedio de las alternativas según el criterio.

<b>Alternativas/Criterios</b>	<b>Perdida de peso</b>	<b>pH</b>	<b>Cambio Color</b>	<b>Apariencia</b>	<b>Sabor</b>
<b>PLA Limón</b>	0,40	0,05	0,17	0,19	0,13
<b>PLA Naranja</b>	0,27	0,03	0,41	0,079	0,31
<b>PLA Romero</b>	0,17	0,24	0,10	0,19	0,08
<b>CP Limón</b>	0,03	0,10	0,03	0,41	0,13
<b>CP Naranja</b>	0,05	0,15	0,24	0,07	0,31
<b>CP Romero</b>	0,09	0,42	0,05	0,03	0,04

En la **Figura 40**, se muestra la priorización, determinada a partir de los vectores promedio de las alternativas (**Cuadro 22**) y la ponderación realizada para cada uno de los criterios (**Cuadro 15**). Donde se puede observar que mediante esta metodología se obtiene que la muestra con mayor prioridad a ser la mejor combinación empaque es la de PLA 40  $\mu m$  con las ensaladas tratadas con aceite esencial de naranja (27%). Además, se puede observar que el uso de empaques PLA 40 $\mu m$  tiene prioridad en la conservación de características con respecto al empaque de Classpack 20  $\mu m$ , según el análisis de criterio realizado. El análisis multicriterio, indica que el aceite de naranja tiene prioridad sobre el uso de los otros aceites para ambos empaques, así como que el uso del aceite esencial de romero (9-14%) tiene una menor prioridad para ser la mejor opción de uso en la aplicación de los aceites esenciales.



**Figura 40.** Priorización según el análisis multicriterio para las alternativas de combinación de empaque-aceite.

## 5 CONCLUSIONES

1. El tiempo máximo de almacenamiento según los parámetros fisicoquímicos analizados para determinar la vida útil del producto en empaque de PLA es de 8 días y el tiempo máximo para el producto en empaque de CP es de 6 días de almacenamiento.
2. Los empaques de CP presentaron un deterioro más evidente en la ensalada durante las condiciones de almacenamiento. Su mayor efecto se ve reflejado en la pérdida de peso (en promedio 6,45%) y los resultados de la apariencia visual (1,67) del producto, en esta muestra valores superiores con respecto al producto empacado en PLA 40  $\mu\text{m}$  (3,47 % pérdida de peso promedio y ~4 de calificación para la apariencia visual).
3. La aplicación de aceites esenciales tiene un efecto positivo sobre la oxidación de los productos que componen las ensaladas mixtas precortadas, mas no existe una diferencia con respecto al empaque utilizado que varíe las propiedades del pH.
4. Se evidenció un retardo en el cambio de color atribuible al uso de aceites esenciales. El aceite esencial de naranja (*Citrus sinerensis*) retardó más el cambio de color en las ensaladas empacadas en Classpack 20  $\mu\text{m}$  ( $\Delta E = 7,11$ ) y en las empacadas en PLA 40  $\mu\text{m}$  ( $\Delta E = 3,44$ ), en comparación con los otros aceites.
5. Los empaques de PLA 40  $\mu\text{m}$  ( $\Delta E = 3,44$  a 8,53) presentaron un menor cambio en el color con respecto a los empaques de CP ( $\Delta E = 7,11$  a 16,9). Las mayores variaciones en el color de las ensaladas en todos los tratamientos se presentaron en los parámetros L\* (luminosidad); debido a la aparición de transparencias y translucidez en el producto y a\*(-a: rojo; +a: verde) evidenció las tonalidades rojizas debido a la presencia de pardeamiento y oxidación de las ensaladas durante el almacenamiento.
6. Los principales efectos que determinaron las pérdidas en la apariencia visual fueron el marchitamiento, deterioro y daño mecánico por corte aunado a estos; la apariencia visual disminuyó en un plazo más corto para las ensaladas sin tratamiento de aceites esenciales que para las que si fueron tratadas.
7. El empaque CP 20 $\mu\text{m}$  presentó un mayor consumo de O<sub>2</sub> y mayor producción de CO<sub>2</sub> por ende; una tasa respiratoria mayor con respecto a los empaques de PLA 40 $\mu\text{m}$ . La mayor producción de CO<sub>2</sub> se reportó para los tratamientos con aceite esencial de romero (CP = 14,76% y PLA = 14,90%) así como, el menor consumo de O<sub>2</sub> (CP = 6,95% y PLA = 8,50%).

8. La evaluación sensorial determinó que la mayor aceptación a nivel de consumidores se obtuvo para el tratamiento con aceite esencial de naranja (*Citrus sinerensis*) reportando valores de (7,9) y el aceite con menor aceptación (6,80) corresponde al de romero (*Rosmarinus officinalis*); debido a la percepción de notas sensoriales desagradables al paladar.
9. Con respecto a las muestras testigo no se presentó una diferencia significativa en la calificación de agrado sensorial, sin embargo, la aplicación de aceite esencial de naranja presenta un mayor agrado, por lo cual podría considerarse su aplicación en el producto a comercializar.
10. La propiedad de barrera evaluada, permeabilidad de vapor, presentó resultados de permeabilidad para Classpack  $20 \mu m$  ( $0,67 \times 10^{-11}$ ) y para PLA  $40 \mu m$  ( $1,06 \times 10^{-11}$ ) similares a los reportados en la literatura y los utilizados comercialmente en la industria para el empaque de alimentos.
11. El PLA debido a sus propiedades de barrera de permeabilidad al vapor de agua y la conservación de propiedades físicas se presentó como un material de empaque alternativo a los plásticos convencionales de difícil degradación y reutilización para la conservación de ensaladas mixtas precortadas.
12. El método Proceso Análítico Jerárquico (AHP), permitió determinar que la combinación del aceite esencial de naranja y el empaque de PLA  $40 \mu m$ , es la mejor opción, la cual obtuvo un 27% de priorización sobre las otras alternativas, para aplicar en función de los resultados obtenidos del análisis físico químico y la evaluación sensorial de aceptación.
13. La combinación que obtuvo una menor prioridad para ser la mejor combinación corresponde al uso de empaques tanto de PLA (14%) y de Classpack (9%) con el aceite esencial de romero. Lo cual confirmó que la aplicación de aceite esencial de romero no es el tratamiento más idóneo para utilizar tanto para la conservación de las ensaladas, así como para su comercialización.

## 6 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar un análisis financiero que permita determinar los costos de producción y aplicación de aceites esenciales en vegetales mínimamente procesados y el uso de empaques compostables en la rentabilidad de la producción.
2. Se sugiere realizar la investigación comparando los materiales estudiados (PLA 40  $\mu m$  y Classpack 20  $\mu m$ ) con materiales convencionales utilizados en la comercialización de este tipo de productos (Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poliésteres (PET), Poliamida (PA), otros).
3. Se sugiere investigar y analizar otras propiedades de barrera que permitan un estudio más a fondo del comportamiento de los empaques en el almacenamiento y la integridad de estos en aplicaciones industriales.
4. Evaluar el uso de empaques compostables en otros productos frescos o bien en materiales biológicos de importancia y dentro de otras industrias, que estudien la factibilidad del uso más generalizado de estos empaques.
5. Para futuras investigaciones, se sugiere evaluar también un empaque de un material que se seleccione en base a los empaques utilizados en la industria. Este empaque se puede usar como un control para compararlo con respecto a los empaques compostables.
6. Es importante el desarrollo de un estudio de mercado del producto que incorpore análisis sensoriales para poder implementar este proceso a nivel industrial e integrar la perspectiva del consumidor.
7. Como punto fundamental de la evaluación de la vida útil del producto se recomienda realizar un estudio del comportamiento microbiológico de las bacterias, los hongos y las levaduras, que permitan aproximar el tiempo de almacenamiento óptimo de las ensaladas mínimamente procesadas y poder aplicar los tratamientos a nivel industrial.

8. El trabajo se desarrolló a escala de laboratorio, sin embargo, se considera útil realizar una investigación o aplicación del proceso a una escala industrial o semi-industrial.
9. La aplicación de aceites esenciales inhibió algunos factores de deterioro en las ensaladas mixtas precortadas aplicados a una concentración; sin embargo, se podría considerar aplicarlos en varias concentraciones, así como, en diferentes mezclas de aceites esenciales. Se recomienda una concentración de 312,5 µl de aceite esencial por cada kilogramo de producto.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Artés, P. Gómez, E. Aguayo, V. Escalona, y F. Artés-Hernández, “Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities”, *Postharvest Biology and Technology*, vol. 51, núm. 3, pp. 287–296, mar. 2009.
- [2] G. López-Gálvez, G. Peiser, X. Nie, y M. Cantwell, “Cambios de calidad en los productos de ensalada envasados durante el almacenamiento”, *Zeitschrift für Lebensmittel - Untersuchung und -Forschung*, vol. 205, núm. 1, pp. 64–72, 1997.
- [3] M. I. Santos *et al.*, “Evaluación de las ensaladas mínimamente procesadas comercializadas en Portugal”, *Food Control*, vol. 23, núm. 1, pp. 275–281, ene. 2012.
- [4] Organización Panamericana de la Salud, “Clasificación de los alimentos y sus implicaciones en la salud”, *Organización Mundial de la Salud*.
- [5] M. Llana-Ruíz-Cabello *et al.*, “Conservación del fitosterol y los PUFA durante la vida útil de la lechuga lista para el consumo en un bioenvase activo”, *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 22, p. 100410, dic. 2019.
- [6] A. Gordon y R. Williams, “The role and importance of packaging and labeling in assuring food safety, quality and regulatory compliance of export products II: Packaging & labeling considerations”, en *Food Safety and Quality Systems in Developing Countries*, Elsevier, 2020, pp. 285–341.

- [7] M. A. Pascall, “El papel y la importancia del envasado y el etiquetado para garantizar la seguridad y la calidad de los alimentos y el cumplimiento de la normativa I: Conceptos básicos de envasados”, en *Food Safety and Quality Systems in Developing Countries*, Elsevier, 2020, pp. 261–283.
- [8] N. Bhargava, V. S. Sharanagat, R. S. Mor, y K. Kumar, “Películas de envasado biodegradables, activas e inteligentes, que utilizan compuestos bioactivos derivados de alimentos y residuos alimentarios: Una revisión”, *Trends in Food Science and Technology*, vol. 105. Elsevier Ltd, pp. 385–401, 01-nov-2020.
- [9] S. A. Varghese, S. Siengchin, y J. Parameswaranpillai, “Aceites esenciales como agentes antimicrobianos en envases alimentarios a base de biopolímeros - Una revisión exhaustiva”, *Food Bioscience*, vol. 38, p. 100785, dic. 2020.
- [10] M. Stoica, V. Marian Antohi, M. Laura Zlati, y D. Stoica, “El impacto financiero de sustituir los envases de plástico por biopolímeros biodegradables - Una solución inteligente para la industria alimentaria”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 277, p. 124013, dic. 2020.
- [11] P. Suwanamornlert, N. Kerddonfag, A. Sane, W. Chinsirikul, W. Zhou, y V. Chonhenchob, “Películas de mezcla de poli(ácido láctico)/polio(butileno-succinato-co-adipato) (PLA/PBSA) que contienen timol como alternativa a los conservantes sintéticos para el envasado activo del pan”, *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 25, p. 100515, sep. 2020.
- [12] S. Bhavaniramy, S. Vishnupriya, M. S. Al-Aboody, R. Vijayakumar, y D. Baskaran, “Papel de los aceites esenciales en la seguridad alimentaria: Aplicaciones antimicrobianas y antioxidantes”, *Grain & Oil Science and Technology*, vol. 2, núm. 2, pp. 49–55, jun. 2019.
- [13] I. Lizano, “Efecto de la aplicación de los aceites esenciales extraídos a partir de las hojas de pimienta de Jamaica (*Pimenta dioica*), hojas de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) y orégano (*Oreganum vulgare*) en la preservación de carne de res”, Universidad de Costa Rica, 2013.
- [14] L. Sánchez-González, M. Vargas, C. González-Martínez, A. Chiralt, y M. Cháfer, “Uso de aceites esenciales en recubrimientos comestibles bioactivos: Una revisión”, *Food Engineering Reviews*, vol. 3, núm. 1. pp. 1–16, mar-2011.

- [15] Y. xin Li, F. Erhunmwunsee, M. Liu, K. Yang, W. Zheng, y J. Tian, “Antimicrobial mechanisms of spice essential oils and application in food industry”, *Food Chemistry*, vol. 382, p. 132312, jul. 2022.
- [16] G. R. Velderrain-Rodríguez, G. M. López-Gámez, J. A. Domínguez-Avila, G. A. González-Aguilar, R. Soliva-Fortuny, y J. F. Ayala-Zavala, “Minimal Processing”, *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, pp. 353–374, ene. 2019.
- [17] J. C. Leiva, “Evaluación del envasado al vacío como técnica de conservación de lechugas (*Lactuca sativa* L.) IV gama”, *Universidad Austral de Chile*, vol. 66, p. 40, 2013.
- [18] H.-D. Belitz, W. Grosch, y P. Schieberle, *Química de los alimentos*, Editorial. España, 2012.
- [19] A. M. Piagentini, “Conservación de vegetales listos para usar por la tecnología de factores combinados”, Universidad Nacional del Litoral, 1999.
- [20] L. L. Tenazoa, “Cinética de deterioro de la calidad de la col (*Brassica oleracea* L.) C.V. corazón de buey, minimamente procesada”, Universidad Nacional Agraria De La Selva, 2014.
- [21] PIMA Programa Integral de Mercadeo Agropecuario, “Análisis de consumo de frutas, hortalizas, pescados y mariscos en los hogares costarricenses”, 2016.
- [22] L. Manzocco, M. Alongi, C. Lagazio, S. Sillani, y M. C. Nicoli, “Efecto de la temperatura en los frigoríficos domésticos sobre la calidad y el desperdicio de la ensalada Iceberg recién cortada”, *Food Research International*, vol. 102, pp. 129–135, dic. 2017.
- [23] T. Tsironi, E. Dermesonlouoglou, M. Giannoglou, E. Gogou, G. Katsaros, y P. Taoukis, “Modelos de predicción de la vida útil de las ensaladas frescas cortadas listas para el consumo: Pruebas en la cadena de frío real”, *International Journal of Food Microbiology*, vol. 240, pp. 131–140, ene. 2017.
- [24] R. Das y C. Bhattacharjee, “Lettuce”, *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*, pp. 143–157, ene. 2020.
- [25] Gabriela Davidovich Young, “Efecto delpelado y troceado sobre la eficacia del cloro como desinfectante en lechuga, papa y zanahoa”, Universidad de Costa Rica, 2021.

- [26] M. I. Gil y J. A. Tudela, “Leafy vegetables: Lettuce, escarole, and radicchio”, *Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce*, pp. 537–543, ene. 2020.
- [27] G. S. Nagraj, S. Jaiswal, N. Harper, y A. K. Jaiswal, “Carrot”, *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*, pp. 323–337, ene. 2020.
- [28] B. Wu, Z. Pan, W. Qu, B. Wang, J. Wang, y H. Ma, “Effect of simultaneous infrared dry-blanching and dehydration on quality characteristics of carrot slices”, *LWT - Food Science and Technology*, vol. 57, núm. 1, pp. 90–98, jun. 2014.
- [29] N. Moreb, A. Murphy, S. Jaiswal, y A. K. Jaiswal, “Cabbage”, *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*, pp. 33–54, ene. 2020.
- [30] M. Montero, M. Rojas, R. Soliva, y O. Martín, “Tendencias en el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas frescas”, *Revista Horticultura Internacional, Extra Postcosecha*, vol. 69, 2009.
- [31] G. Sapers, J. Gorny, y A. Youssef, *Microbiología de Frutas y Vegetales*. Nueva York, 2005.
- [32] FDA, “Guide to Minimize Microbial Food Safety Hazards of Fresh-cut Fruits and Vegetables”, *FDA Guidance Documents*, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-guide-minimize-microbial-food-safety-hazards-fresh-cut-fruits-and-vegetables>. [Consultado: 06-nov-2022].
- [33] Y. Salfinger y T. M.L., *Compendio de métodos para la examinación microbiológica de alimentos*, 5a ed. Estados Unidos, 2015.
- [34] Food and Agriculture Organization of the United Nations, “Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A TECHNICAL GUIDE”, *FAO Regional Office for Asia and the Pacific*, 2010.
- [35] I. G. Mandala y S. V. Protonotariou, “Physical properties of food materials”, *Engineering Principles of Unit Operations in Food Processing*, pp. 45–64, ene. 2021.
- [36] I. Arana, *Physical Properties of Foods: Novel Measurement Techniques and Applications*, vol. 31, núm. 1. 2012.

- [37] C. Morales Moreno, “Determinación de indicadores de calidad por apariencia para vegetales frescos precortados”, *Universidad de La Sabana*, 2012.
- [38] J. A. Quirós, “Dinámica de la pérdida de peso en hortalizas de hoja durante el almacenamiento”, *Univerisdad de Costa Rica*, 2016.
- [39] M. Luna, J. A. Tudela, A. Martinez, A. Allende, y M. I. Gil, “Optimizing Water Managment to Control Respiration Rate and Reduce Browning and Microbial Load of Fresh-Cut Romaine Lettuce”, *Postharvest Biology and Technology Magazine*, vol. 80, núm. 1, pp. 9–17, 2013.
- [40] A. Martinez, J. Tudela, A. Allende, y M. Gil, “Low Oxygen Levels and Light exposure affect quality of fresh-cut Romaine Lettuce”, *Postharvest Biology and Technology*, vol. 59, núm. 1, pp. 31–42, 2011.
- [41] T. Alam, *Packaging and Storage of Fruits and Vegetables*, vol. 4, núm. 1. 2022.
- [42] A. Hormazabal, “Efecto de la IV Gama en la mezcla de lechuga (*Lactuca sativa*) tipo Escarola y palta (*Persea americana* Mill) cvs. Edranol, Hass y Negra de la Cruz”, 1999.
- [43] M. E. Saltveit, “Respiratory Metabolism”, *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, pp. 73–91, ene. 2019.
- [44] J. C. Díaz-Pérez, “Transpiration”, *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, pp. 157–173, ene. 2019.
- [45] J. A. Aguirre-Joya *et al.*, “Conceptos básicos y aplicados de los envases comestibles para alimentos”, en *Food Packaging and Preservation*, Elsevier, 2018, pp. 1–61.
- [46] F. Licciardello y L. Piergiovanni, “Envasado y sostenibilidad de los alimentos”, en *The Interaction of Food Industry and Environment*, Elsevier, 2020, pp. 191–222.
- [47] K. Marsh y B. Bugusu, “Envasado de alimentos - Funciones, materiales y cuestiones medioambientales: Resumen de la situación científica”, *Journal of Food Science*, vol. 72, núm. 3. John Wiley & Sons, Ltd, pp. R39–R55, 01-abr-2007.
- [48] B. Tajeddin y M. Arabkhedri, “Polímeros y envases alimentarios”, en *Polymer Science and Innovative Applications*, Elsevier, 2020, pp. 525–543.

- [49] J. Housewirth, “La importancia de los polímeros plásticos en los envases”, *Christian Brothers University*, EE. UU., 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.packcon.org/index.php/en/articles/102-2016/176-recycled-pet>.
- [50] Z. Song, H. Xiao, y Y. Zhao, “Hydrophobic-modified nano-cellulose fiber/PLA biodegradable composites for lowering water vapor transmission rate (WVTR) of paper”, *Carbohydrate Polymers*, vol. 111, pp. 442–448, oct. 2014.
- [51] S. Kalpakjian y S. R. Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*. PEARSON EDUCACIÓN, 2008.
- [52] R. Postigo Márquez, “Análisis y uso de productos alternativos a base de maíz y cascara de arroz para el proceso de envases biodegradables”, 2019.
- [53] BioPak Team, “Rethinking packaging: Why we design for the circular economy”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.biopak.com/au/resources/circular-economy-design>.
- [54] Dosmil50 Costa Rica, “Economía Circular”, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.dosmil50.com/economia-circular>.
- [55] L. Collacott, “Where compostable packaging fits in a circular economy”, *Ellen MacArthur Foundation*, 2022.
- [56] Consejo Nacional Ambiental, “I Plan Nacional de Compostaje 2020-2050”, p. 101, 2020.
- [57] A. Jordá Vilaplana *et al.*, “Películas activas para el envasado de alimentos a base de ácido poliláctico y almidón”, *Revista de plásticos modernos*, vol. 104, núm. September, p. 382, 2017.
- [58] L. T. Sin, A. R. Rahmat, y W. A. W. A. Rahman, “Síntesis y producción de ácido poliláctico”, en *Polylactic Acid*, Elsevier, 2013, pp. 71–107.
- [59] A. Mohanty, *Fibras naturales, biopolímeros y biocomposites*. Boca Raton FL: Taylor & Francis, 2005.
- [60] BioPak Team, “What is PLA?”, 2019.
- [61] K. Hernández, “Biodegradación De Envases Elaborados a Base De Fécula De Maíz, Papa, Caña De Azúcar, Papel Y Oxo-Biodegradables”, *Facultad De Estudios Superiores*

Zaragoza, p. 102, 2013.

- [62] I. S. Arvanitoyannis y K. V. Kotsanopoulos, “Migration Phenomenon in Food Packaging. Food-Package Interactions, Mechanisms, Types of Migrants, Testing and Relative Legislation-A Review”, *Food and Bioprocess Technology*, vol. 7, núm. 1, pp. 21–36, ene. 2014.
- [63] J. H. Hotchkiss, “Una visión general de las interacciones entre los alimentos y los envases alimentarios”, 1988, pp. 1–10.
- [64] J. Da Luz, “Análisis de los requerimientos y características de materiales poliméricos de empaque en el sector de la industria de alimentos en Costa Rica”, *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, núm. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [65] S. M. Mousavi, S. Desobry, y J. Hardy, “Mathematical Modelling of Migration of Volatile Compounds into Packaged Food via Package Free Space. Part I: Cylindrical Shaped Food”, *Journal of Food Engineering*, vol. 36, pp. 453–472, 1998.
- [66] E. Helmroth, R. Rijk, M. Dekker, y W. Jongen, “Predictive modelling of migration from packaging materials into food products for regulatory purposes”, *Trends in Food Science and Technology*, vol. 13, núm. 3, pp. 102–109, mar. 2002.
- [67] A. Hernández-Gutiérrez, M. Rodríguez-Tomé, y D. Cordero-Fernández, “Influencia de la permeabilidad del envase en la calidad del azúcar”, *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, vol. 48, núm. 3, pp. 22–25, 2014.
- [68] D. P. Navia P., A. A. Ayala A., y H. S. Villada C., “Interacciones empaque-alimento: migración”, *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 13, núm. 25, pp. 99–113, 2014.
- [69] F. De Santis, G. Gorrasi, y R. Pantani, “A spectroscopic approach to assess transport properties of water vapor in PLA”, *Polymer Testing*, vol. 44, pp. 15–22, jul. 2015.
- [70] N. Harnkarnsujarit, P. Wongphan, T. Chatkitanan, Y. Laorenza, y A. Srisa, “Bioplastic for Sustainable Food Packaging”, *Sustainable Food Processing and Engineering Challenges*, pp. 203–277, ene. 2021.
- [71] N. S. Sangaj y V. C. Malshe, “Permeability of polymers in protective organic coatings”,

- Progress in Organic Coatings*, vol. 50, núm. 1, pp. 28–39, jun. 2004.
- [72] L. W. McKeen, “Introduction to Permeation of Plastics and Elastomers”, *Permeability Properties of Plastics and Elastomers*, pp. 1–20, ene. 2012.
- [73] ASTM Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, “ASTM E96-15 Métodos estándar para determinar la Transmisión de Vapor de Agua”, 2015.
- [74] Organización Internacional de Normalización (ISO), “ISO - ISO 9235:2013 -Materias primas naturales aromáticas”. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/51017.html>. [Consultado: 14-dic-2020].
- [75] J. L. Ríos, “Aceites esenciales: Qué son y cómo se usan y definen los términos”, en *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, Elsevier Inc., 2016, pp. 3–10.
- [76] V. Cevallos y L. Londoño, “Aceites esenciales en la conservación de alimentos”, pp. 1–13, 2018.
- [77] S. Tixilema, “Desarrollo de una tecnología innovadora de procesamiento mínimo para la conservación de hortalizas frescas de lechuga (*Lactuca sativa* L.), col de repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*), col morada (*Brassica oleracea* var. *Lambarda*), espinaca (*Spinaca ole*”, Universidad de Amabato, 2015.
- [78] T. Hou *et al.*, “Essential oils and its antibacterial, antifungal and anti-oxidant activity applications: A review”, *Food Bioscience*, p. 101716, may 2022.
- [79] D. R. Reis, A. Ambrosi, y M. Di Luccio, “Encapsulated essential oils: A perspective in food preservation”, *Future Foods*, vol. 5, p. 100126, jun. 2022.
- [80] Q. Liu, H. Huang, H. Chen, J. Lin, y Q. Wang, “Food-grade nanoemulsions: Preparation, stability and application in encapsulation of bioactive compounds”, *Molecules*, vol. 24, núm. 23, nov. 2019.
- [81] J. Ju, Y. Xie, Y. Guo, Y. Cheng, H. Qian, y W. Yao, “Application of edible coating with essential oil in food preservation”, *Critical reviews in food science and nutrition*, vol. 59, núm. 15, pp. 2467–2480, 2019.
- [82] J. R. Calo, P. G. Crandall, C. A. O’Bryan, y S. C. Ricke, “Essential oils as antimicrobials in

- food systems – A review”, *Food Control*, vol. 54, pp. 111–119, ago. 2015.
- [83] M. D. Hernández, J. A. Sotomayor, Á. Hernández, y M. J. Jordán, “Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) Oils”, *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, pp. 677–688, ene. 2016.
- [84] W. Wang, N. Wu, Y. G. Zu, y Y. J. Fu, “Antioxidative activity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil compared to its main components”, *Food Chemistry*, vol. 108, núm. 3, pp. 1019–1022, jun. 2008.
- [85] J. Gutierrez, C. Barry-Ryan, y P. Bourke, “The antimicrobial efficacy of plant essential oil combinations and interactions with food ingredients”, *International Journal of Food Microbiology*, vol. 124, núm. 1, pp. 91–97, may 2008.
- [86] E. Tütem, K. Sözgen Başkan, Ş. Karaman Ersoy, y R. Apak, “Orange”, *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*, pp. 353–376, ene. 2020.
- [87] International Standard Organization., “ISO 3140:2019 Aceite esencial de naranja (*Citrus sinensis* (L.))”, 2019.
- [88] H. Bora, M. Kamle, D. K. Mahato, P. Tiwari, y P. Kumar, “Citrus Essential Oils (CEOs) and Their Applications in Food: An Overview”, *Plants*, vol. 9, núm. 3, mar. 2020.
- [89] R. Qadir, T. . Farooq Anwar, M. Shahid, y S. Zahoor, “Variaciones en la composición química y las actividades antimicrobianas y hemolíticas de los aceites esenciales de cáscara de tres cultivares locales de cítricos.”, *Pure and Applied Biology (PAB)*, vol. 7, pp. 282–291, 2018.
- [90] C. León-Rodríguez, “Aprovechamiento industrial del aceite esencial del limón sutil *Citrus aurantifolia*.”, pp. 35–37, 2017.
- [91] International Standard Organization, “ISO 855: 2003 Aceite esencial de limón (*Citrus limon* (L.) Burm. f.)”, 2003.
- [92] X. Li, N. Xiao, G. Xiao, W. Bai, X. Q. Zhang, y W. Zhao, “Lemon essential oil/vermiculite encapsulated in electrospun konjac glucomannan-grafted-poly (acrylic acid)/polyvinyl alcohol bacteriostatic pad: Sustained control release and its application in food preservation”, *Food Chemistry*, vol. 348, p. 129021, jun. 2021.

- [93] D. Duxbury, “Sensory Evaluation Provides Value”, *Institute of Food Technology*, 2005. [En línea]. Disponible en: <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2005/may/columns/laboratory>. [Consultado: 11-dic-2022].
- [94] C. Andrés Jiménez, C. Amerling Quesada, y K. Saravia Zúñiga, “Prueba sensorial de grado de satisfacción para una ensalada y un dip tipo hummus elaborados a base de gandul (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.)”, *Repertorio Científico*, vol. 16, núm. 2, pp. 3–25, 2013.
- [95] El. Hernandez, “Evaluación Sensorial”, *Centro Nacional de Medio para el aprendizaje*, pp. 116–117, 2005.
- [96] M. R. Domínguez, “Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos”, *Instituto de Investigación Nutricional–IIN Consultora-AgroSalud*, pp. 2–45, 2007.
- [97] H. T. Lawless y H. Heymann, *Sensory evaluation of food: principles of good practice*. 2010.
- [98] G. Hough, I. Wakeling, A. Mucci, E. Chambers, I. Mendez, y L. Rangel, “Número de consumidores necesarios para pruebas de aceptabilidad sensorial”, *Food Quality and Preference*, vol. 17, pp. 522–526, 2006.
- [99] C. Romero, *Decisiones Multicriterio*. 1996.
- [100] T. L. Saaty, “The Analytic Hierarchy Process: Decision Making in Complex Environments”, en *Quantitative Assessment in Arms Control*, Boston, MA: Springer US, 1984, pp. 285–308.
- [101] J. Suárez, “Determinación de los cambios físico-químicos, sensoriales y microbiológicos en lechuga (*Lactuca sativa*), variedad Capitata sometida a tratamiento con luz ultravioleta de onda corta (UV-C)”, Universidad Técnica de Ambato, 2013.
- [102] A. Arzú, “Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*).”, *Food Chemistry*, 2008.
- [103] M. J. Jordán, V. Lax, M. C. Rota, S. Lorán, y J. A. Sotomayor, “Effect of the phenological stage on the chemical composition, and antimicrobial and antioxidant properties of *Rosmarinus officinalis* L essential oil and its polyphenolic extract”, *Industrial Crops and Products*, vol. 48, pp. 144–152, jul. 2013.

- [104] J. Cortés, “Evaluación del uso de aditivos de origen natural sobre la propiedades del ácido poliláctico (PLA) para su uso como empaque de alimentos”, 2016.
- [105] J. Najarro Barrientos, O. Tinoco Gómez, y F. Huari Evangelista, “Simulación de la actividad respiratoria en pos-cosecha de plátano (*musa cavendishii*) bajo atmósfera modificada para mejora del tiempo de almacenamiento”, *Industrial Data*, vol. 19, núm. 2, p. 96, 2016.
- [106] J.-W. Rhim, S.-I. Hong, y C.-S. Ha, “Tensile, water vapor barrier and antimicrobial properties of PLA/nanoclay composite films”, *LWT - Food Science and Technology*, vol. 42, núm. 2, pp. 612–617, mar. 2009.

## 8 ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Encuesta de evaluación sensorial informal de las muestras de ensalada mixta precortada .....	110
<b>Anexo 2</b> Encuesta de evaluación sensorial formal de muestras de ensaladas .....	111
<b>Anexo 3</b> Análisis de Varianza (ANOVA) del pH para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo.....	116
<b>Anexo 4</b> Análisis de Varianza (ANOVA) del dióxido de carbono para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo .....	117
<b>Anexo 5</b> Análisis de Varianza (ANOVA) del oxígeno para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo.....	118
<b>Anexo 6</b> Análisis de Varianza (ANOVA) de la pérdida de peso para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo .....	119
<b>Anexo 7</b> Análisis de Varianza (ANOVA) del parámetro de color L* para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo .....	120
<b>Anexo 8</b> Análisis de Varianza (ANOVA) del parámetro de color a* para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo .....	121
<b>Anexo 9</b> Análisis de Varianza (ANOVA) del parámetro de color b* para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo .....	122
<b>Anexo 10</b> Memoria de cálculo de Análisis Multicriterio AHP .....	123
<b>Anexo 11</b> Códificación de los materiales de empaque para el análisis de la permeabilidad al vapor de agua .....	130

**Anexo 1** Encuesta de evaluación sensorial informal de las muestras de ensalada mixta precortada



**EIB**

Escuela de  
**Ingeniería de Biosistemas**

Universidad de Costa Rica  
Esuela de Ingeniería de Biosistemas  
Trabajo Final de Graduación

**Prueba de grado de satisfacción ensaldas mixtas precortadas  
tratadas con aceites esenciales**

A continuación se presentan 9 escalas para que califique la ensalada que acaba de probar. Califique de acuerdo a sabor, olor, acidez, apariencia, textura. Debe utilizar números enteros

**Escala**

- 1= Me gusta demasiado
- 2= Me gusta mucho
- 3= Me gusta moderadamente
- 4= Me gusta ligeramente
- 5= No me gusta ni me disgusta
- 6= Me disgusta ligeramente
- 7= Me disgusta moderadamente
- 8= Me disgusta mucho
- 9= Me disgusta demasiado

<b>PROPIEDAD</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>T</b>
SABOR				
OLOR				
ACIDEZ				
APARIENCIA				
TEXTURA				

**COMENTARIOS**

## Anexo 2 Encuesta de evaluación sensorial formal de muestras de ensaladas

5/12/22, 08:47	EVALUACION SENSORIAL TFG
<h3>EVALUACIÓN SENSORIAL TFG</h3> <p>A continuación se le presentarán 4 muestras de ensalada mixta precortadas debidamente identificadas (1,2,3,4) para cada una de ellas en el siguiente formulario se presentara una escala de calificación hedónica ( del 0 al 10 (imagen en cada sección) ) para que sean calificada según su agrado como se muestra en la figura de cada evaluación y además un conjunto de palabras de las cuales debe seleccionar las que mejor describen el producto que está degustando.</p>	
<hr/> <p><b>*Obligatorio</b></p>	
1. Edad	
<hr/>	
2. Género	
<i>Marca solo un óvalo.</i>	
<input type="radio"/> Femenino	
<input type="radio"/> Masculino	
<input type="radio"/> Prefiero no decirlo	
<input type="radio"/> Otro: <hr/>	
<b>MUESTRA 1</b>	
<a href="https://docs.google.com/forms/d/1KHTbE-XUA6BMf0zIWAcuVKJ_31TviPskizrQLF2PIW8/edit">https://docs.google.com/forms/d/1KHTbE-XUA6BMf0zIWAcuVKJ_31TviPskizrQLF2PIW8/edit</a>	1/9



4. De las siguientes opciones seleccione las que apliquen para la muestra degustada según su aroma y sabor

*Selecciona todos los que correspondan.*

- Ácido
- Dulce
- Agrio
- Aceitoso
- Frutal
- Floral
- Pasto recién cortado
- Cítrico
- Especiado (Sabor a especias)
- Mentolado
- Refrescante
- Picante
- Otro: \_\_\_\_\_

**MUESTRA 2**



6. De las siguientes opciones seleccione las que apliquen para la muestra degustada según su aroma y sabor

*Selecciona todos los que correspondan.*

- Ácido
- Dulce
- Agrio
- Aceitoso
- Frutal
- Floral
- Pasto recién cortado
- Cítrico
- Especiado (Sabor a especias)
- Mentolado
- Refrescante
- Picante
- Otro: \_\_\_\_\_

**MUESTRA 3**

**Anexo 3** Análisis de Varianza (ANOVA) del pH para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo

pH

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Limón	pH	90	0,07	0,06	2,71

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	0,22	1	0,22	7,09	0,0092
Empaque	0,22	1	0,22	7,09	0,0092
Error	2,70	88	0,03		
Total	2,91	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=0.07333

Error: 0.0306 df: 88

Empaque	Means	n	S.E.
CP	6,41	45	0,03 A
PLA	6,51	45	0,03 B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

pH

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Naranja	pH	90	0,12	0,11	2,72

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	0,36	1	0,36	11,70	0,0009
Empaque	0,36	1	0,36	11,70	0,0009
Error	2,69	88	0,03		
Total	3,04	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=0.07320

Error: 0.0305 df: 88

Empaque	Means	n	S.E.
CP	6,37	45	0,03 A
PLA	6,50	45	0,03 B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

pH

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Romero	pH	90	0,05	0,04	2,66

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	0,14	1	0,14	4,89	0,0296
Empaque	0,14	1	0,14	4,89	0,0296
Error	2,49	88	0,03		
Total	2,63	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=0.07049

Error: 0.0283 df: 88

Empaque	Means	n	S.E.
CP	6,29	45	0,03 A
PLA	6,37	45	0,03 B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

pH

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Testigo	pH	30	0,07	0,04	2,95

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	0,08	1	0,08	2,15	0,1535
Empaque	0,08	1	0,08	2,15	0,1535
Error	1,00	28	0,04		
Total	1,08	29			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=0.14149

Error: 0.0358 df: 28

Empaque	Means	n	S.E.
CP	6,36	15	0,05 A
PLA	6,47	15	0,05 A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

**Anexo 4** Análisis de Varianza (ANOVA) del dióxido de carbono para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo

CO2

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Limón	CO2	90	5,2E-04	0,00	38,47

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	1,20	1	1,20	0,05	0,8315
Empaque	1,20	1	1,20	0,05	0,8315
Error	2322,18	88	26,39		
Total	2323,38	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=2.15217

Error: 26.3884 df: 88

Empaque Means n S.E.

CP	PLA
13,24 45 0,77 A	13,47 45 0,77 A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

CO2

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Naranja	CO2	90	9,5E-04	0,00	40,81

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	2,47	1	2,47	0,08	0,7729
Empaque	2,47	1	2,47	0,08	0,7729
Error	2591,72	88	29,45		
Total	2594,19	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=2.27365

Error: 29.4514 df: 88

Empaque Means n S.E.

CP	PLA
13,13 45 0,81 A	13,46 45 0,81 A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

CO2

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Romero	CO2	90	0,01	0,00	38,08

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	21,90	1	21,90	0,77	0,3841
Empaque	21,90	1	21,90	0,77	0,3841
Error	2518,84	88	28,62		
Total	2540,74	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=2.24145

Error: 28.6232 df: 88

Empaque Means n S.E.

CP	PLA
13,56 45 0,80 A	14,54 45 0,80 A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

CO2

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Testigo	CO2	30	3,0E-03	0,00	38,04

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	2,47	1	2,47	0,08	0,7742
Empaque	2,47	1	2,47	0,08	0,7742
Error	822,97	28	29,39		
Total	825,43	29			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=4.05507

Error: 29.3918 df: 28

Empaque Means n S.E.

CP	PLA
13,97 15 1,40 A	14,54 15 1,40 A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

**Anexo 5** Análisis de Varianza (ANOVA) del oxígeno para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y 4romero) y las muestras testigo

O2

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Limón	O2	90	0,02	0,01	48,32

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	44,80	1	44,80	1,71	0,1944
Empaque	44,80	1	44,80	1,71	0,1944
Error	2305,52	88	26,20		
Total	2350,32	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=2.14444

Error: 26.1991 df: 88

Empaque Means n S.E.

CP	9,89	45	0,76	A
PLA	11,30	45	0,76	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

O2

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Naranja	O2	90	0,02	0,01	54,20

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	50,46	1	50,46	1,68	0,1989
Empaque	50,46	1	50,46	1,68	0,1989
Error	2649,83	88	30,11		
Total	2700,29	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=2.29899

Error: 30.1118 df: 88

Empaque Means n S.E.

CP	9,38	45	0,82	A
PLA	10,87	45	0,82	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

O2

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Romero	O2	90	0,01	1,4E-03	93,28

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	89,54	1	89,54	1,13	0,2916
Empaque	89,54	1	89,54	1,13	0,2916
Error	7000,79	88	79,55		
Total	7090,33	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=3.73682

Error: 79.5544 df: 88

Empaque Means n S.E.

CP	8,56	45	1,33	A
PLA	10,56	45	1,33	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

O2

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Testigo	O2	30	0,01	0,00	51,76

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	5,24	1	5,24	0,21	0,6492
Empaque	5,24	1	5,24	0,21	0,6492
Error	694,17	28	24,79		
Total	699,41	29			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=3.72425

Error: 24.7918 df: 28

Empaque Means n S.E.

CP	9,20	15	1,29	A
PLA	10,04	15	1,29	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

**Anexo 6** Análisis de Varianza (ANOVA) de la pérdida de peso para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo

**Pérdida de peso**

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Naranja	Pérdida de peso	90	0,06	0,05	101,59

**Analysis of variance table (Partial SS)**

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	38,68	1	38,68	5,71	0,0190
Empaque	38,68	1	38,68	5,71	0,0190
Error	595,78	88	6,77		
Total	634,45	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=1.09011

Error: 6.7702 df: 88

Empaque Means n S.E.

PLA	1,91	45	0,39	A
CP	3,22	45	0,39	B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

**Pérdida de peso**

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Limón	Pérdida de peso	90	0,11	0,10	85,25

**Analysis of variance table (Partial SS)**

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	59,86	1	59,86	11,42	0,0011
Empaque	59,86	1	59,86	11,42	0,0011
Error	461,20	88	5,24		
Total	521,07	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=0.95913

Error: 5.2410 df: 88

Empaque Means n S.E.

PLA	1,87	45	0,34	A
CP	3,50	45	0,34	B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

**Pérdida de peso**

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Romero	Pérdida de peso	90	0,07	0,06	83,55

**Analysis of variance table (Partial SS)**

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	26,57	1	26,57	6,99	0,0097
Empaque	26,57	1	26,57	6,99	0,0097
Error	334,45	88	3,80		
Total	361,02	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=0.81675

Error: 3.8005 df: 88

Empaque Means n S.E.

PLA	1,79	45	0,29	A
CP	2,88	45	0,29	B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

**Pérdida de peso**

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Testigo	Pérdida de peso	30	0,25	0,23	70,63

**Analysis of variance table (Partial SS)**

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	48,13	1	48,13	9,52	0,0045
Empaque	48,13	1	48,13	9,52	0,0045
Error	141,55	28	5,06		
Total	189,68	29			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=1.68172

Error: 5.0552 df: 28

Empaque Means n S.E.

PLA	1,92	15	0,58	A
CP	4,45	15	0,58	B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

**Anexo 7** Análisis de Varianza (ANOVA) del parámetro de color L\* para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo

L

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Limón	L	90	1,2E-04	0,00	14,55

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	0,86	1	0,86	0,01	0,9190
Empaque	0,86	1	0,86	0,01	0,9190
Error	7280,00	88	82,73		
Total	7280,86	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=3.81061

Error: 82.7273 df: 88

Empaque Means n S.E.

PLA	62,40	45	1,36	A
CP	62,60	45	1,36	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

L

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Naranja	L	90	0,02	4,5E-03	13,60

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	101,55	1	101,55	1,40	0,2395
Empaque	101,55	1	101,55	1,40	0,2395
Error	6372,01	88	72,41		
Total	6473,56	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=3.56506

Error: 72.4092 df: 88

Empaque Means n S.E.

CP	61,52	45	1,27	A
PLA	63,64	45	1,27	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

L

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Romero	L	90	3,0E-04	0,00	11,16

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	1,37	1	1,37	0,03	0,8703
Empaque	1,37	1	1,37	0,03	0,8703
Error	4495,42	88	51,08		
Total	4496,79	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=2.99443

Error: 51.0843 df: 88

Empaque Means n S.E.

CP	63,90	45	1,07	A
PLA	64,15	45	1,07	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

L

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Testigo	L	30	0,02	0,00	24,59

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	99,37	1	99,37	0,47	0,4977
Empaque	99,37	1	99,37	0,47	0,4977
Error	5894,27	28	210,51		
Total	5993,64	29			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=10.85229

Error: 210.5096 df: 28

Empaque Means n S.E.

CP	57,18	15	3,75	A
PLA	60,82	15	3,75	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

**Anexo 8** Análisis de Varianza (ANOVA) del parámetro de color a\* para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Limón	a	90	0,05	0,04	90,51

**Analysis of variance table (Partial SS)**

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	74,89	1	74,89	4,52	0,0363
Empaque	74,89	1	74,89	4,52	0,0363
Error	1457,82	88	16,57		
Total	1532,71	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=1.70522

Error: 16.5661 df: 88

Empaque Means n S.E.

PLA	-5,41	45	0,61	A
CP	-3,58	45	0,61	B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

a

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Romero	a	90	0,03	0,02	101,37

**Analysis of variance table (Partial SS)**

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	55,22	1	55,22	2,40	0,1246
Empaque	55,22	1	55,22	2,40	0,1246
Error	2021,12	88	22,97		
Total	2076,34	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=2.00782

Error: 22.9672 df: 88

Empaque Means n S.E.

PLA	-5,51	45	0,71	A
CP	-3,94	45	0,71	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

a

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Naranja	a	90	0,03	0,02	104,17

**Analysis of variance table (Partial SS)**

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	62,33	1	62,33	2,64	0,1079
Empaque	62,33	1	62,33	2,64	0,1079
Error	2078,69	88	23,62		
Total	2141,02	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=2.03621

Error: 23.6215 df: 88

Empaque Means n S.E.

PLA	-5,50	45	0,72	A
CP	-3,83	45	0,72	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

a

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Testigo	a	30	0,05	0,01	155,84

**Analysis of variance table (Partial SS)**

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	47,88	1	47,88	1,35	0,2553
Empaque	47,88	1	47,88	1,35	0,2553
Error	994,01	28	35,50		
Total	1041,89	29			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=4.45659

Error: 35.5005 df: 28

Empaque Means n S.E.

PLA	-5,09	15	1,54	A
CP	-2,56	15	1,54	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

**Anexo 9** Análisis de Varianza (ANOVA) del parámetro de color b\* para el producto empacado en ambos tipos de empaque (PLA y CP) y los aceites esenciales ensayados (limón, naranja y romero) y las muestras testigo

b

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Limón	b	90	0,06	0,04	25,39

**Analysis of variance table (Partial SS)**

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	237,82	1	237,82	5,15	0,0257
Empaque	237,82	1	237,82	5,15	0,0257
Error	4062,18	88	46,16		
Total	4300,00	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=2.84648

Error: 46.1611 df: 88

Empaque	Means	n	S.E.
CP	25,13	45	1,01 A
PLA	28,38	45	1,01 B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

b

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Romero	b	90	0,05	0,03	30,72

**Analysis of variance table (Partial SS)**

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	288,73	1	288,73	4,21	0,0432
Empaque	288,73	1	288,73	4,21	0,0432
Error	6037,23	88	68,60		
Total	6325,96	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=3.47014

Error: 68.6049 df: 88

Empaque	Means	n	S.E.
CP	25,17	45	1,23 A
PLA	28,75	45	1,23 B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

b

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Naranja	b	90	0,04	0,03	28,84

**Analysis of variance table (Partial SS)**

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	221,53	1	221,53	3,42	0,0678
Empaque	221,53	1	221,53	3,42	0,0678
Error	5699,57	88	64,77		
Total	5921,10	89			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=3.37171

Error: 64.7679 df: 88

Empaque	Means	n	S.E.
CP	26,34	45	1,20 A
PLA	29,47	45	1,20 A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

b

Aceite	Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	CV
Testigo	b	30	0,05	0,02	33,10

**Analysis of variance table (Partial SS)**

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	150,53	1	150,53	1,58	0,2191
Empaque	150,53	1	150,53	1,58	0,2191
Error	2667,19	28	95,26		
Total	2817,71	29			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=7.30018

Error: 95.2567 df: 28

Empaque	Means	n	S.E.
PLA	27,25	15	2,52 A
CP	31,73	15	2,52 A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

*Anexo 10* Memoria de cálculo de Análisis Multicriterio AHP

**1. Cálculo matriz comparativa entre criterios**

<b>Matriz comparación criterios</b>					
<b>Criterios</b>	Perdida de peso	pH	Cambio Color	Apariencia	Sabor
Perdida de peso	1	3	1	3	5
pH	1/3	1	1/3	1/3	1/5
Cambio Color	1	3	1	1	3
Apariencia	1/3	3	1	1	1/3
Sabor	1/5	5	1/3	3	1
<b>SUMA</b>	<b>2,87</b>	<b>15,00</b>	<b>3,67</b>	<b>8,33</b>	<b>9,53</b>

**2. Cálculo de vectores promedio ponderados de criterios**

<b>Criterios</b>	Perdida de peso	pH	Cambio Color	Apariencia	Sabor	Vector promedio
Perdida de peso	0,349	0,200	0,273	0,360	0,524	0,34
pH	0,116	0,067	0,091	0,040	0,021	0,07
Cambio Color	0,349	0,200	0,273	0,120	0,315	0,25
Apariencia	0,116	0,200	0,273	0,120	0,035	0,15
Sabor	0,070	0,333	0,091	0,360	0,105	0,19

**3. Determinación de índice de Criterio y Ratio de Criterio**

<b>Criterio</b>	<b>Ponderado</b>	<b>Indice y Ratio</b>	
Perdida de peso	2,20	$CI = n_{max} - n / (n - 1)$	0,24
pH	0,35		
Cambio Color	1,52	$RI = 1,98(n - 2) / n$	1,19
Apariencia	0,78		
Sabor	1,12		
<b>SUMA</b>	<b>5,97</b>	$CR = CI / RI$	0,20

4. Cálculo matriz comparativa pérdida de peso.

Pérdida de peso						
Alternativas	PLA Limón	PLA Naranja	PLA Romero	CP Limón	CP Naranja	CP Romero
PLA Limón	1	3	3	9	7	5
PLA Naranja	1/3	1	3	7	7	5
PLA Romero	1/3	1/3	1	7	5	3
CP Limón	1/9	1/7	1/7	1	1/3	1/5
CP Naranja	1/7	1/7	1/5	3	1	1/3
CP Romero	1/5	1/5	1/3	5	3	1
<b>SUMA</b>	<b>2,1</b>	<b>4,8</b>	<b>7,7</b>	<b>32,0</b>	<b>23,3</b>	<b>14,5</b>

5. Matriz normalizada para vector promedio pérdida de peso.

Alternativas	Matriz normalizada pérdida de peso						Vector promedio
	PLA Limón	PLA Naranja	PLA Romero	CP Limón	CP Naranja	CP Romero	
<b>PLA Limón</b>	0,472	0,623	0,391	0,281	0,300	0,344	0,40
<b>PLA Naranja</b>	0,157	0,208	0,391	0,219	0,300	0,344	0,27
<b>PLA Romero</b>	0,157	0,069	0,130	0,219	0,214	0,206	0,17
<b>CP Limón</b>	0,052	0,030	0,019	0,031	0,014	0,014	0,03
<b>CP Naranja</b>	0,067	0,030	0,026	0,094	0,043	0,023	0,05
<b>CP Romero</b>	0,094	0,042	0,043	0,156	0,129	0,069	0,09

6. Cálculo índice de criterio y radio de criterio para alternativa pérdida de peso.

Criterio	Ponderado	Indice y Ratio	
PLA Limón	2,72	CI=nmax-n/(n-1)	0,13
PLA Naranja	1,86		
PLA Romero	1,08		
CP Limón	0,17	RI=1,98(n-2)/n	1,32
CP Naranja	0,29		
CP Romero	0,55		
<b>SUMA</b>	<b>6,67</b>	CR= CI/RI	0,10

### 7. Cálculo matriz comparativa pH.

pH						
Alternativas	PLA Limón	PLA Naranja	PLA Romero	CP Limón	CP Naranja	CP Romero
PLA Limón	1	3	1/5	1/3	1/3	1/7
PLA Naranja	1/3	1	1/7	1/5	1/5	1/9
PLA Romero	5	7	1	3	3	1/3
CP Limón	3	5	1/3	1	1/3	1/5
CP Naranja	3	5	1/3	3	1	1/3
CP Romero	7	9	3	5	3	1
<b>SUMA</b>	<b>19,33</b>	<b>30,00</b>	<b>5,01</b>	<b>12,53</b>	<b>7,87</b>	<b>2,12</b>

### 8. Matriz normalizada para vector promedio pH.

Alternativas	Matriz normalizada pH						Vector promedio
	PLA Limón	PLA Naranja	PLA Romero	CP Limón	CP Naranja	CP Romero	
PLA Limón	0,052	0,100	0,040	0,027	0,042	0,067	0,05
PLA Naranja	0,017	0,033	0,029	0,016	0,025	0,052	0,03
PLA Romero	0,259	0,233	0,200	0,239	0,381	0,157	0,24
CP Limón	0,155	0,167	0,067	0,080	0,042	0,094	0,10
CP Naranja	0,155	0,167	0,067	0,239	0,127	0,157	0,15
CP Romero	0,362	0,300	0,599	0,399	0,381	0,472	0,42

### 9. Cálculo índice de criterio y radio de criterio para alternativa de ph.

Criterio	Ponderado	Indice y Ratio	
PLA Limón	0,33	CI=nmax-n/(n-1)	0,10
PLA Naranja	0,18		
PLA Romero	1,62		
CP Limón	0,62	RI=1,98(n-2)/n	1,32
CP Naranja	0,98		
CP Romero	2,76	CR= CI/RI	0,08
<b>SUMA</b>	<b>6,50</b>		

**10. Cálculo matriz comparativa cambio de color.**

<b>Cambio de Color</b>						
<b>Alternativas</b>	<b>PLA Limón</b>	<b>PLA Naranja</b>	<b>PLA Romero</b>	<b>CP Limón</b>	<b>CP Naranja</b>	<b>CP Romero</b>
PLA Limón	1	1/3	3	7	1/3	5
PLA Naranja	3	1	5	9	3	7
PLA Romero	1/3	1/5	1	5	1/3	3
CP Limón	1/7	1/9	1/5	1	1/7	1/3
CP Naranja	3	1/3	3	7	1	5
CP Romero	1/5	1/7	1/3	3	1/5	1
<b>SUMA</b>	<b>7,68</b>	<b>2,12</b>	<b>12,53</b>	<b>32,00</b>	<b>5,01</b>	<b>21,33</b>

**11. Matriz normalizada para vector promedio cambio de color.**

<b>Alternativas</b>	<b>Matriz normalizada cambio de color</b>						<b>Vector promedio</b>
	<b>PLA Limón</b>	<b>PLA Naranja</b>	<b>PLA Romero</b>	<b>CP Limón</b>	<b>CP Naranja</b>	<b>CP Romero</b>	
PLA Limón	0,130	0,157	0,239	0,219	0,067	0,234	0,17
PLA Naranja	0,391	0,472	0,399	0,281	0,599	0,328	0,41
PLA Romero	0,043	0,094	0,080	0,156	0,067	0,141	0,10
CP Limón	0,019	0,052	0,016	0,031	0,029	0,016	0,03
CP Naranja	0,391	0,157	0,239	0,219	0,200	0,234	0,24
CP Romero	0,026	0,067	0,027	0,094	0,040	0,047	0,05

**12. Cálculo índice de criterio y radio de criterio para alternativa cambio de color.**

<b>Criterio</b>	<b>Ponderado</b>	<b>Indice y Ratio</b>	
PLA Limón	1,12	<b>CI=nmax-n/(n-1)</b>	0,11
PLA Naranja	2,73		
PLA Romero	0,60		
CP Limón	0,17	<b>RI=1,98(n-2)/n</b>	1,32
CP Naranja	1,63		
CP Romero	0,31		
<b>SUMA</b>	<b>6,56</b>	<b>CR= CI/RI</b>	0,09

### 13. Cálculo matriz comparativa apariencia

<b>Apariencia</b>						
<b>Alternativas</b>	PLA Limón	PLA Naranja	PLA Romero	CP Limón	CP Naranja	CP Romero
PLA Limón	1	3	1	1/3	3	5
PLA Naranja	1/3	1	1/3	1/5	1	3
PLA Romero	1	3	1	1/3	3	5
CP Limón	3	5	3	1	5	7
CP Naranja	1/3	1	1/3	1/5	1	3
CP Romero	1/5	1/3	1/5	1/5	1/7	1
<b>SUMA</b>	<b>5,87</b>	<b>13,33</b>	<b>5,87</b>	<b>2,27</b>	<b>13,14</b>	<b>24,00</b>

### 14. Matriz normalizada para vector promedio apariencia

<b>Alternativas</b>	<b>Matriz normalizada apariencia</b>						<b>Vector promedio</b>
	PLA Limón	PLA Naranja	PLA Romero	CP Limón	CP Naranja	CP Romero	
PLA Limón	0,170	0,225	0,170	0,147	0,228	0,208	0,19
PLA Naranja	0,057	0,075	0,057	0,088	0,076	0,125	0,08
PLA Romero	0,170	0,225	0,170	0,147	0,228	0,208	0,19
CP Limón	0,511	0,375	0,511	0,441	0,380	0,292	0,42
CP Naranja	0,057	0,075	0,057	0,088	0,076	0,125	0,08
CP Romero	0,034	0,025	0,034	0,088	0,011	0,042	0,04

### 15. Cálculo índice de criterio y radio de criterio para alternativa apariencia

<b>Criterio</b>	<b>Ponderado</b>	<b>Indice y Ratio</b>	
PLA Limón	1,20	<b>CI=nmax-n/(n-1)</b>	0,05
PLA Naranja	0,49		
PLA Romero	1,20		
CP Limón	2,64	<b>RI=1,98(n-2)/n</b>	1,32
CP Naranja	0,49		
CP Romero	0,24		
<b>SUMA</b>	<b>6,24</b>	<b>CR= CI/RI</b>	0,04

**16. Cálculo matriz comparativa sabor.**

<b>Sabor</b>						
<b>Alternativas</b>	PLA Limón	PLA Naranja	PLA Romero	CP Limón	CP Naranja	CP Romero
PLA Limón	1	1/3	3	1	1/3	3
PLA Naranja	3	1	5	3	1	5
PLA Romero	1/3	1/5	1	1/3	1/5	5
CP Limón	1	1/3	3	1	1/3	3
CP Naranja	3	1	5	3	1	5
CP Romero	1/3	1/5	1/5	1/3	1/5	1
<b>SUMA</b>	<b>8,66</b>	<b>3,07</b>	<b>17,20</b>	<b>8,66</b>	<b>3,06</b>	<b>22,00</b>

**17. Matriz normalizada para vector promedio sabor.**

<b>Alternativas</b>	<b>Matriz normalizada sabor</b>						<b>Vector promedio</b>
	PLA Limón	PLA Naranja	PLA Romero	CP Limón	CP Naranja	CP Romero	
PLA Limón	0,115	0,109	0,174	0,115	0,108	0,136	0,13
PLA Naranja	0,346	0,326	0,291	0,346	0,327	0,227	0,31
PLA Romero	0,038	0,065	0,058	0,038	0,065	0,227	0,08
CP Limón	0,115	0,109	0,174	0,115	0,108	0,136	0,13
CP Naranja	0,346	0,326	0,291	0,346	0,327	0,227	0,31
CP Romero	0,038	0,065	0,012	0,038	0,065	0,045	0,04

**18. Cálculo índice de criterio y radio de criterio para alternativa sabor.**

<b>Criterio</b>	<b>Ponderado</b>	<b>Indice y Ratio</b>	
PLA Limón	0,84	<b>CI=nmax-n/(n-1)</b>	0,09
PLA Naranja	2,01		
PLA Romero	0,51		
CP Limón	0,84	<b>RI=1,98(n-2)/n</b>	1,32
CP Naranja	2,01		
CP Romero	0,27		
<b>SUMA</b>	<b>6,47</b>	<b>CR= CI/RI</b>	0,07



### 19. Cálculo de priorización

Alternativas/Criterios	Perdida de peso	pH	Cambio Color	Apariencia	Sabor	Priorización
PLA Limón	0,40	0,05	0,17	0,19	0,13	<b>0,24</b>
PLA Naranja	0,27	0,03	0,41	0,079659769	0,31	<b>0,27</b>
PLA Romero	0,17	0,24	0,10	0,191593686	0,08	<b>0,14</b>
CP Limón	0,03	0,10	0,03	0,418500865	0,13	<b>0,11</b>
CP Naranja	0,05	0,15	0,24	0,079659769	0,31	<b>0,16</b>
CP Romero	0,09	0,42	0,05	0,038992224	0,04	<b>0,09</b>
<b>Ponderación</b>	<b>0,34</b>	<b>0,07</b>	<b>0,25</b>	<b>0,15</b>	<b>0,19</b>	

**Anexo 11** Códificación de los materiales de empaque para el análisis de la permeabilidad al vapor de agua

Código de muestra	Material de empaque	Número de muestra
B1T	Ácido poliláctico (PLA)	Control
B2T	Classpack (CP)	Control
B1M1	Ácido poliláctico (PLA)	1
B1M2	Ácido poliláctico (PLA)	2
B1M3	Ácido poliláctico (PLA)	3
B2M1	Classpack (CP)	1
B2M2	Classpack (CP)	2
B2M3	Classpack (CP)	3

*Fuente: Elaboración propia*