



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE ANTIOXIDANTES EN LAS
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE UN BIOFILM DE ALMIDÓN
DE CÁSCARA DE YUCA**

AUTORES:

**RAMÓN OMAR LÓPEZ SAAVEDRA
JORMAN ALEXANDER ZAMBRANO PARRALES**

TUTOR:

ING. CARLOS ALBERTO JADAN PIEDRA, Ph.D.

CALCETA, JULIO DE 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Ramón Omar López Saavedra**, con cédula de ciudadanía 230037312-9 y **Jorman Alexander Zambrano Parrales** con cédula de ciudadanía 172166901-6, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFEECTO DE LA INCORPORACIÓN DE ANTIOXIDANTES EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE UN BIOFILM DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE YUCA** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedo a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservado a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



Jorman Alexander Zambrano Parrales
C.C. 172166901-6



Ramón Omar López Saavedra
C.C: 230037312-9

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Ramón Omar López Saavedra con cédula de ciudadanía 230037312-9 y **Jorman Alexander Zambrano Parrales** con cédula de ciudadanía 172166901-6, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del trabajo de integración Curricular titulado: **EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE ANTIOXIDANTES EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE UN BIOFILM DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE YUCA** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



Jorman Alexander Zambrano Parrales
C.C. 172166901-6



Ramón Omar López Saavedra
C.C: 230037312-9

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

PhD. Carlos Alberto Jadán Piedra, certifica haber tutelado el trabajo de Integración Curricular titulado: **EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE ANTIOXIDANTES EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE UN BIOFILM DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE YUCA**, que ha sido desarrollado por Ramón Omar López Saavedra y Jorman Alexander Zambrano Parrales, previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. CARLOS ALBERTO JADAN PIEDRA, Ph.D.
C.C: 010291795-2
TUTOR.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de integración Curricular titulado: **EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE ANTIOXIDANTES EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE UN BIOFILM DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE YUCA**, que ha sido desarrollado por Jorman Alexander Zambrano Parrales y Ramón Omar López Saavedra, previo a la obtención del título de Ingeniero agroindustrial, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. David Wilfrido Moreira Vera, PhD.
C.C: 1306213750
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Luisa Ana Zambrano Mendoza, Mgtr
C.C: 1314287697
MIEMBRO DE TRIBUNAL

Ing. Julio Vinicio Saltos Solórzano, PhD
C.C: 1308700622
MIEMBRO DE TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día;

A mi padre y madre por ser mi sustento, apoyo y mi ejemplo, a mis hermanas por brindarme su cariño e incitarme a no desistir en mis esfuerzos por ser ingeniero.

Ramón Omar López Saavedra

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día;

Mi agradecimiento principal es para mamá y papá que son quienes han velado por las necesidades que se han presentado a lo largo del camino durante esta etapa de mi vida en la universidad, por su gran esfuerzo en mantenerse siempre en lo correcto y darme el valor para seguir.

A todos los docentes, a mi tutor en especial, por la paciencia y dedicación durante todo este tiempo, quienes no solo impartieron clases, sino que también nos inculcaron valores, es gratificante haber recibido conocimiento de tan buenos profesionales, siempre preparados y capacitados.

Y por último, a todas las personas que conocí mientras avanzaba, quienes crecimos y nos transformamos juntos, siempre dando la mano cuando es necesario, a quienes me brindaron un espacio en sus vidas y hoy puedo llamarlos amigos.

Jorman Alexander Zambrano Parrales

DEDICATORIA

Este trabajo al que dediqué mi esfuerzo y sacrificio se lo dedico a las personas que formaron parte de mi preparación a mi padre, madre y hermanas, que fueron mis pilares, a mis amigos por ayudar en el proceso y a Dios por mostrarme el camino a seguir.

Ramón Omar López Saavedra

DEDICATORIA

Mamá y papá, quiero que sepan que, aunque muchas veces no expreso lo que siento, a ustedes les dedico mi esfuerzo en este trabajo, porque sin ustedes simplemente, no estaría aquí, los amo.

Mamá, sé que muchas veces he sido una persona necia, discúlpame por todo, quiero darte las gracias por escucharme y aunque muchas veces no hice lo que decías, no dejaste de apoyarme en todo lo que necesité.

Papá, amo estar contigo viviendo cada anécdota, emoción y experiencia que cada día nos acerca más, muchas gracias por todo tu apoyo.

Jorman Alexander Zambrano Parrales

CONTENIDO GENERAL

CARÁTULA.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	viii
CONTENIDO GENERAL.....	x
RESUMEN.....	xv
PALABRAS CLAVES.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
KEY WORD.....	xvi
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4. HIPÓTESIS.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. CÁSCARA DE YUCA.....	5
2.2. ALMIDÓN.....	5
2.3. POLÍMERO.....	5
2.4. BIOPOLÍMERO ALIMENTARIO.....	6
2.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE UN BIOFILM.....	6
2.5.1. ESPESOR.....	6
2.5.2. DENSIDAD.....	7
2.5.3. HUMEDAD.....	7
2.5.4. EL ESPACIO DE COLOR CIELAB.....	7
• DIFERENCIA DE COLOR.....	8
• ÍNDICE DE BLANCURA.....	8
2.5.4. SOLUBILIDAD AL H ₂ O, NaOH Y HCl.....	8
2.6. ANTIOXIDANTE.....	9
2.6.1. ÁCIDO ASCÓRBICO.....	9

2.6.2. METABISULFITO DE SODIO	9
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	11
3.1. UBICACIÓN	11
3.2. DURACIÓN	11
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	11
3.3.1. MÉTODOS.....	11
• EXPERIMENTAL.....	11
3.3.2. TÉCNICAS.....	12
• ESPESOR	12
• DENSIDAD	12
• HUMEDAD.....	12
• COLOR.....	13
• SOLUBILIDAD AL AGUA.....	13
• SOLUBILIDAD A SOLUCIONES ALCALINAS (NaOH)	14
• SOLUBILIDAD A SOLUCIONES ÁCIDAS	14
3.4. VARIABLES EN ESTUDIO	15
3.4.1. VARIABLES INDEPENDIENTES	15
3.4.2. VARIABLES DEPENDIENTES.....	15
3.5. NIVELES DE LOS FACTORES	15
3.6. TRATAMIENTOS	16
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL	16
3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL	17
3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	17
3.8.1. DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE CASCARA DE YUCA Y ELABORACIÓN DE UN BIOFILM	18
3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	21
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. EFECTO DEL ÁCIDO ASCÓRBICO Y METABISULFITO DE SODIO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL BIOFILM.....	22
4.1.1. ESPESOR.....	22
4.1.2. DENSIDAD	24
4.1.3. HUMEDAD.....	28
4.2. INFLUENCIA DEL ÁCIDO ASCÓRBICO Y METABISULFITO DE SODIO EN LA SOLUBILIDAD DEL BIOFILM DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE YUCA UTILIZANDO TRES DISOLVENTES CON PROPIEDADES QUÍMICAS DIFERENTES.....	30
4.2.1. SOLUBILIDAD EN NaOH.....	30
4.2.2. VARIABLE SOLUBILIDAD EN H ₂ O.....	32

4.2.3. VARIABLE SOLUBILIDAD HCl	33
4.3. ANÁLISIS DE COLOR CIELAB PARA CUANTIFICAR LOS CAMBIOS CROMÁTICOS PRODUCIDOS POR LA INCORPORACIÓN ÁCIDO ASCÓRBICO Y METABISULFITO DE SODIO EN EL BIOFILM DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE YUCA	35
4.3.1. DIFERENCIA DE COLOR.....	36
4.3.2. ÍNDICE DE BLANCURA.....	38
4.4. COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS CON EI TESTIGO.....	40
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
5.1. CONCLUSIONES.....	43
5.2. RECOMENDACIONES.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....	45
ANEXOS.....	50

CONTENIDOS DE TABLAS

Tabla 1. Tratamiento en estudio.	16
Tabla 2. Esquema del ANOVA A*B.	16
Tabla 3. Esquema del ANOVA A*B +1.	16
Tabla 4. Unidad experimental.	17
Tabla 5. Supuestos del ANOVA para las variables dependientes en estudio.....	21
Tabla 6. Prueba de Tukey para los niveles del factor A en función de la variable espesor. 22	
Tabla 7. Prueba de Tukey para los niveles del factor A en función de la variable densidad.	25
Tabla 8. Prueba de Tukey para los niveles del factor A en función de la variable solubilidad NaOH.....	30
Tabla 9. Prueba de Tukey para los niveles del factor A en función de la variable diferencia de color.....	36
Tabla 10. Prueba de Tukey para los niveles del factor A en función de la variable índice de blancura.....	39

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de proceso para la elaboración del almidón y la biopelícula.....	18
Figura 2. Diagrama de cajas y bigotes para los niveles del factor B en función del espesor.	23
Figura 3. Diagrama de cajas y bigotes para los niveles del factor B en función de la densidad.	26
Figura 4. Medias de densidad para los tratamientos en estudio.	27
Figura 5. Medias de humedad para los tratamientos en estudio.....	29
Figura 6. Diagrama de cajas y bigotes para los niveles del factor B en función de la variable solubilidad NaOH.	31
Figura 7. Medias de solubilidad NaOH para los tratamientos en estudio	32
Figura 8. Medias de solubilidad H ₂ O para los tratamientos en estudio.	33
Figura 9. Diagrama de cajas y bigotes para los niveles del factor B en función de la variable solubilidad HCl.	34
Figura 10. Diferencias de solubilidad en HCl para los tratamientos.....	35
Figura 11. Diferencias de color ejercida por los niveles del factor B.	37
Figura 12. Medias de diferencia de color para los tratamientos en estudio.....	38
Figura 13. Diagrama de cajas y bigotes para los niveles del factor B de la variable índice de blancura.	39
Figura 14. Medias de índice de blancura para los tratamientos en estudio.....	40

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la incorporación de antioxidantes sobre las características fisicoquímicas de un biofilm a base de almidón de cáscara de yuca. Se diseñó un arreglo factorial $A \times B + 1$, con siete tratamientos y tres réplicas cada uno, incluyendo un testigo sin los antioxidantes. Los factores A y B corresponden a tres niveles de ácido ascórbico (1%, 2%, y 3%) y dos niveles de metabisulfito de sodio (1% y 3%), respectivamente. Las variables dependientes analizadas incluyeron espesor, densidad, humedad, diferencia de color, índice de blancura, y solubilidad en H_2O , NaOH, y HCl. Los resultados revelaron que el factor A tuvo un efecto favorable para espesor, densidad, e índice de blancura, mientras que el factor B influyó positivamente en la diferencia de color y solubilidad en NaOH y HCl. Ambos factores no tuvieron efecto alguno para humedad y solubilidad en H_2O . El tratamiento T6 (3% de ácido ascórbico y 3% de metabisulfito de sodio) exhibió las mejores propiedades fisicoquímicas en términos de espesor (0.15 mm) y densidad (1.40 g/cm^3). Por otro lado, el T1 (1% de ácido ascórbico y 1% de metabisulfito de sodio) destacó en los ensayos de solubilidad en agua (26.43%), NaOH (10.91%), y HCl (26.23%), mientras que el T5 (3% de ácido ascórbico y 1% de metabisulfito de sodio) mostró la mejor media de diferencia de color (53.50 ΔE) e índice de blancura (38.61 WI). Estos hallazgos sugieren que la combinación óptima de antioxidantes puede mejorar las características fisicoquímicas del biofilm.

PALABRAS CLAVE

Ácido ascórbico, metabisulfito de sodio, índice de blancura, cáscara de yuca.

ABSTRACT

The present research aimed to evaluate the effect of incorporating antioxidants on the physicochemical characteristics of a biofilm based on cassava peel starch. A factorial design $A \times B + 1$ was used, with seven treatments and three replicates each, including a control without antioxidants. Factors A and B correspond to three levels of ascorbic acid (1%, 2%, and 3%) and two levels of sodium metabisulfite (1% and 3%), respectively. The dependent variables analyzed included thickness, density, moisture, color difference, whiteness index, and solubility in H_2O , NaOH, and HCl. The results revealed that factor A had a favorable effect on thickness, density, and whiteness index, while factor B positively influenced color difference and solubility in NaOH and HCl. Both factors had no effect on moisture and solubility in H_2O . Treatment T6 (3% ascorbic acid and 3% sodium metabisulfite) exhibited the best physicochemical properties in terms of thickness (0.15 mm) and density (1.40 g/cm^3). On the other hand, T1 (1% ascorbic acid and 1% sodium metabisulfite) stood out in solubility tests in water (26.43%), NaOH (10.91%), and HCl (26.23%), while T5 (3% ascorbic acid and 1% sodium metabisulfite) showed the best mean color difference ($53.50 \Delta E$) and whiteness index (38.61 WI). These findings suggest that the optimal combination of antioxidants can improve the physicochemical characteristics of the biofilm.

KEY WORD

Ascorbic acid, sodium metabisulfite, whiteness index, cassava peel

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A inicios del siglo pasado la aparición de materiales sintéticos permitió la creación de una alta variedad de productos de forma masiva, dando como resultado a finales del siglo XX e inicios del XXI la acumulación de residuos y desechos provenientes de fuentes no renovables que representan un grave problema medioambiental, con el objetivo de dar una solución a este problema se empieza a conocer el término biomaterial o biopolímero (Calvo, 2013).

Internacionalmente, la principal materia prima utilizada para la elaboración de biopolímeros es el almidón, de estos el de yuca, papa, camote y achira presentan buenos resultados en sus características físico-químicas. Sin embargo, el uso excesivo de almidón para la fabricación de biopolímeros podría causar problemas de seguridad alimentaria, al reducir la disponibilidad de este como alimento, es así que, el empleo de subproductos alimentarios (cáscara de yuca) empleados como materia prima para la elaboración de biopolímeros abre una nueva línea de investigación.

Varias investigaciones han iniciado en el uso de este residuo como materia prima para la elaboración de biopolímeros, cuya tendencia en la actualidad es la adición de compuestos que favorezcan a la conservación del alimento, como por ejemplo la incorporación de agentes antioxidantes y antimicrobianos, obteniendo como resultado un envase activo. Uno de los antioxidantes más utilizados en la industria de los alimentos es el ácido ascórbico, sin embargo, el efecto antioxidante del metabisulfito de sodio está siendo demostrado; por lo que la incorporación de los mismos en el film en diferentes proporciones debe de ser evaluado para conocer la concentración adecuada que se puede incorporar sin afectar las propiedades fisicoquímicas del film (Blanco et al., 2017).

De acuerdo a lo planteado en los párrafos anteriores surge la siguiente interrogante:

¿Qué concentración de ácido ascórbico y metabisulfito de sodio se podría incorporar al film realizado a partir de cáscara de yuca sin afectar sus propiedades fisicoquímicas?

1.2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la industria alimentaria está orientada hacia la adopción de nuevos enfoques en el diseño de envases, priorizando aquellos que sean respetuosos con el medio ambiente, biodegradables y que además presenten propiedades antimicrobianas y/o antioxidantes, lo que se conoce como envase activo. En el marco de esta investigación, se propone la inclusión de ácido ascórbico y metabisulfito de sodio como agentes activos con propiedades antioxidantes en la formulación de un biofilm elaborado a partir de almidón de cáscara de yuca. Este enfoque no solo busca una alternativa de biofilm, sino también reducir el impacto ambiental de los envases convencionales, ofreciendo una alternativa innovadora y sostenible.

La presente investigación pretende aprovechar las cáscaras de yuca como materia prima para la obtención de almidón, el cual será utilizado en la elaboración de un biofilm. Esta alternativa busca reducir significativamente el uso de bolsas plásticas convencionales, contribuyendo de manera sostenible a la preservación del medio ambiente. A través de procesos productivos no tóxicos, se pretende obtener un material plástico biodegradable a partir de materia orgánica, específicamente de los desechos o la sobreproducción de las cáscaras de yuca. De esta manera, se busca generar beneficios tanto económicos como ambientales, al darle un valor agregado a un residuo agroindustrial y reducir el impacto negativo causado por los plásticos no biodegradables.

Esta investigación se fundamenta en la Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un solo uso, la cual ha establecido la prohibición del empleo de plásticos no biodegradables y ha sido efectiva desde finales del año 2023. Esta normativa promueve la exploración de nuevas matrices biodegradables como alternativas a los polímeros sintéticos. Asimismo, se respalda en lo establecido en la Constitución de la República del Ecuador de 2008, específicamente en el título VII referente al Régimen del Buen Vivir, en su sección octava, Artículo 385 numeral 3, que insta al desarrollo de tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, aumenten la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

En virtud de lo expuesto, el propósito de este estudio radica en la innovación a través de la creación de un biofilm enriquecido con ácido ascórbico y metabisulfito de sodio, con propiedades antioxidantes. En consonancia con el plan de Desarrollo Toda Una Vida, esta investigación se inscribe en el objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las generaciones presentes y futuras, conforme al cuarto párrafo que aboga por el desarrollo sostenible para alcanzar el Buen Vivir mediante la reestructuración económica, reduciendo la dependencia de actividades extractivas y orientando la transición hacia una economía fundamentada en el bio-conocimiento, que sitúe a la biodiversidad como una fuente primordial de sabiduría y conocimiento

1.2. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la incorporación de antioxidantes sobre las características fisicoquímicas de un biofilm a base de almidón de cáscara de yuca.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el efecto del ácido ascórbico y metabisulfito de sodio sobre las características fisicoquímicas del biofilm.
- Evaluar la influencia del ácido ascórbico y metabisulfito de sodio en la solubilidad del biofilm de almidón de cáscara de yuca utilizando tres disolventes con propiedades químicas diferentes.
- Realizar análisis de color CIELAB para cuantificar los cambios cromáticos producidos por la incorporación ácido ascórbico y metabisulfito de sodio en el biofilm de almidón de cáscara de yuca.

1.4. HIPÓTESIS

La incorporación del ácido ascórbico y el metabisulfito de sodio en un biofilm a partir del almidón de cáscara de yuca modificará sus características fisicoquímicas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. CÁSCARA DE YUCA

Berkhout (2021) menciona que, el procesamiento de la yuca genera cantidades importantes de cáscaras (15-20% del peso total del tubérculo), las cuales son utilizadas para la alimentación animal o en la mayoría de los casos desechadas, produciéndose un inconveniente para las plantas procesadoras de este almidón. Este residuo agroindustrial tiene una composición de fibra de 14%, proteína 5,3%, y bajos niveles de aminoácidos azufrados en los que se encuentran la lisina con 0,1% y la metionina-cistina con 0,06%.

2.2. ALMIDÓN

La producción de almidón es la principal forma de procesamiento de la yuca, en Manabí se la realiza generalmente en empresas familiares con equipos semi industriales.

De acuerdo a lo expresado por Menoscal & Rodríguez (2017), el almidón es un polímero natural cuyos gránulos consisten en estructuras macromoleculares ordenadas en capas y cuyas características en cuanto a composición, cantidad y forma varían de acuerdo con el tipo de fuente de la que provenga. El almidón puede encontrarse además en otras raíces, frutos, semillas, tubérculos e incluso en bacterias que lo generan como mecanismo de defensa ante situaciones de estrés presentes en su medio.

2.3. POLÍMERO

Los polímeros son moléculas lineales o ramificadas formada por la repetición de grupos funcionales (monómeros) unidos por polimerización, existen varias clasificaciones, de acuerdo a lo especificado por (Párraga & Jadán, 2022) pueden clasificarse:

Polímeros sintéticos. – Son aquellos que se derivan de fuentes no renovables (petróleo), este tipo de polímeros se caracteriza por tener un bajo costo de producción y una escasa o nula biodegradabilidad, causan problemas medioambientales ya que en su mayoría carecen de mecanismos que permitan su degradación.

Polímeros naturales modificados. – Son aquellos provenientes de fuentes renovables y que han sido sometidos a un proceso que cambia su estructura para obtener un material con características fisicoquímicas y mecánicas distintas a las iniciales, ejemplos de estos polímeros son el celofán (derivado de la celulosa) y la galatita (derivado de la caseína).

Polímeros naturales. – Son aquellos provenientes de fuentes renovables, se caracterizan por su elevada biodegradabilidad, los mismos cumplen un ciclo que no tiene un efecto negativo en el medio ambiente. Los polímeros naturales se clasifican en polisacáridos, proteínas, lípidos, poliésteres y biocomposites, de estos, los polisacáridos y proteínas son aquellos que se estudian en mayor medida para la obtención de biopolímeros en la industria alimentaria.

2.4. BIOPOLÍMERO ALIMENTARIO

Son aquellos provenientes de fuentes naturales, cuya biodegradabilidad se realiza prontamente en el medio ambiente sin causar ninguna afección. Los principales son los obtenidos de almidones, celulosa, algas y quitosano. Son estudiados para ser utilizados como empaque alimenticio, algunos de ellos son comestibles, y en los últimos años se han incorporado agentes activos que permiten una migración desde el polímero hacia el alimento para incrementar su tiempo de vida útil (Chimbo, 2021).

2.5 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE UN BIOFILM

Los métodos de referencia de todos los ensayos indicados a continuación han sido obtenidos de trabajos científicos publicados en el área de esta temática, en cada análisis se indica al menos un trabajo

2.5.1. ESPESOR

Las medidas de espesor promedio en polímeros de polietileno están normadas por la NTE INEN 3024 (2016) donde se especifican espesores nominales para películas retráctiles, los cuales deben ser los siguientes: 30 μm ; 40 μm ; 50 μm ; 75 μm ; 100 μm ; 125 μm ; 150 μm ; 200 μm y 250 μm . La diferencia de espesores se basa en el uso específico que se le vaya a dar al envase.

En polímeros biodegradables los espesores pueden variar ampliamente en base del agente plastificante utilizado y proceso de elaboración, sin embargo, se puede tomar como base un promedio de entre 150 μ m a 190 μ m.

2.5.2. DENSIDAD

Atarés (2011) indica una clasificación de los polímeros en alta y baja densidad, este parámetro influye en las propiedades mecánicas como la tenacidad y la rigidez. Los polímeros de alta densidad son aquellos que tienen valores entre 0.945-0.960 g/cc, los polímeros de baja densidad presentan valores inferiores o iguales a 0.92 g/cc. Los de alta densidad son utilizados para aplicaciones tales como recipientes, tuberías, empaques alimentarios como bolsas de supermercado debido a su flexibilidad, durabilidad y su resistencia a deformarse (tenacidad).

Los biopolímeros presentan valores de densidad mayores que los polímeros sintéticos, pueden variar entre 1.3 y 2.5 g/cc en función de la matriz utilizada, pero en general todos sobrepasan los valores establecidos para el polímero de alta densidad (0.945-0.960) (Rodríguez et al., 2013).

2.5.3. HUMEDAD

El contenido de la humedad es un factor decisivo en la evaluación de procesos industriales, en los biopolímeros afecta a la biodegradabilidad y resistencia del film, los contenidos de humedad en un biopolímero dependen del plastificante utilizado, en el caso del glicerol proporciona valores de humedad en torno al 15-25% (Párraga & Jadán, 2022). Este parámetro influye directamente en el ciclo de crecimiento de los microorganismos, los mismos que son los principales agentes en la biodegradación de materias orgánicas, incidiendo directamente en la reducción de tiempo de biodegradabilidad de un biopolímero.

2.5.4. EL ESPACIO DE COLOR CIELAB

El espacio de color CIELAB, también referido como espacio CIE L*, a*, b*, es usado para evaluar el color en los alimentos, correlaciona los valores numéricos de color con la percepción visual humana. (Talens, 2016). El color de un alimento se describe en base a los 3 atributos: luminosidad, tonalidad y pureza de color, esto se mide a

través de un sistema cartesiano donde el eje vertical está representado por (L^*), y el eje horizontal está formado por las coordenadas a^* , b^* .

- **DIFERENCIA DE COLOR**

De acuerdo con Talens (2016), la diferencia de color es definida como la comparación numérica de una muestra con el estándar. Indica las diferencias en coordenadas absolutas de color y se la conoce como Delta (Δ). A los valores de dicha muestra se le restan los valores de referencia del estándar, resultando entonces, las diferencias entre ambos objetos. Las diferencias se expresan con el símbolo delta (Δ). Para que la interpretación de los signos + y - sea correcta, los valores de la referencia deben ser sustraídos a los de la muestra

ΔL^* = diferencia en luz y oscuridad (+ = más luminoso, - = más oscuro)

Δa^* = diferencia en rojo y verde (+ = más rojo, - = más verde)

Δb^* = diferencia en amarillo y azul (+ = más amarillo, - = más azul)

ΔE^* = diferencia total de color

- **ÍNDICE DE BLANCURA**

Montoya et al., (2012) manifiestan que esta es una medida de amplio uso en la industria textil y del papel, que se ha extendido a la de medicamentos, plásticos, cerámica y alimentos. Una superficie blanca ideal debe tener un índice de blancura (IW) igual a 100; cuando la diferencia entre el blanco ideal y el de la superficie que se evalúa se incrementa entonces IW disminuye.

2.5.4. SOLUBILIDAD AL H₂O, NaOH Y HCl

La solubilidad describe la cantidad de soluto que se puede disolver en un solvente a una determinada temperatura, puede expresarse en moles o gramos por litro y en porcentaje de soluto.

La solubilidad al H₂O, NaOH y HCl determina el tiempo de vida útil del biopolímero al entrar en contacto con alimentos de diferentes pHs, se establece el tiempo en el cual pierde su integridad en condiciones adversas, los valores dependen de la matriz y

demás componentes utilizados en la elaboración, se reconoce como adecuada una pérdida del 20% de peso en las primeras 24 horas bajo condiciones adversas.

2.6. ANTIOXIDANTE

Un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas. Las reacciones de oxidación producen radicales libres que comienzan reacciones en cadena que dañan las células. Los antioxidantes terminan estas reacciones quitando intermedios del radical libre e inhibiendo otras reacciones de oxidación, oxidándose ellos mismos (Jamanca & Alfaro, 2017).

Los antioxidantes se encuentran de forma natural en algunos alimentos, los principales son la vitamina A, C y E, selenio, zinc, cobre y polifenoles. Los antioxidantes artificiales son producidos por síntesis química.

2.6.1. ÁCIDO ASCÓRBICO

La Vitamina C o ácido L-ascórbico (AA), es una vitamina esencial y un importante agente antioxidante hidrosoluble, que se sintetiza químicamente a partir de la glucosa, tiene funciones reguladoras de la acidez cuyas concentraciones máximas en alimentos se establecen en el CODEX ALIMENTARIUS, las cuales no deben de superar en la composición del film (NTE INEN-CODEX 192, 2016).

2.6.2. METABISULFITO DE SODIO

El metabisulfito de sodio es el principal constituyente del bisulfito de sodio seco comercial, cuyos usos y propiedades son virtualmente idénticos. Esto se logra mediante la siguiente reacción:



Las soluciones acuosas de metabisulfito de sodio, tienen una reacción fuertemente ácida. Bajo la influencia de mezclas, este libera gradualmente dióxido de sulfuro gaseoso dando lugar a sulfato de sodio. En ambientes ácidos y calientes, el metabisulfito de sodio desprende dióxido de sulfuro. El metabisulfito de sodio reacciona violentamente con agentes oxidantes. Este tiene una acción reductora, blanqueadora y preservativa (Ospina, 2018).

El autor citado en el párrafo anterior señala también que, es ampliamente utilizado en la industria alimenticia, química y farmacéutica. En la industria alimenticia es usado como aditivo para alimentos, los usos más importantes en esta industria son los siguientes: Tratamiento de fruta seca, en almíbar y escarchada.

Se utiliza en frutas y vegetales, cebolla, papa, almidón seco, cebada, gelatina comestible, caramelos duros y blandos, conservante de jaleas y mermeladas, fermentación del vinagre, frutos cítricos, jugo de toronja y jugo de naranja, así como, para pescado, camarón y otros crustáceos.

En la fabricación de harina de trigo (pasta), blanqueamiento de la piña, proceso del café en grano, en el tratamiento de agua potable para destruir los excesos de cloro, en casos especiales puede usarse para remover oxígeno y en la purificación de aguas residuales con contenido de cromo. En la industria de adhesivos, artes, curtidora, limpieza y mantenimiento, fotográfica, pulpa y papel, es utilizado como agente reductor en la polimerización de fibras sintéticas. En la industria textil es usado para blanquear tejidos, como anticloro, como agente reductor en teñido y estampado.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo en el laboratorio de química de la carrera de Agroindustria en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que se encuentra ubicada en el sitio "Limón" cantón Bolívar, provincia de Manabí, en sus coordenadas 0°49 '35.2 "S 80°11' 10.3"W (García & Sánchez, 2021).

La materia prima utilizada en esta investigación fueron las cáscaras de yuca, las cuales fueron recolectadas de las plantas productoras de almidón ubicadas en el sitio San Pablo de Tarugo, perteneciente a la Parroquia Canuto, del cantón Chone, provincia de Manabí. Estas cáscaras de yuca sirvieron como insumo principal para la elaboración del biopolímero objeto de estudio. El proceso de recolección de la materia prima se llevó a cabo de manera sistemática y controlada, con el fin de garantizar la calidad y homogeneidad de las muestras utilizadas en la investigación.

3.2. DURACIÓN

El proceso de investigación tuvo una duración de 28 semanas a partir de la aprobación por parte del tribunal.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1. MÉTODOS

- **EXPERIMENTAL**

Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas del biofilm mediante la adición de ácido ascórbico en diversas concentraciones. El enfoque metodológico empleado se basó en un diseño experimental, reconocido por su capacidad de manipular de manera controlada las variables independientes con el fin de analizar y comprender su impacto sobre las variables dependientes (García & Sánchez, 2021). Este método posibilita una observación detallada y sistemática de los cambios en las propiedades del biofilm en respuesta a la variación de la concentración de ácido ascórbico, permitiendo así una evaluación precisa de su influencia en las características fisicoquímicas del biofilm.

3.3.2. TÉCNICAS

- **ESPESOR**

El análisis de espesor del biofilm se llevó a cabo siguiendo la metodología analítica propuesta por Flores et al. (2022). Esta metodología implica el corte de láminas de biofilm de 3x3 cm utilizando un bisturí de acero inoxidable, lo que permitió obtener cortes limpios y precisos. Posteriormente, se midió el espesor del biofilm en varias secciones utilizando un calibrador marca Truper. Finalmente, se obtuvo la medida de los valores con un coeficiente de variación ≤ 10 .

- **DENSIDAD**

Bajo la metodología propuesta por Flores et al. (2022), el análisis de densidad se llevó a cabo pesando una muestra de biofilm con dimensiones de 3x3 cm para establecer su masa. Posteriormente, el volumen se calculó multiplicando la base por la altura y el promedio del espesor del biofilm y con estos datos, se procedió a aplicar la formula siguiente:

$$d = \frac{m}{v} \quad [2]$$

Donde:

m = masa.

v = volumen.

Este enfoque riguroso permitió una evaluación precisa de la densidad del biofilm, siguiendo un procedimiento detallado y estandarizado para obtener resultados confiables y reproducibles.

- **HUMEDAD**

El contenido de humedad en el biofilm se determinó siguiendo la metodología propuesta por Pérez et al. (2020), que consiste en la medición de la diferencia de pesos antes y después del secado en estufa. Para llevar a cabo el ensayo, se extrajeron muestras de film de 3x3 cm, las cuales se colocaron en un crisol y se obtuvo el primer peso (Peso 1), utilizando una balanza electrónica de precisión LTJ - 203. Posteriormente, el biofilm se expuso a 105°C en una estufa de la marca Conterm LED

durante 45 minutos, hasta alcanzar un peso constante de la muestra (Peso 2), para posteriormente estimar los resultados mediante la siguiente formulación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100 \quad [2]$$

- **COLOR**

Se utilizó un colorímetro portátil CR-400/410 (Konica Minolta, Japón) para realizar las mediciones. Se cortaron láminas de film de 3x3 cm y se determinaron los parámetros L, a, b (CIE Lab), a partir de los cuales se obtuvieron las medidas de color y de blancura, expresadas como diferencia de color (ΔE) e índice de blancura (WI) respectivamente. Esta metodología analítica se efectuó siguiendo lo señalado por Pérez et al. (2020), utilizando las siguientes ecuaciones para obtener los datos de esta variable.

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad [4]$$

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2} \quad [5]$$

En cada una de las láminas se realizaron 5 medidas de los parámetros L, a, b obteniendo un promedio, valor que se utilizó en las ecuaciones antes mencionadas. Los valores de L_0 ; a_0 ; b_0 representan los valores obtenidos de la placa estándar de fondo blanco (Pérez, et al, 2020).

Donde:

L: Luminosidad

a: Coordenada cromática rojo - verde

b: Coordenada cromática amarillo - azul

- **SOLUBILIDAD AL AGUA**

Para determinar la solubilidad del biofilm en agua, se siguió la metodología propuesta por Pérez et al. (2020). Se obtuvieron films cuadrados de 3x3 cm, los cuales fueron pesados inicialmente (P_i). Posteriormente fueron sumergidos en un vaso de precipitación que contenía 50 mL de agua destilada. La inmersión se realizó durante

24 horas a temperatura ambiente (22°C a 25°C). Transcurrido este tiempo, los films fueron retirados, secados con papel absorbente y pesados nuevamente (Pf). Este procedimiento permitió calcular la solubilidad en agua de las muestras a partir de la diferencia entre los pesos inicial y final de los films. La obtención del porcentaje de solubilidad se realizó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Solubilidad} = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) * 100 \quad [6]$$

- **SOLUBILIDAD A SOLUCIONES ALCALINAS (NaOH)**

La solubilidad del film en solución alcalina se determinó mediante un procedimiento experimental planteado por Pérez et al. (2020). Se pesó una muestra de film de 3x3 cm (Pi). A continuación, la muestra se sumergió en un vaso de precipitados que contenía una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 1N durante 24 horas a temperatura ambiente (22°C y 25°C). Posteriormente, los biofilm se retiraron, se secaron con papel secante y se volvieron a pesar (Pf). Para calcular el porcentaje de solubilidad en NaOH, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Solubilidad} = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) * 100 \quad [7]$$

- **SOLUBILIDAD A SOLUCIONES ÁCIDAS**

Para determinar la solubilidad del biofilm en solución ácida, se llevó a cabo un procedimiento similar al análisis de solubilidad en solución alcalina, con algunas modificaciones (Pérez et al., 2020). En primer lugar, se obtuvo una muestra de biofilm de 3x3 cm, la cual fue previamente pesada (Pi). Luego, la muestra se sumergió en un vaso de precipitado que contenía una solución de HCl 1N, y se dejó reposar durante 24 horas a temperatura ambiente (entre 22°C y 25°C). Posteriormente, los biofilms fueron retirados, secados con papel secante y pesados nuevamente (Pf). Para la obtención del porcentaje de solubilidad en HCl se utilizó la siguiente fórmula:

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

3.4. VARIABLES EN ESTUDIO

3.4.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Porcentajes de ácido ascórbico
- Porcentajes de metabisulfito de sodio

3.4.2. VARIABLES DEPENDIENTES

- Espesor (mm)
- Densidad (g/cm³)
- Humedad (%)
- Color (CIE L,a,b)
- Solubilidad en H₂O, NaOH y HCl (%)

3.5. NIVELES DE LOS FACTORES

Los niveles de ácido ascórbico y metabisulfito de sodio utilizados en este estudio se basaron en investigaciones previas (Jadán, 2017) y en trabajos de titulación donde se desarrollaron biofilms a partir de cáscara de yuca (Párraga y Jádán 2022).

Factor A: Porcentajes de ácido ascórbico

a₁= 1%

a₂= 2%

a₃= 3%

Factor B: Porcentajes de metabisulfito de sodio

b₁= 1%

b₂= 3%

3.6. TRATAMIENTOS

La combinación de los niveles de los factores en estudio, dio como resultado un total de 6 tratamientos, mismo que se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Tratamiento en estudio.

Tratamientos	Códigos	Descripción	
		Factor A (% de ácido ascórbico)	Factor B (% de metabisulfito de sodio)
T1	a ₁ b ₁	1	1
T2	a ₁ b ₂	1	3
T3	a ₂ b ₁	2	1
T4	a ₂ b ₂	2	3
T5	a ₃ b ₁	3	1
T6	a ₃ b ₂	3	3

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental empleado fue un arreglo factorial A*B + 1, donde se combinaron los niveles del factor A y B, generando un total de 7 tratamientos incluido el testigo, con tres tratamientos y tres réplicas por cada uno. En la tabla 2 se presenta el esquema del ANOVA para el diseño A*B.

Tabla 2. Esquema del ANOVA A*B.

Fuente de variación	Grado de libertad
Total	17
Factor A	2
Factor B	1
AxB	2
Error experimental	15

En la tabla 3 se presenta el esquema de ANOVA para establecer las diferencias entre los tratamientos y el testigo aplicando la prueba de Dunnett.

Tabla 3. Esquema del ANOVA A*B +1.

Fuente de variación	Grado de libertad
Total	20
Tratamientos	6
Error experimental	14

3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental estuvo constituida por los ingredientes descritos en la tabla 4, donde los insumos objeto de estudio fueron el ácido ascórbico y metabisulfito de sodio (factores en estudio).

Tabla 4. Unidad experimental.

Conservantes	Tratamientos											
	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g
Almidón	8.52	12	8.5	12	8.51	12	8.51	12	8.51	12	8.49	12
Glicerol	2.55	3.6	2.55	2.55	2.55	3.6	2.55	3.6	2.55	3.6	2.55	3.6
Agua destilada	71	100	70.82	110	70.88	100	70.88	100	70.94	100	70.76	100
NaOH (1N)	17.75	25	17.71	25	17.72	25	17.72	25	17.74	25	17.69	25
Ácido ascórbico	0.09	0.12	0.17	0.24	0.26	0.36	0.09	0.12	0.17	0.24	0.25	0.36
Metabisulfito Na	0.09	0.12	0.25	0.36	0.09	0.12	0.26	0.36	0.09	0.12	0.25	0.36
Total	100	140.84	100	141.2	100	141.08	100	141.08	100	140.96	100	141.32

3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO

La investigación realizada utilizó como materia prima las cáscaras de yuca, las cuales fueron recolectadas de las plantas productoras de almidón ubicadas en el sitio San Pablo de Tarugo, perteneciente a la Parroquia Canuto, del cantón Chone, provincia de Manabí. Durante la recepción de esta materia prima, se verificó que estuviera en estado fresco, evitando así obtener cáscaras en proceso de descomposición.

Según las características del tubérculo utilizado para la obtención de almidón, se identificó que la variedad de yuca empleada fue la *Manihot Esculenta Crantz*, información que fue corroborada por los moradores de la zona. Estas cáscaras de yuca sirvieron como insumo principal para la elaboración del almidón y a partir de este el biopolímero objeto de estudio. El proceso de recolección de la materia prima se llevó a cabo de manera sistemática y controlada, con el objetivo de garantizar la calidad y homogeneidad de las muestras utilizadas en la investigación.

3.8.1. DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE CASCARA DE YUCA Y ELABORACIÓN DE UN BIOFILM

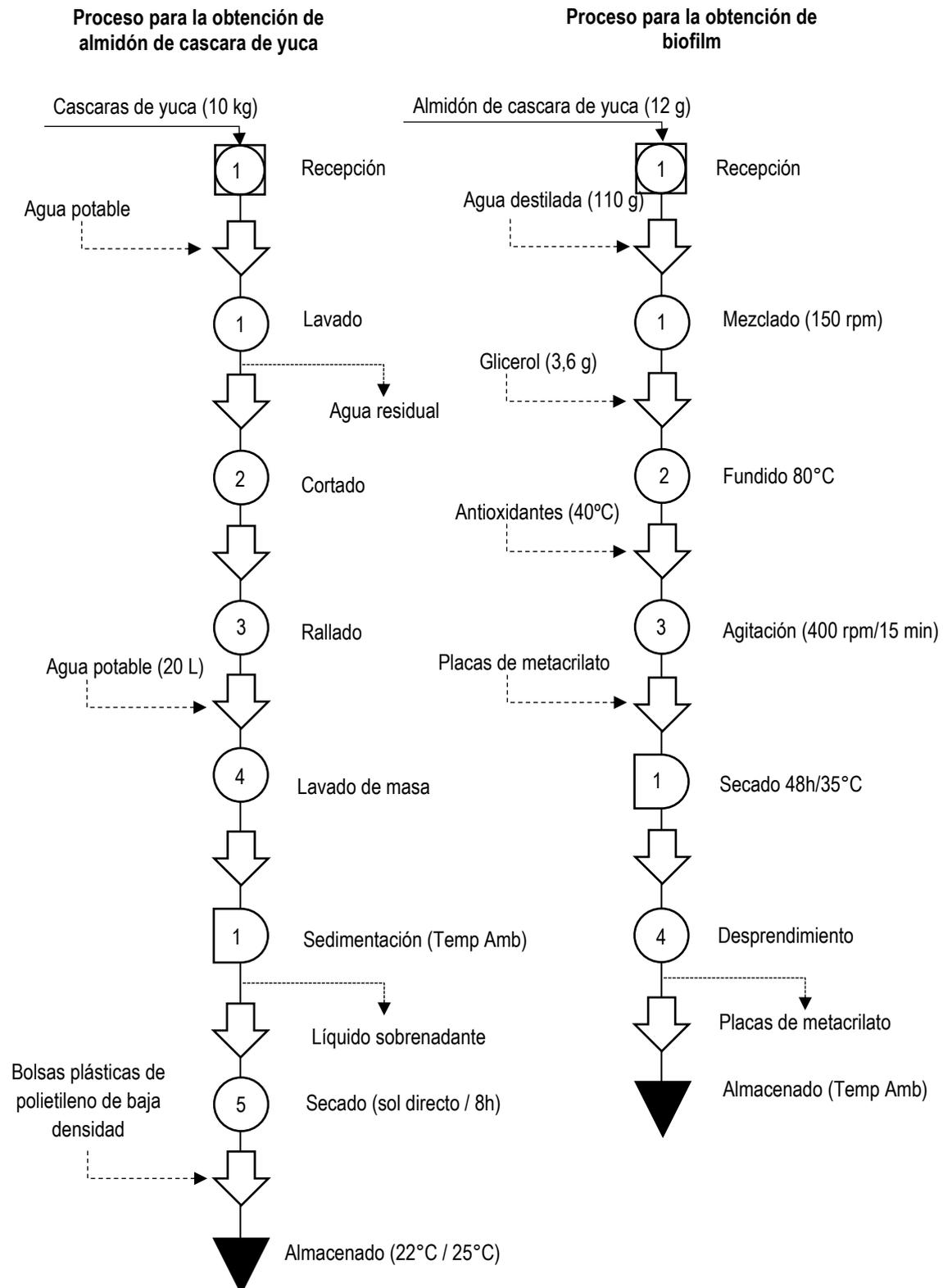


Figura 1. Diagrama de proceso para la elaboración del almidón y la biopelícula

DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE CÁSCARA DE YUCA

- **RECEPCIÓN:** Se receptaron 10 kg de cascaras de yuca (*Manihot Esculenta Crantz*) en estado fresco, con un tiempo máximo de generación de 24 horas. La recolección se realizó en el sitio San Pablo de Tarugo, perteneciente a la Parroquia Canuto, del cantón Chone, provincia de Manabí.
- **LAVADO:** Las cascaras fueron lavadas con agua potable y un cepillo plástico de cerdas suaves con la intención de remover restos de tierra y suciedad ajena a las cascaras de yuca.
- **CORTADO:** Con la ayuda de cuchillos de acero inoxidable, se reduce el tamaño de la cáscara entre 2 y 4 cm²
- **RALLADO:** Se utilizó un rallador marca INMEGAR fabricado acero inoxidable para uso alimenticio, accionado por un motor eléctrico de 1 HP, el cual previamente fue lavado y desinfectado con agua caliente (100°C).
- **LAVADO DE MASA:** Se adicionó agua potable a la masa de cáscaras de yuca, estableciendo una relación 1:2, 1 Kg de cáscara de yuca y 2L de agua, separando el afrecho de la lechada con almidón mediante de un colador de 80 mesh (0,177 mm).
- **SEDIMENTACIÓN:** La lechada se almacenó en recipientes plásticos de 20L previamente esterilizados, lo cual se realizó por 4 horas, para separar los gránulos de almidón de la suspensión acuosa.
- **SECADO:** Se empleó plástico de color negro para contener el almidón húmedo y potenciar la transferencia de calor. Luego, el almidón fue expuesto a la radiación solar directa durante un período de 8 horas, con el objetivo de eliminar la mayor cantidad posible de humedad, hasta alcanzar un estado de polvo blanco seco. Posteriormente, el almidón seco fue sometido a un proceso de pulverización utilizando un tamiz de tamaño de 23 mm, con el fin de homogeneizar la

distribución granulométrica y separar cualquier fibra o impureza residual que pudiera estar presente.

- **ALMACENADO:** El almidón de cáscara de yuca fue almacenado en bolsas plásticas herméticas de polietileno de baja densidad a temperatura ambiente (22°C / 25°C).

DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DEL BIOFILM DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE YUCA

- **RECEPCIÓN:** Se recibió el almidón de la cáscara de yuca, el cual debía estar en estado íntegro y libre de humedad excesiva. La técnica utilizada para la elaboración del biofilm fue el método casting (fundido).
- **MEZCLADO:** Se mezcló el almidón con agua destilada y el plastificante de acuerdo a las relaciones presentadas en la tabla 4, donde se presentan las relaciones por cada tratamiento. Este proceso se realizó en material de vidrio de laboratorio.
- **FUNDIDO:** Una vez que los ingredientes fueron mezclados, se sometieron a un proceso de fundición a 80°C, en agitación constante, para lo cual se utilizó una plancha magnética.
- **AGITACIÓN:** La mezcla fundida a 80°C, se enfrió hasta alcanzar los 40°C incorporando los antioxidantes de acuerdo a lo establecido en la tabla 4, en agitación constante a 400 rpm durante 15 minutos. Culminado el proceso, la mezcla se vertió en placas de metacrilato.
- **SECADO:** Las placas de metacrilato fueron secada en una estufa marca Conterm LED durante 48 horas a 35°C.
- **DESPRENDIMIENTO:** Este proceso se lo realizó utilizando una espátula de acero inoxidable, teniendo cuidado con no dañar las láminas.
- **ALMACENADO:** Los biofilm fueron almacenados a temperatura ambiente.

3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la tabla 5 se presentan los supuestos del ANOVA, donde se aprecia que las variables dependientes: espesor, densidad, humedad, solubilidad en NaOH, diferencia de color e índice de color, cumplieron con el supuesto de normalidad y homogeneidad (Sig.>0.05), mientras que los datos para solubilidad en H₂O y en HCl ostentaron una p-valor menor a 0.05, pasando a ser analizadas mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Tabla 5. Supuestos del ANOVA para las variables dependientes en estudio.

Variables dependientes	Shapiro-Wilk			Levene		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gL	Sig.
Espesor (mm)	0.924	18	0.154	0.291	18	0.909
Densidad (g/cm ³)	0.926	18	0.164	0.974	18	0.472
Humedad (%)	0.906	18	0.074	1.552	18	0.247
Solubilidad_H2O (%)	0.819	18	0.003	---	---	---
Solubilidad NaOH (%)	0.949	18	0.415	2.185	18	0.124
Solubilidad HCL (%)	0.889	18	0.037	---	---	---
Diferencia de color	0.959	18	0.584	1.085	18	0.417
Índice de blancura	0.974	18	0.861	1.164	18	0.381

Se llevó a cabo un contraste de los tratamientos en un estudio, utilizando un testigo que consistía en un biofilm generado en esta investigación, sin la adición de antioxidantes. Este análisis se realizó empleando el estadístico de Dunnett, el cual permitió comparar cada una de las variables dependientes. Las pruebas estadísticas se llevaron a cabo utilizando el software IBM SPSS versión 25.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA), considerando un nivel de significancia de 0.05. Este enfoque metodológico riguroso y detallado proporcionó una base sólida para evaluar y comparar los efectos de los diferentes tratamientos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EFECTO DEL ÁCIDO ASCÓRBICO Y METABISULFITO DE SODIO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL BIOFILM

4.1.1. ESPESOR

Los valores de espesor obtenidos en los tratamientos (T1 - T6) varían de 0,12 a 0,15 mm (anexo 1-B). El análisis de varianza evidenció que los grupos definidos por los niveles del factor A y B mostraron diferencias estadísticas significativas en las medias de espesor (Sig. < 0.05). No obstante, el estadístico F, con un nivel de significancia superior a 0.05, señaló que la interacción entre los factores A y B no tuvo un efecto significativo sobre esta variable dependiente. Este resultado sugiere que, aunque existen disparidades en las medias de espesor entre los grupos definidos por los niveles de los factores A y B, la interacción entre estos no influyó sobre la variable en estudio (Anexo 1-A).

Para establecer las diferencias ejercidas por los niveles del factor A (% ácido ascórbico) sobre el espesor del biofilm, se aplicó la prueba de Tukey al 5% de error (tabla 6), la cual indicó que el nivel a₁ (1% ácido ascórbico) no difiere del a₂ (2% ácido ascórbico) al compartir categorías; no obstante, estos porcentajes de antioxidante difieren significativamente del nivel a₃ (3% ácido ascórbico) al ubicarse en el segundo subconjunto, indicando que otorgó el espesor más alto (0.143 mm).

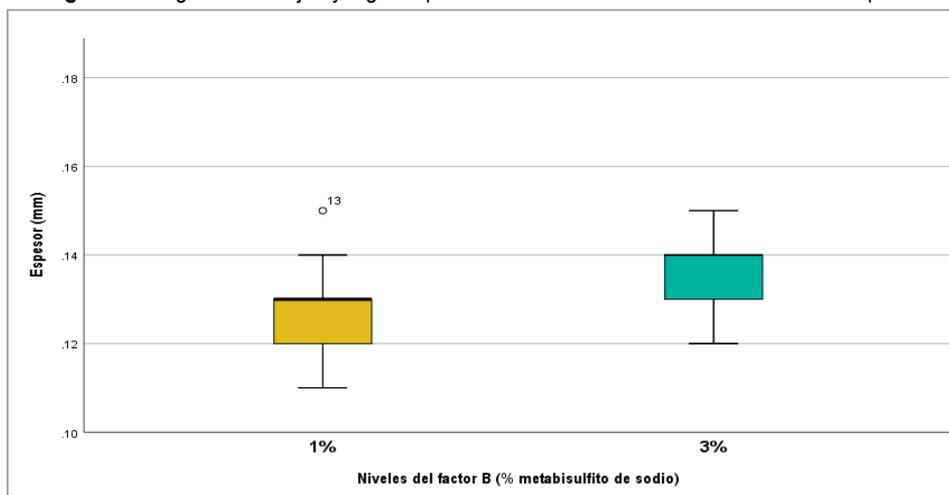
Tabla 6. Prueba de Tukey para los niveles del factor A en función de la variable espesor.

Niveles del factor A (% de ácido ascórbico)	N	HSD Tukey ^{a,b}	
		Subconjunto	
		1	2
a ₁ : 1%	6	0.1250	
a ₂ : 2%	6	0.1283	
a ₃ : 3%	6		0.1433

En cuanto a los niveles del factor B (% metabisulfito de sodio), el diagrama de cajas y bigotes reveló que el nivel b₂ (3% metabisulfito de sodio), concedió una mayor media de espesor al biofilm. Por otra parte, se evidenció una mayor dispersión entre las

medias de espesor concedidas por el nivel b_1 (1% metabisulfito de sodio), encontrándose valores atípicos, tal y como se lo presenta en la figura 2.

Figura 2. Diagrama de cajas y bigotes para los niveles del factor B en función del espesor.



El análisis de varianza (anexo 1-A) reveló que no se observó interacción significativa entre los factores A y B (Sig. ≥ 0.05). Esto sugiere que, aunque se detectaron diferencias en las medias de espesor entre los grupos definidos por los niveles de los factores, la interacción entre estos no tuvo un impacto significativo sobre el espesor. La prueba de Tukey al 5% de error (anexo 1-B), confirmó que los tratamientos T1, T2, T3, y T4 no difirieron entre sí, lo que indica que estadísticamente aportaron el mismo espesor al ubicarse en el primer subconjunto. En el segundo subconjunto, se observó que el T2, T3, T4, T5 y T6 mostraron un espesor uniforme según el anexo 1-A.

Hernández et al. (2018) evaluaron las propiedades antioxidantes de un bioempaquetado funcionalizado y entre sus enunciados mencionaron que la incorporación de compuestos de baja masa molecular produce cambios fisicoquímicos, entendiendo que entre mayor sea la masa molecular de los aditivos utilizados, los cambios serán más significativos. Estos resultados son coincidentes con la presente investigación, debido a que los antioxidantes utilizados (ácido ascórbico y metabisulfito de sodio) tienen una alta masa molecular. Sin embargo, en términos de proporción, las cantidades agregadas de estos aditivos al biofilm fueron mínimas. Esto sugiere que, si se agregaba un mayor porcentaje de estos antioxidantes de alta masa molecular, el espesor del biofilm podría aumentar de manera más significativa.

En el estudio del biofilm, se lograron obtener rangos de espesor que oscilaron entre 0.12 mm y 0.15 mm, manteniéndose dentro de los límites permitidos por las normativas vigentes. La norma NTE INEN 2635:2012 para láminas plásticas delgadas establece un espesor máximo de 1 mm, mientras que la norma INEN 2422:2010 para láminas plásticas fija un límite de 0.2 mm. Cabe destacar que el tratamiento T6 (a₃b₂) presentó el mayor espesor promedio (0.15 mm), lo que sugiere una mayor resistencia mecánica debido a su mayor grosor.

En contraste, investigaciones previas como la de Parra (2019) revelaron un espesor de 0.2 mm al desarrollar un biofilm a partir de almidón de zanahoria blanca y camote. Peralta (2022) obtuvo una biopelícula comestible con un espesor máximo de 0.34 mm utilizando mucílago de nopal y almidón de Oca. Estos resultados divergentes sugieren que la composición de la formulación empleada tiene un impacto significativo en la variable del espesor del biofilm.

En el estudio realizado por Chimbo (2021), se logró desarrollar un plástico biodegradable destinado al uso en alimentos mediante la utilización de almidón proveniente de residuos de yuca (*Manihot esculenta*), logrando un espesor de 0.13 mm. Por otro lado, Guamán (2019) también incursionó en la fabricación de plásticos biodegradables, esta vez a partir de almidón extraído de cáscaras de papa, reportando un espesor promedio de 0.13 mm. Estos resultados coinciden con los obtenidos en la presente investigación, donde se registraron valores entre 0.12 mm y 0.15 mm. Es importante destacar que tanto Chimbo como Guamán coinciden en que el grosor de estos materiales está influenciado por las distintas materias primas utilizadas, los aditivos incorporados y, sobre todo, los porcentajes empleados en su formulación.

4.1.2. DENSIDAD

El análisis de varianza realizado para la variable densidad, como se detalla en el anexo 2-A, reveló que los niveles de los factores A (% ácido ascórbico) y B (% metabisulfito de sodio), así como su interacción, tuvieron un impacto estadísticamente significativo (Sig. < 0.05) en la densidad del biofilm. Estos resultados indican que tanto la concentración de ácido ascórbico como la de metabisulfito de sodio, así como la

combinación de ambos factores, influyeron de manera significativa en la densidad del biofilm estudiado.

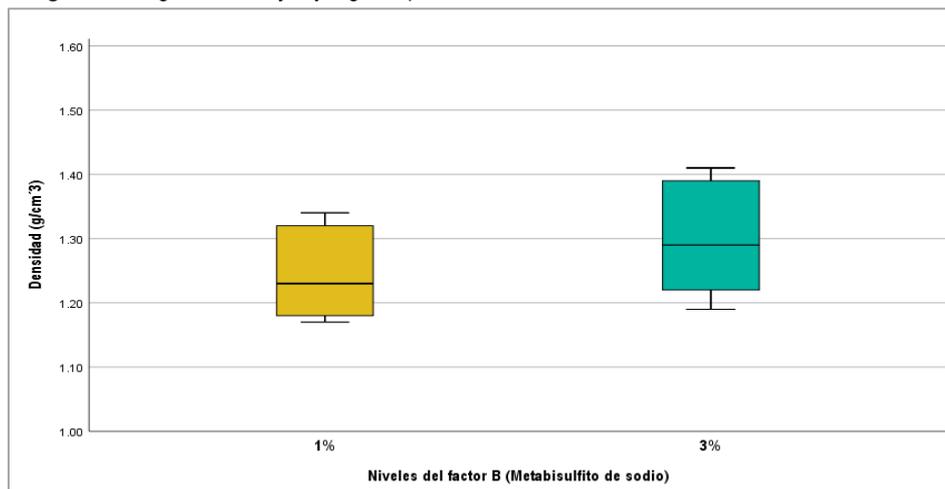
Para establecer la influencia de los niveles del factor A, se aplicó la prueba de Tukey al 5% de error, revelando que los porcentajes de ácido ascórbico presentaron disparidades significativas entre sí. Específicamente, el nivel a_1 (1% de ácido ascórbico) fue clasificado en el primer subconjunto al presentar el menor promedio de densidad observado. Por otro lado, el nivel a_3 (3% de ácido ascórbico) se ubicó en el tercer subconjunto al contribuir con una densidad más elevada al biofilm, alcanzando 1.36 g/cm³. Estos hallazgos sugieren que a medida que se incrementa el porcentaje de ácido ascórbico, se observa un aumento en la densidad del biofilm, como se detalla en la tabla 7.

Tabla 7. Prueba de Tukey para los niveles del factor A en función de la variable densidad.

Niveles del factor A (% de ácido ascórbico)	N	HSD Tukey ^{a,b}		
		Subconjunto		
		1	2	3
a_1 : 1%	6	1.1917		
a_2 : 2%	6		1.2633	
a_3 : 3%	6			1.3650

Según los resultados presentados en la figura 3, el nivel b_1 (1% de metabisulfito de sodio), generó el menor valor promedio de densidad al biofilm. Por el contrario, el nivel b_2 (3% de metabisulfito de sodio) produjo una mayor densidad al biofilm. Esta tendencia es consistente con los efectos observados para el factor A, donde a medida que aumenta el porcentaje de antioxidante, la densidad del biofilm tiende a incrementarse. Es decir, una mayor concentración de metabisulfito de sodio (factor B) en el biofilm, al igual que una mayor proporción de ácido ascórbico (factor A), favorece el desarrollo de una mayor densidad del biofilm.

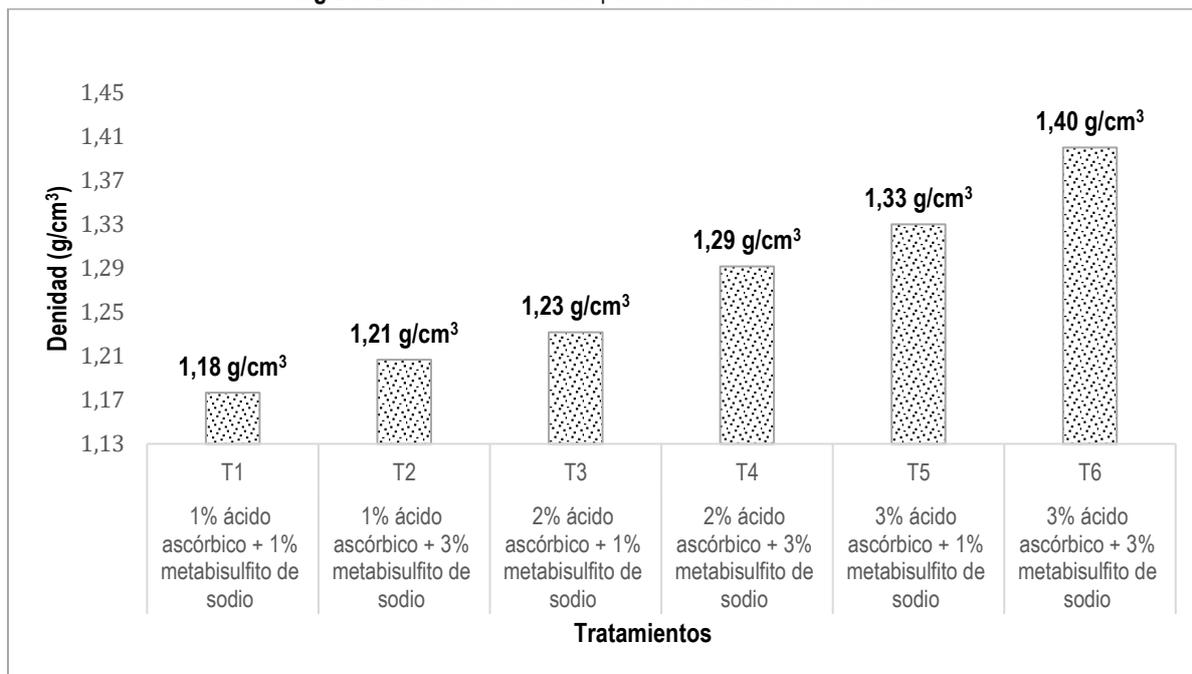
Figura 3. Diagrama de cajas y bigotes para los niveles del factor B en función de la densidad.



En el análisis del gráfico de perfil (anexo 2-B), se observa una relación directa entre el incremento en los niveles de ácido ascórbico y metabisulfito de sodio y la densidad del biofilm. Es evidente que a medida que aumenta el porcentaje de estos compuestos, la densidad del biofilm también se incrementa. Específicamente, al combinar un 3% de metabisulfito de sodio (b2) con un 3% de ácido ascórbico (a3), se logra alcanzar un promedio de densidad en el biofilm de 1.40 g/cm³. Es importante destacar que los niveles del factor A (ácido ascórbico) demostraron tener un efecto significativamente mayor en la variable dependiente que los niveles del factor B (metabisulfito de sodio).

Este hallazgo resalta la importancia de considerar cuidadosamente la interacción entre estos componentes en la densidad del biofilm, con implicaciones relevantes para el diseño y control de procesos relacionados con la formación y desarrollo de biofilms en diversos contextos. En la figura 4. se presentan las medias de densidad para los tratamientos, evidenciando lo expuesto anteriormente, donde a una mayor concentración de ácido ascórbico (3%) y metabisulfito de sodio (3%), se obtiene una mayor densidad en el biofilm, siendo el mejor tratamiento el T6 con una media de 1.40 g/cm³.

Figura 4. Medias de densidad para los tratamientos en estudio.



El rango de densidad reportado para los tratamientos varió entre 1.18 y 1.40 g/cm³, con promedios influenciados fundamentalmente por los niveles de los factores en estudio. Se observó que los porcentajes de ácido ascórbico ejercieron un efecto más significativo sobre la variable dependiente en comparación con el metabisulfito de sodio, debido a la densidad intrínseca de cada antioxidante. En particular, el ácido ascórbico presenta una densidad promedio de 1.65 g/cm³, mientras que el metabisulfito de sodio tiene un valor de 1.48 g/cm³, según lo indicado por Lamothe et al. (2021).

Dicha disparidad en densidades contribuyó a que el ácido ascórbico resultara en una mayor densidad en comparación con el metabisulfito de sodio. Además, al considerar que la densidad está relacionada con el peso y volumen, se concluye que, a mayor espesor, mayor densidad. Esto sugiere que, incluso bajo las mismas proporciones en la formulación del biofilm, el ácido ascórbico otorgará una mayor densidad, lo que se confirma con los resultados presentados en la figura 4.

Espejel et al. (2020) desarrollaron una biopelícula de grenetina, miel y cera de abeja con el propósito de mejorar la conservación de alimentos, reportando una densidad máxima de 1.2 g/cm³, aunque este valor difiere ligeramente del máximo alcanzado en esta investigación (1.4 g/cm³), los autores destacan que una mayor densidad

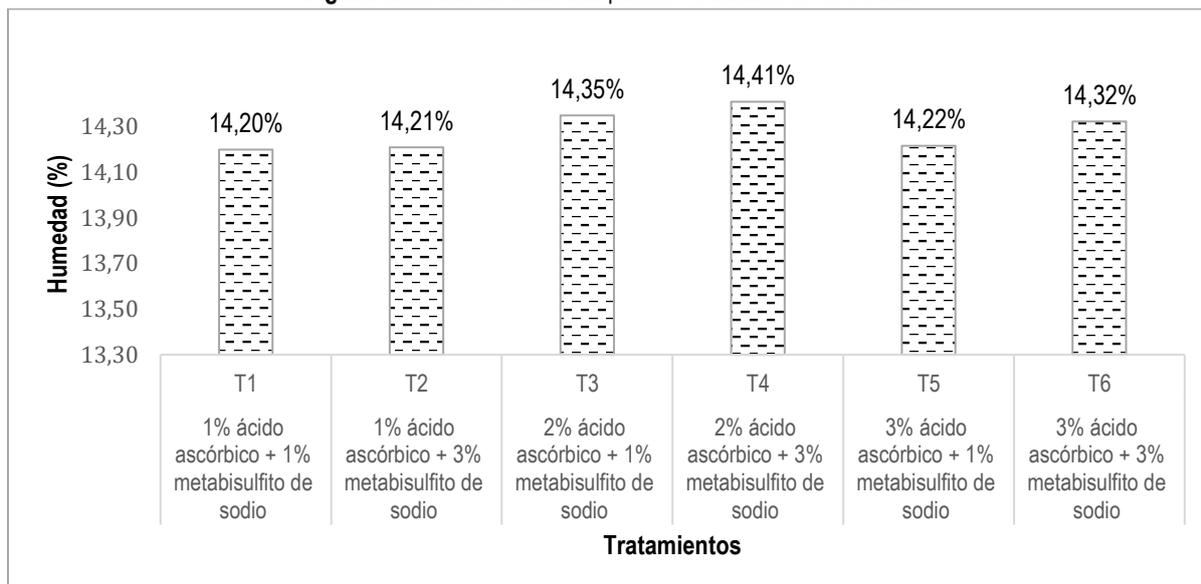
puede ofrecer una barrera más efectiva contra líquidos y gases. Por otro lado, en la investigación de Giler et al. (2021), se menciona que la densidad de los films varía entre 1.062 g/cm³ y 1.542 g/cm³, un rango que coincide con los resultados reportados en el estudio actual. No obstante, se aclara que este parámetro está influenciado significativamente por la formulación y los ingredientes utilizados en la composición del biofilm, lo que resalta la importancia de considerar estos factores en el diseño y optimización de material.

Por otra parte, Sánchez et al., (2021), elaboraron un bioplásticos a partir de residuos de aguacate, obteniendo una densidad máxima de 1.52 g/cm³, media que difiere del valor máximo reportando en esta investigación (1.4 g/cm³); no obstante, esto se debió al tamaño de las partículas de la materia prima principal, la cual fue residuos de aguacate que, al ser más grandes, otorgan mayor densidad.

4.1.3. HUMEDAD

El análisis de varianza realizado para la variable de humedad, como se detalla en el anexo 3-A, reveló que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Sig. \geq 0.05) entre los niveles de los factores A y B, así como en su interacción. Esto indica que tanto el ácido ascórbico como el metabisulfito de sodio, en las cantidades utilizadas, no tuvieron un impacto significativo en la humedad del biofilm. Esta conclusión se respalda al observar las medias de humedad de los diferentes tratamientos, donde se constata que, desde un punto de vista estadístico, los niveles promedio de humedad son equivalentes entre los tratamientos, como se ilustra en la figura 5.

Figura 5. Medias de humedad para los tratamientos en estudio



El análisis de humedad realizado en el biofilm reveló un rango de 14.21% a 14.41%, valores que se encuentran consistentes con los hallazgos previos de Maza et al. (2022) en su investigación sobre biopelículas derivadas de almidón de maíz chulpi, donde la humedad varió entre 12.7% y 18.2%. Es importante destacar que estos investigadores señalaron que un rango óptimo de humedad varía entre 19.3% y 22.1%, aunque este intervalo está influenciado por la humedad inicial de las materias primas, aditivos y sus respectivos porcentajes. En este contexto, las materias primas que podrían haber contribuido a la baja humedad reportada (figura 5), fue el porcentaje de glicerol, el cual proporciona suavidad y humectación al almidón (Arguello y Torres, 2021).

En el contexto de la biopelícula, Sánchez et al. (2021) desarrollaron un producto a partir de residuos de aguacate, logrando una humedad promedio de 23,43%, mencionado que esta variable se encuentra influenciada por la humedad inicial de las materias primas, aditivos y porcentajes utilizados. Según se menciona en la investigación de Espejel et al. (2020), que reportó valores de humedad entre 53,06% y 60%, debido a que en su formulación utilizaron miel de abeja, la cual suele reservar una mayor cantidad de humedad por su naturaleza hidrofílica, lo que puede explicar estos valores más altos. En general, valores de humedad entre 19% y 22% son beneficiosos para este tipo de material, debido a que les proporciona flexibilidad y resistencia (Maza et al., 2022).

4.2. INFLUENCIA DEL ÁCIDO ASCÓRBICO Y METABISULFITO DE SODIO EN LA SOLUBILIDAD DEL BIOFILM DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE YUCA UTILIZANDO TRES DISOLVENTES CON PROPIEDADES QUÍMICAS DIFERENTES

4.2.1. SOLUBILIDAD EN NaOH

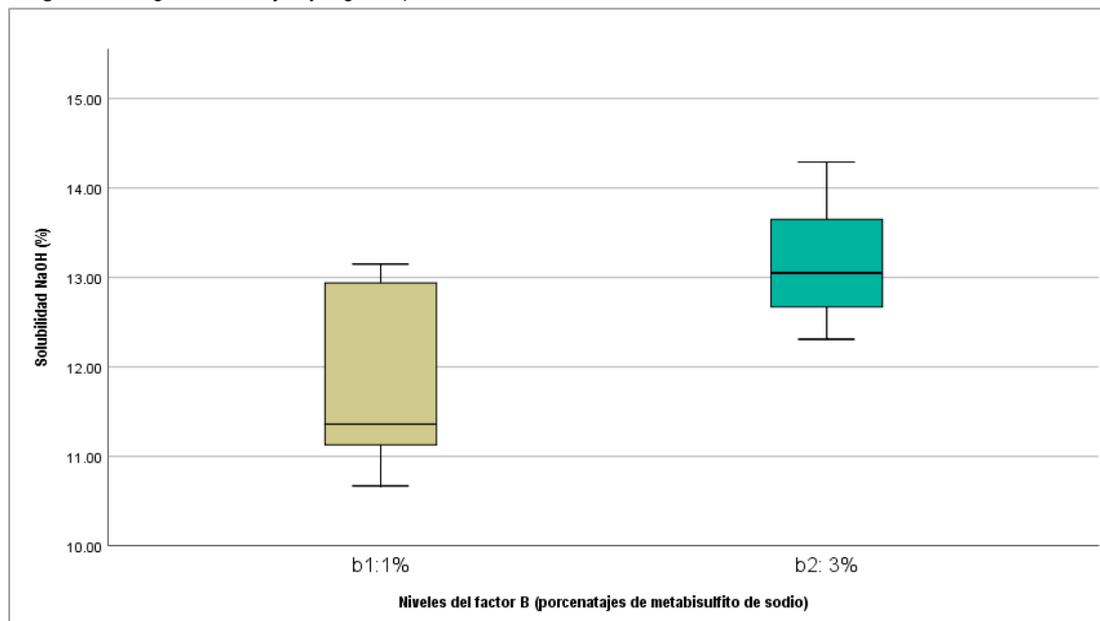
El análisis de varianza para la variable solubilidad en NaOH (anexo 4-A), evidenció diferencias estadísticas significativas (Sig. < 0.05) en todos los efectos principales del modelo estadístico, indicando que los factores en estudio incidieron sobre la variable respuesta. Para establecer el efecto de los niveles del factor A (porcentajes de ácido ascórbico) sobre la solubilidad del biofilm en NaOH, se aplicó la prueba de Tukey al 5% de error, evidenciando que, el nivel a_3 (3%), otorgó una mayor solubilidad a la biopelícula, en tanto que los niveles a_1 (1%) y a_2 (2%) estadísticamente proporcionaron la misma solubilidad, al compartir categorías (tabla 8).

Tabla 8. Prueba de Tukey para los niveles del factor A en función de la variable solubilidad NaOH.

Niveles del factor A (% de ácido ascórbico)	N	HSD Tukey ^{a,b}	
		Subconjunto	
		1	2
a_1 :1%	6	11.9883	
a_2 :2%	6	12.0833	
a_3 : 3%	6		13.4217

Por otra parte, para establecer el efecto del factor B (porcentaje de metabisulfito de sodio) sobre la variable respuesta, se aplicó un diagrama de cajas y bigotes (figura 6), donde se aprecia que, el nivel b_1 (1%) aportó una menor solubilidad que el nivel b_2 (3%), evidenciado la misma tendencia mostrada para el factor A.

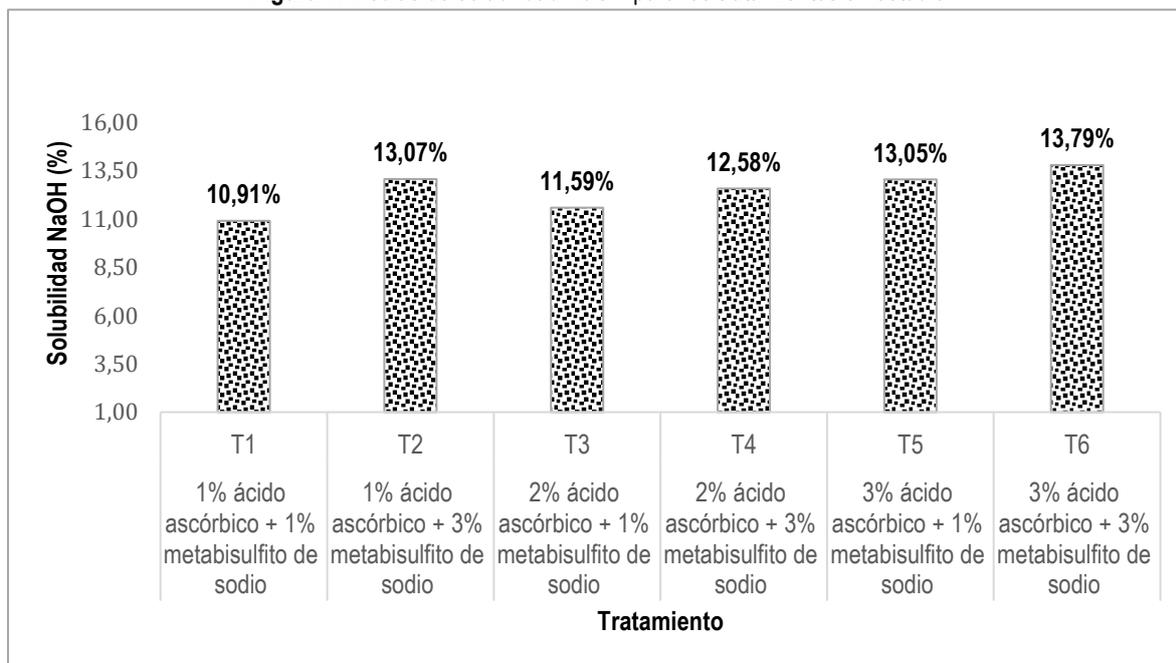
Figura 6. Diagrama de cajas y bigotes para los niveles del factor B en función de la variable solubilidad NaOH.



El gráfico de perfil para los factores en estudio (anexo 4-B), evidenció interacción entre los niveles a_1 y a_2 con los niveles del factor B. El gráfico muestra que, al utilizar un mayor porcentaje de ácido ascórbico, indistintamente del porcentaje de metabisulfito de sodio en el biofilm, consigue una mayor solubilidad, mientras que, a menor proporción de ambos antioxidantes, la solubilidad en NaOH es más baja.

Los rangos de solubilidad en NaOH para los tratamientos fueron entre 10.91% y 13.79% (figura 7), lo que se consideró bajo y adecuado para el estudio. Según Ocaña (2020), la solubilidad es una propiedad física significativa para determinar la estabilidad de la película, ya que una mayor solubilidad indica una menor resistencia a la degradación. Además, esta propiedad es crucial para determinar la funcionalidad del biofilm, debido a que su aplicación puede variar según la humedad del producto. En este sentido, los promedios obtenidos sugieren que todos los tratamientos podrían ser utilizados para recubrimiento, teniendo mayor aplicabilidad el T1 al ostentar el promedio más bajo para esta variable (10.91%).

Figura 7. Medias de solubilidad NaOH para los tratamientos en estudio



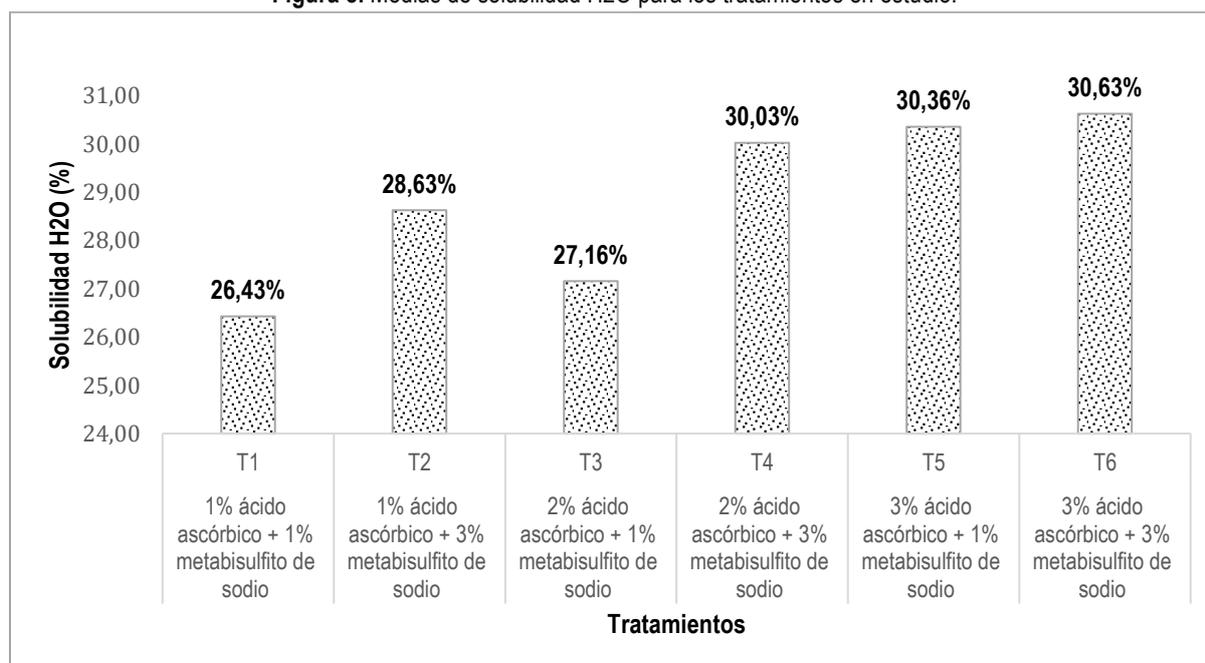
4.2.2. VARIABLE SOLUBILIDAD EN H₂O

El análisis estadístico mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para los niveles de los factores A (porcentaje de ácido ascórbico) y B (porcentaje de metabisulfito de sodio) sobre la variable solubilidad en H₂O, indicó que no hubo diferencias estadísticamente significativas para ambos factores (Sig. \geq 0.05). Por lo tanto, los porcentajes de ácido ascórbico y metabisulfito de sodio, no tuvieron un impacto significativo en la solubilidad en agua del biofilm, reteniendo la hipótesis de igualdad de medias (Anexo 5-A).

En el análisis de los tratamientos realizado mediante la prueba de Kruskal Wallis, evidenció que todos los tratamientos exhibieron una solubilidad en H₂O estadísticamente similar (Sig. \geq 0.05), lo que sugiere que los antioxidantes no tuvieron un efecto significativo sobre esta variable, reteniendo la hipótesis de igualdad de medias (Anexo 5-B). A pesar de esta homogeneidad, se observaron rangos de solubilidad en agua que oscilaron entre el 24.43% y el 30.63%. En contraste, Maza et al. (2022) desarrollaron una biopelícula a partir de almidón de maíz, donde reportaron niveles de solubilidad en agua que variaban entre 41.06% y el 57.04%, valores superiores a los obtenidos en este estudio.

Los autores antes mencionados señalaron que la presencia de glicerol en la biopelícula influye significativamente en la solubilidad, indicando que, a mayor proporción de glicerol en relación al almidón, se observa un incremento en la solubilidad del material. Por su parte, Escobar (2020) en su investigación reportó rangos de solubilidad en agua entre 56.17% y 61.44%, demostrando que una mayor proporción de almidón favorece una baja solubilidad y aunque estos valores difieren de los reportados en esta investigación (figura 8), todo dependerá de su aplicación o intención de uso, si para alimentos con alta o baja humedad.

Figura 8. Medias de solubilidad H₂O para los tratamientos en estudio.

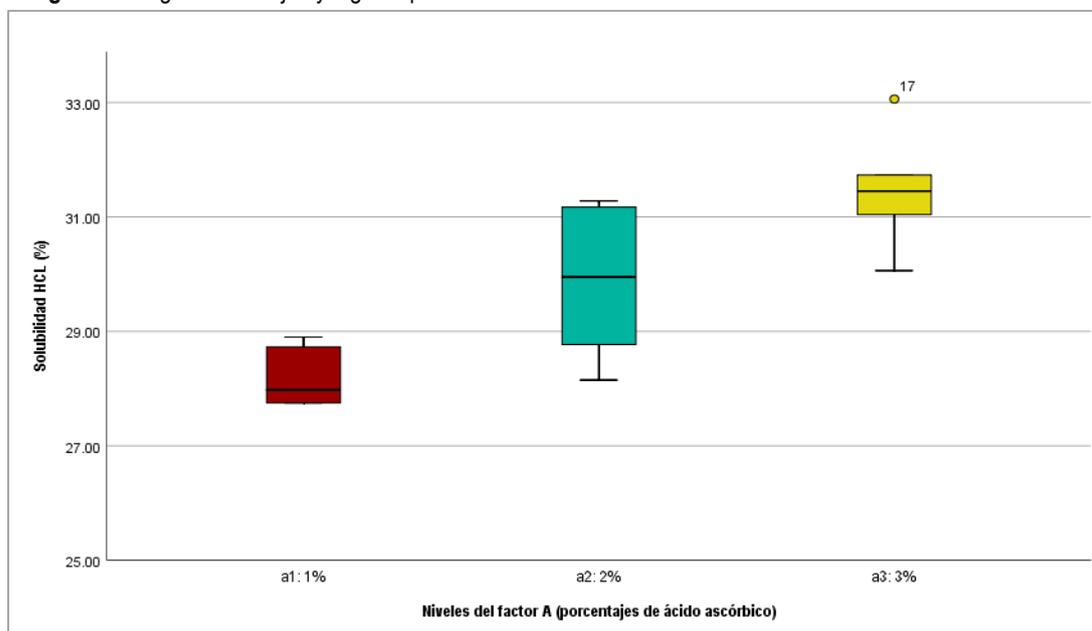


4.2.3. VARIABLE SOLUBILIDAD HCl

La prueba de hipótesis de Kruskal Wallis reveló significancia estadística (Sig. < 0.05) para los niveles del factor A (porcentaje de ácido ascórbico), lo que sugiere que la presencia de este compuesto tiene un impacto significativo sobre la solubilidad del biofilm en ácido clorhídrico (HCl). En contraste, el análisis no detectó influencia estadísticamente significativa para el factor B (porcentaje de metabisulfito de sodio), sobre la variable en estudio (anexo 6-A). Esto permite aceptar la hipótesis alternativa, indicando que el ácido ascórbico es un factor clave en la solubilidad del biofilm, mientras que el metabisulfito de sodio no tiene un efecto significativo en este proceso.

Para establecer el efecto de los niveles de factor A (porcentajes de ácido ascórbico) sobre la variable respuesta, se aplicó un diagrama de cajas y bigotes, donde se aprecia que el nivel a₃ (3%) otorgó un mayor promedio de solubilidad en HCl al biofilm, determinado que, por lo contrario, cuando se utiliza un menor porcentaje de ácido ascórbico, esta solubilidad disminuye (figura 9).

Figura 9. Diagrama de cajas y bigotes para los niveles del factor B en función de la variable solubilidad HCl.

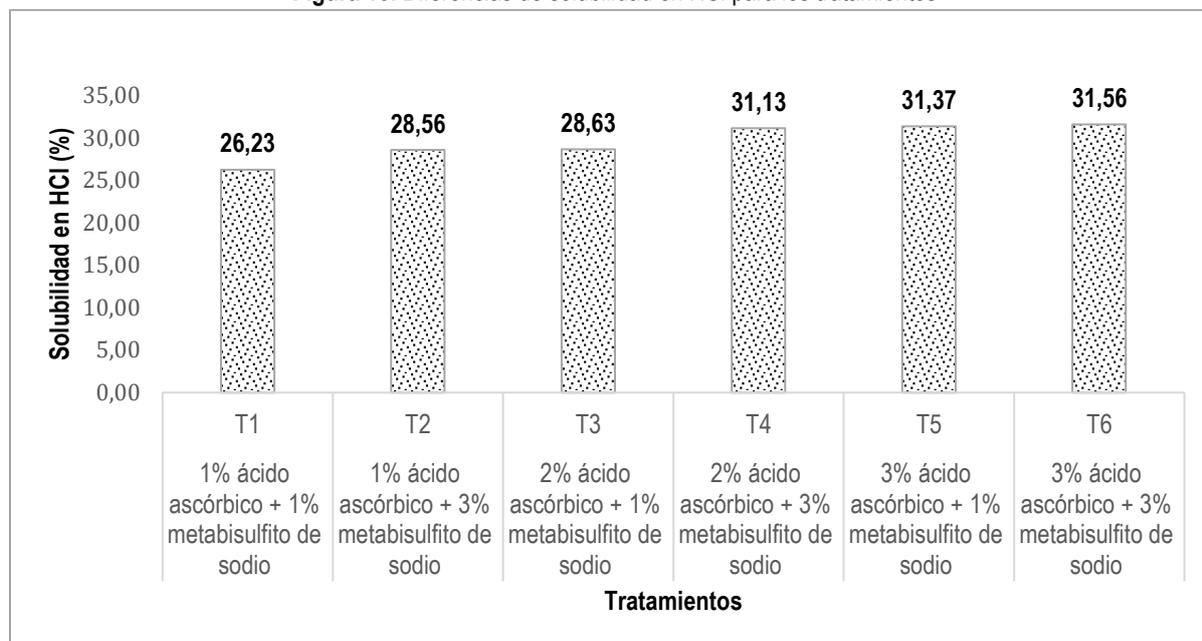


En cuanto a los tratamientos, el análisis de Kruskal Wallis, indicó diferencias estadísticas significativas (Sig. < 0.05) entre las medias de solubilidad en HCl, rechazando la hipótesis nula y aceptando la alternativa que indica diferencias de medias entre los niveles del factor A (anexo 6-B).

En este sentido, los rangos de solubilidad en HCl obtenidos fueron entre 26.23% y 31.56% (figura 10). Estos resultados se compararon con un estudio previo de Giler et al. (2021), quienes investigaron la solubilidad de películas de almidón de cáscara de yuca con aceites esenciales. En dicho estudio, se encontró que la solubilidad de los biofilms en HCl a las 24 horas podía variar entre 2.22 ± 0.00 y 30.38 ± 0.54 . Sin embargo, estos autores observaron una gran variabilidad en los resultados obtenidos y concluyeron que la tendencia a un incremento de la solubilidad es proporcional al aumento de la incorporación de agentes externos, como los aceites esenciales. En el caso particular de esta investigación, la solubilidad se relacionó con los antioxidantes

utilizados, siendo el ácido ascórbico (factor A) el que ejerció los efectos más significativos.

Figura 10. Diferencias de solubilidad en HCl para los tratamientos



La modificación química por oxidación, según Trujillo (2014), conduce a un aumento del carácter hidrofílico del almidón, lo que resulta en un incremento del valor de solubilidad de las películas a niveles superiores al 20%. Por otro lado, Valenzuela (2017) ha demostrado que la introducción de agentes externos en la formulación estándar de un biofilm, compuesta por almidón, glicerol, agua y NaOH, puede alterar las propiedades químicas de la película. Esto se debe a la presencia de componentes hidrofóbicos o hidrofílicos en el film, siendo estos compuestos de naturaleza hidrofóbica, pueden tener una estructura molecular que no se disuelve eficazmente en ácidos.

4.3. ANÁLISIS DE COLOR CIELAB PARA CUANTIFICAR LOS CAMBIOS CROMÁTICOS PRODUCIDOS POR LA INCORPORACIÓN ÁCIDO ASCÓRBICO Y METABISULFITO DE SODIO EN EL BIOFILM DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE YUCA

En la sección 3.3.2 del desarrollo metodológico se detalla el análisis de la variable color, que se llevó a cabo mediante la evaluación de los parámetros L, a, b en el

espacio de color CIELab. Mediante una formulación específica, estos parámetros se cuantificaron en dos variables distintas: diferencia de color (ΔE) e índice de blancura (WI). Estas variables resultantes se presentan a continuación, proporcionando una representación cuantitativa y objetiva de las características cromáticas y de luminosidad del objeto en estudio.

4.3.1. DIFERENCIA DE COLOR

El análisis de varianza realizado para la variable diferencia de color, según el anexo 7-A, revela que los niveles del factor A y B han demostrado un efecto significativo con un nivel de significancia inferior a 0.05 sobre dicha variable. A pesar de esto, no se ha observado interacción entre los factores analizados. Este hallazgo sugiere que tanto el factor A como el factor B influyen de manera individual en la diferencia de color, sin que exista una influencia conjunta o interacción significativa entre ellos.

En la tabla 9 se presenta la prueba de comparación múltiple de Tukey al 5% de error para los niveles del factor A (porcentaje de ácido ascórbico) sobre la diferencia de color en el biofilm. Los resultados indican que existe una diferencia estadísticamente significativa entre al menos uno de los niveles del factor A. La prueba de Tukey reveló que el nivel a_3 (3% de ácido ascórbico) difiere significativamente de los demás niveles en cuanto a la diferencia de color otorgada al biofilm. Por otro lado, no se encontraron diferencias estadísticas entre los niveles a_1 (1%) y a_2 (2%) de ácido ascórbico, lo que sugiere que utilizar 1% o 2% de este antioxidante produce el mismo efecto sobre el color del biofilm.

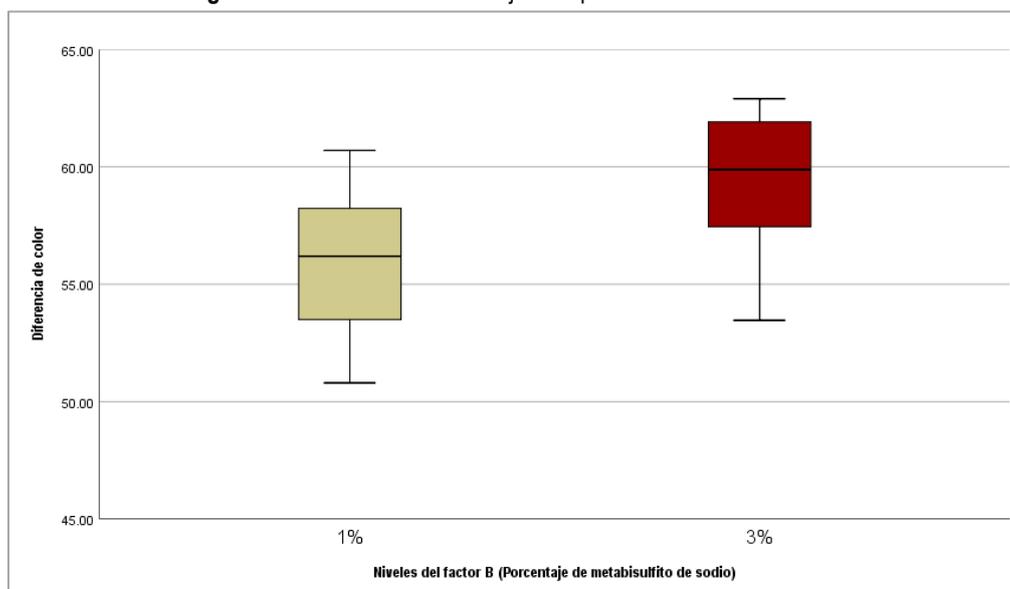
Tabla 9. Prueba de Tukey para los niveles del factor A en función de la variable diferencia de color

Niveles del factor A (% de ácido ascórbico)	HSD Tukey ^{a,b}		
	N	Subconjunto	
		1	2
a_3 : 3%	6	54.47	
a_1 : 1%	6		58.25
a_2 : 2%	6		60.31

En la representación gráfica de la figura 11, se observa un diagrama de cajas y bigotes que ilustra los resultados de los niveles del factor B. El análisis revela que el nivel b_2 (3% de metabisulfito de sodio), exhibió una media de diferencia de color

significativamente mayor en comparación con el nivel b₁ (1% de metabisulfito de sodio).

Figura 11. Diferencias de color ejercida por los niveles del factor B.

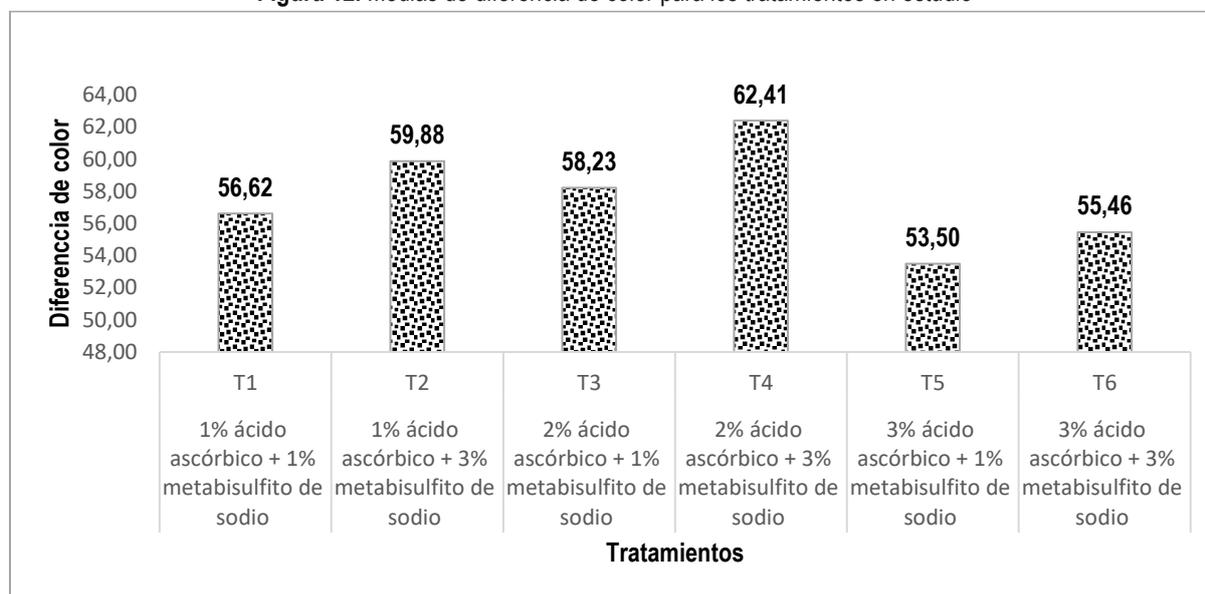


En la figura 12 se exhiben los promedios de diferencias de color obtenidos para cada tratamiento, con un rango que oscila entre 53.50 y 62.41 (ΔE). Se destaca que el metabisulfito de sodio demostró ejercer un impacto significativo en esta variable, ya que las mayores medias se observaron en los tratamientos que contenían este antioxidante en un 3%. Por otro lado, se evidenció que las medias más bajas correspondieron a los tratamientos con un mayor porcentaje de ácido ascórbico. Este patrón sugiere que las disparidades en color fueron influenciadas por las interacciones entre los antioxidantes presentes en la biopelícula, destacando la importancia de la composición y concentración de estos compuestos en el resultado final de la coloración.

Un estudio reciente de Yoplac et al. (2021) ha investigado las propiedades ópticas y mecánicas de una biopelícula desarrollada con citral (extracto del aceite de la hierba limón), revelando un rango de variación en el índice de color ΔE entre 7.6 y 20.6., en una misma biopelícula. Los resultados sugieren que las concentraciones de los insumos y aditivos, así como sus características bioquímicas, físicas y ópticas, podrían ser los factores clave que determinan las diferencias en el color observadas en la biopelícula. De acuerdo a este mismo autor, en el ámbito de las biopelículas o

biofilms, se destaca la importancia de mantener una baja diferencia de color (ΔE) como factor favorable. Esta baja diferencia de color señala una menor variación en la tonalidad entre distintas áreas de una misma biopelícula, lo que a su vez sugiere una mayor uniformidad en la biopelícula. Esta uniformidad resulta crucial para garantizar la calidad y consistencia del biofilm.

Figura 12. Medias de diferencia de color para los tratamientos en estudio



En términos prácticos, una baja diferencia de color en distintas áreas de un mismo biofilm no solo contribuye a una estructura más homogénea, sino que también promueve su estabilidad a lo largo del tiempo. Por consiguiente, la búsqueda de una baja ΔE en las biopelículas se posiciona como una estrategia clave para mantener su integridad y funcionalidad en diversos contextos.

4.3.2. ÍNDICE DE BLANCURA

El análisis de varianza para la variable índice de blancura (anexo 8-A), indicó diferencias estadísticas significativas para los efectos del modelo estadístico (Sig. < 0.05), donde los factores en estudio incidieron sobre el índice de blancura del biofilm; sin embargo, se evidenció que no hubo interacción entre estos factores. Para establecer las diferencias ejercidas por los niveles del factor A, se llevó a cabo una prueba de Tukey al 5% de error. Los resultados indicaron que el nivel a_3 (3% de ácido ascórbico), presentó una media significativamente mayor de índice de blancura

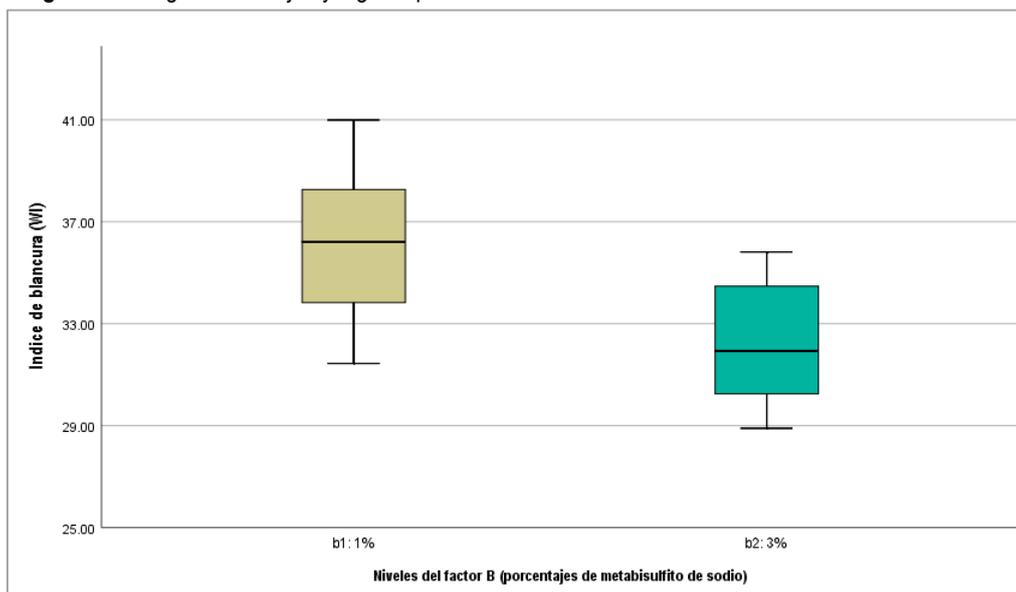
(36.8767 WI) en comparación con los demás niveles. Por otro lado, los niveles a_1 (1%) y a_2 (2%) que compartían categorías en el subconjunto uno, no presentaron diferencias estadísticamente significativas en su índice de blancura (tabla 10).

Tabla 10. Prueba de Tukey para los niveles del factor A en función de la variable índice de blancura.

Niveles del factor A (% de ácido ascórbico)	N	HSD Tukey ^{a,b}	
		Subconjunto	
		1	2
a_2 : 2%	6	31.7017	
a_1 : 1%	6	33.5583	
a_3 : 3%	6		36.8767

En el análisis de los efectos del factor B (porcentaje de metabisulfito de sodio) mediante un diagrama de cajas y bigotes (figura 13), se demostró que el nivel b_1 (1% de metabisulfito de sodio), presentó una media más elevada del índice de blancura en comparación con el nivel b_2 (3% de metabisulfito de sodio del 3%).

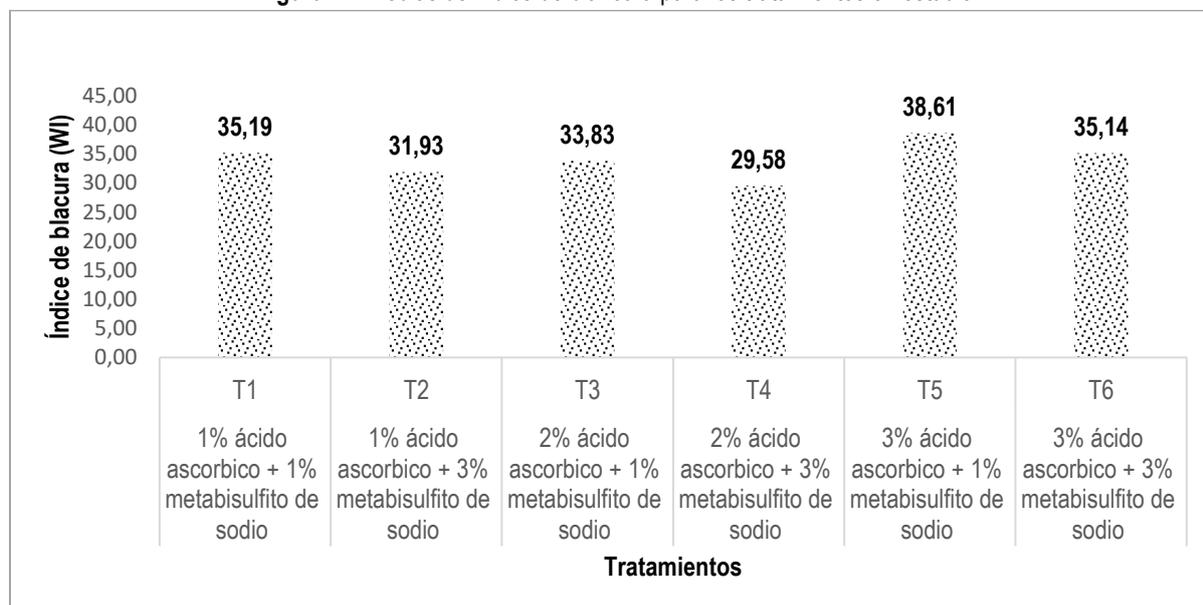
Figura 13. Diagrama de cajas y bigotes para los niveles del factor B de la variable índice de blancura.



Los rangos de índice de blancura obtenidos en esta investigación fueron de entre 28.58 y 38.6 WI. Se observó que los tratamientos con mayor proporción de ácido ascórbico en comparación con el metabisulfito de sodio presentaron los promedios más altos de WI, lo que sugiere que las concentraciones de estos antioxidantes influyeron significativamente en esta variable. En contraste, Yoplac et al. (2021) reportaron rangos de índice de blancura más elevados, entre 73.05 y 85.37. Según estos autores, un alto índice de blancura es favorable, ya que indica que el biofilm es más claro y presenta un color más blanco, lo cual puede ser deseable en aplicaciones

que requieren un aspecto visualmente atractivo o una mayor transparencia. Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente estudio (figura 14) difieren significativamente de los reportados estos autores, debido a la matriz utilizada, en general la matriz a partir de almidón de cáscara de yuca presenta tonalidades oscuras.

Figura 14. Medias de índice de blancura para los tratamientos en estudio



Los resultados del índice de blancura obtenidos, como se muestra en la figura 14, demostraron una clara correlación con las concentraciones de antioxidantes presentes en el biofilm. La presencia y proporción de antioxidantes en la muestra impactaron directamente en el grado de blancura observado, evidenciando la importancia de considerar tanto los componentes químicos como las propiedades físicas y ópticas al diseñar estos biofilms.

4.4. COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS CON EL TESTIGO

En el análisis presentado en anexo 9-aA, se llevó a cabo un contraste entre los tratamientos y un testigo que representaba un biofilm sin la presencia de antioxidantes. Los resultados revelaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al espesor entre el tratamiento T6 (3% de ácido ascórbico + 3% de metabisulfito de sodio) y el testigo. Estos hallazgos indican que los factores investigados tuvieron un impacto significativo en este tratamiento en particular, donde el T6 mostró el mayor espesor (0.15 mm), lo que lo posicionó como el tratamiento

más efectivo, en relación del testigo (0.13 mm). Sin embargo, al comparar los demás tratamientos con el testigo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, lo que sugiere que, en términos de espesor, estos tratamientos son equivalentes al testigo.

En cuanto a la variable densidad, el T1 (1% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio) fue estadísticamente igual al testigo (Sig.>0.05), presentando un promedio de densidad de: 1.18 g/cm³ y 1.16 g/cm³ respectivamente, mientras que los demás tratamientos, presentaron densidades superiores al testigo (Sig.≤ 0.05). En cuanto a la variable humedad, no hubo diferencias estadísticas significativas, indicando que tanto los tratamientos como el testigo presentaron la misma humedad. En cuanto a la variable solubilidad en H₂O, en análisis de Dunnett (anexo 9-A) indicó diferencias estadísticas significativas para todos los tratamientos (Sig.≤ 0.05), demostrando que, todos los tratamientos en estudio, presentaron una solubilidad promedio más alta que el testigo (18.19%).

En la misma línea, la prueba de Dunnett indicó que no hubo diferencias entre los tratamientos T1 (1% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio), T3 (2% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio) y el testigo (Sig. > 0.05), es decir, estadísticamente presentaron los mismos promedios de solubilidad en NaOH, mientras que, para los demás tratamientos, se dieron diferencias estadísticas significativas (Sig. ≤ 0.05), evidenciando que la solubilidad en NaOH promedio de los tratamientos fue mayor a la del testigo (11.06%). En cuanto a la solubilidad en HCl, todos los tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas (Sig. ≤ 0.05) de acuerdo a la prueba de Dunnett (anexo 9-B), demostrando que éstos presentaron medias de solubilidad mayores a las del testigo (19.89%).

Por otra parte, la prueba de Dunnett indicó diferencias estadísticas significativas (Sig. ≤ 0.05), entre los T2 (1% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio), T4 (2% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio) y el testigo para la variable diferencia de color (anexo 9-B), demostrando que, estos tratamientos presentaron las mayores medias de diferencias de color, en tanto que, para los demás tratamientos, sus promedios son estadísticamente iguales a los del testigo. Para la variable índice de blancura, no se identificaron diferencias entre los T1 (1% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de

sodio), T5 (3% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio), T6 (3% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio) y el testigo, siendo estadísticamente iguales (Sig. > 0.05), mientras que, para los demás tratamientos, el testigo presentó un mayor índice de color (38.39), indicando que los antioxidantes añadidos ejercieron un efecto sobre el color.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En factor A (porcentaje de ácido ascórbico) tuvo un efecto favorable para las variables de: espesor, densidad e índice de blancura, mientras que el factor B favoreció de mejor manera a las variables: diferencias de color, solubilidad en NaOH y solubilidad en HCl, mientras que estadísticamente (Sig.> 0.05), ambos factores influyeron de igual manera para la variable humedad y solubilidad en H₂O.
- EL T6, que poseía una concentración de 3% de ácido ascórbico y 3% de metabisulfito de sodio, demostró las mejores propiedades fisicoquímicas en términos de espesor (0.15 mm) y densidad (1.40 g/cm³), mientras que para la variable humedad, los resultados revelaron que no hubo diferencias estadísticas significativas (Sig. ≥ 0.05) entre los tratamientos, lo que sugiere que este parámetro no se vio afectado por la combinación de los factores en estudio.
- El T1 (1% de ácido ascórbico y 1% de metabisulfito de sodio), destacó por sus excelentes resultados en los ensayos de solubilidad en agua, exhibió un índice del 26.43%, indicando una solubilidad reducida en este solvente. Respecto a la solubilidad en hidróxido de sodio (NaOH) y ácido clorhídrico (HCl), el T1 mostró un porcentaje de 10.91% y 26.23% respectivamente, revelando una baja solubilidad en este medio alcalino y ácido. Estos hallazgos sugieren que la combinación equilibrada de ambos antioxidantes al 1%, resultó en una menor solubilidad del biofilm, lo que conlleva a una mayor resistencia a la degradación en diferentes solventes.
- El T5 (3% de ácido ascórbico y 1% de metabisulfito de sodio), demostró tener la menor media de diferencia de color, alcanzando un valor de 53.50 ΔE, contribuyendo a una mayor homogeneidad en la estructura y una mayor estabilidad a lo largo del tiempo del tratamiento. En cuanto al índice de blancura (WI), el T5 destacó al exhibir el mayor promedio registrado, alcanzando un valor

de 38.61 WI. Estos resultados revelaron que el biofilm (T5) presentaba una tonalidad más clara y un color más blanco en comparación con los demás tratamientos evaluados.

5.2. RECOMENDACIONES

- Considerar el T6 (3% de ácido ascórbico y 3% de metabisulfito de sodio) o concentraciones de antioxidantes similares, para lograr propiedades fisicoquímicas superiores en términos de espesor y densidad. Esta formulación demostró ser efectiva en mejorar estas características, lo que sugiere su potencial para aplicaciones donde estas propiedades son críticas.
- Para mejorar la solubilidad en agua y la resistencia a la degradación en diferentes solventes como el NaOH o HCl, se puede considerar la combinación equilibrada de antioxidantes como la del T1 (1% de ácido ascórbico y 1% de metabisulfito de sodio). Esta formulación mostró una menor solubilidad del biofilm, lo que indica una mayor resistencia a la degradación en medios alcalinos y ácidos.
- Para obtener un biofilm con una estructura más homogénea y estable en términos de color, se puede optar por una formulación similar a la del T5 (3% de ácido ascórbico y 1% de metabisulfito de sodio). Este tratamiento demostró tener la menor diferencia de color y el mayor índice de blancura, lo que sugiere una mayor homogeneidad en la estructura y una tonalidad más clara y blanca, aspectos deseables para ciertas aplicaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Atarés, L. (2011). Determinación de la densidad de un líquido con el método del picnómetro. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/>
- Arguello, A. y Torres, K. (2021). Diseño y construcción de un equipo de moldeo térmico para la elaboración de platos biodegradables a partir del bagazo de la Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).
- Berkhout, N. (2021, septiembre 6). *Cáscaras de yuca: De residuo a valioso alimento para el ganado*. All About Feed. <https://es.allaboutfeed.net/cascaras-de-yuca-de-residuo-a-valioso-alimento-para-el-ganado/>
- Blanco, J., Caicedo, M., Caro, M., Centeno, J., & Rodríguez, M. (2017). Elaboración de una película plástica biodegradable a partir del almidón de yuca y pectina. *REVISTA CLIC*, 1(1), 1-6. <http://www.fitecvirtual.org/ojs-3.0.1/index.php/clic/article/view/252>
- Briones, S., & Riera, M. (2020). Residuos de la cáscara de yuca y cera de abejas como potenciales materiales de partida para la producción de bioplásticos. *Avances en Química*, 15(1), 3-11. <https://www.researchgate.net/publication>
- Calvo, A. (2013). *Análisis y simulación numérica del proceso de biodegradación por hidrólisis de biopolímeros en aplicaciones biomédicas*. [Tesis de grado, Universidad de Sevilla]. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/>
- Chimbo, M. (2021). *“Producción de plástico biodegradable para el uso en alimentos a partir del almidón de residuos de yuca (manihot esculenta)”*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/14783/1/236T0544.pdf>
- Escobar, J. (2020). Tesis de pregrado. *Elaboración y caracterización de biopelículas elaboradas con quitosano y adicionadas con partículas de almidón*. Universidad Autónoma Del Estado De México, Toluca, Mexico. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/>
- Espejel, X., Hernández, G., Chirino, G., & Palomar, M. (2020). Elaboración y evaluación de una biopelícula comestible con el uso de grenetina, miel y cera de abeja, para la conservación de tres variedades de *Vitis vinifera* (uva).

Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química, 6(6). Obtenido de <http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/>

- Flores, J., Marchi, L., Scapim, M., Gobetti, N., Yamashita, F., & Giriboni, A. (2022). Desarrollo de películas biodegradables con extracto de cáscara de granada y sorbato de potasio. *LWT*, 160(1), 113-302. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643822002377>
- García, C., & Sánchez, F. (2021). Tesis de pregrado. *Uso de los residuos de la cáscara de banano (musa paradisiaca), para la elaboración de material plástico biodegradable*, ESPAM MFL. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Manabí, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1429/1/TTMA21D.pdf>
- Granda, O. (2020). *Vista de Desarrollo de películas biodegradables usando zeolitas impregnadas con plata | Avances de Investigación en Ingeniería*. Revistas Universidad Libre. <https://revistas.unilibre.edu>.
- Gutierrez, I., & Quispe, N. (2022). *Evaluación de propiedades bioactivas de envases biodegradables elaborados con almidón de papa nativa (solanum tuberosum) y pituca (colocasia esculenta)*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Del Centro Del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/>
- Guamán, M. (2019). Tesis de pregrado. *“obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cascara de papa para su aplicación industrial”*. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf>
- Hernández, M., Orozco, M., Hernández, F., Martínez, D., Tirado, J., & López, H. (2018). *Evaluación de propiedades antioxidantes y de barrera de un bioempaque funcionalizado con aceite de orégano*. Nuevo Vallarta. Obtenido de <https://www.researchgate.net/>
- Jamanca, N., & Alfaro, S. (2017). *Antioxidantes en los alimentos*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Barranca]. <https://repositorio.unab.edu>.
- Jadán, F. (2017). Control del pardeamiento enzimático en manzanas cortadas (Red delicious) mediante un sistema de envasado activo. [Artículo científico, Universidad UTE]. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=_-FuhugAAAAJ&citation_for_view=_-FuhugAAAAJ:Se3iqnhoufwC

- Lamothe, Abiet. (Octubre de 2021). *ÁCIDO ASCÓRBICO. Fichas de Datos de Seguridad*. Buenos Aires, Argentina . Obtenido de [efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://lamothe-abiet.com/wp-content/up](https://lamothe-abiet.com/wp-content/up)
- Maza, J., Sánchez, H., Flores, L., & Bonilla, M. (2022). Obtención de una Biopelícula a Partir de Almidón de Maíz Chulpi (*Zea Mays Amylosaccharata*) para Embalaje de Alimentos. *Revista Polo del Conocimiento*, 7(2), 1270 - 1297. doi:10.23857/pc.v7i2.3646
- Mencías, P. (2022). *Desarrollo y caracterización de bioplásticos alginato-celulosa y quitosano-celulosa*. [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/27029/1/UCE-FCQ-CQA-MENCIAS%20PATRICIO.pdf>
- Menoscal, R., & Rodríguez, E. (2017). *Elaboración de láminas biodegradables a partir de los residuos del almidón de yuca*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”]. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/623/1/TMA141.pdf>
- Montoya, J., Giraldo, G., & Lucas, J. (2012). Determinación del índice de blancura en harina de trigo comercial. *Vitae*, 19(1), 415-416. <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914130.pdf>
- NTE INEN 3024. (2016). *Plásticos. película retráctil de polietileno (pe) y sus copolímeros. requisitos y métodos de ensayo*. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_3024.pdf
- NTE INEN-CODEX 192. (2016). *NORMA GENERAL PARA LOS ADITIVOS ALIMENTARIOS (CODEX STAN 192-1995, IDT)*. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen-codex_192.pdf
- Ocaña, L. (2020). Tesis de pregrado. *Comparación de la solubilidad y elasticidad en biopelículas elaboradas a partir de harina y almidón de Musa acuminata y Zea mays*. Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador . Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/>
- Parra, B. (2019). *Obtención de biofilm a partir del almidón de Zanahoria Blanca (Arracacia xanthorrhiza) y de Camote (Ipomoea batatas) como alternativa al uso de material plástico derivado de petróleo*. [Tesis de grado, Escuela Superior

Politécnica De Chimborazo].

<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13808>

- Párraga, M., & Jádan, D. (2022). *Desarrollo de un biofilm a partir de almidón de cáscara de yuca nativa de la provincia de Manabí*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Manabí].(Tesis de grado no publicada).
- Párraga, M., & Jádan, D. (2022). *Desarrollo de un biofilm a partir de almidón de cáscara de yuca nativa de la provincia de Manabí*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Manabí].(Tesis de grado no publicada).
- Peralta, D. (2022). Tesis de posgrado. *obtención y caracterización de biopelículas comestibles para recubrir alimentos a partir demucílago de nopal (Opuntia ficus indica) y almidón de oca (Oxalisterosa)*. Universidad nacional de san antonio abad del cusco, Cusco, Perú. Obtenido de <https://repositorio.unsaac.edu>
- Pérez, L., Cifuentes, M., Franco, A., Pérez, C., & Andrade, R. (2020). Desarrollo y caracterización de películas comestibles a base de almidón nativo de yuca, cera de abeja y propóleo. *Revista NFS*, 21(1), 39-49. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352364620300201>
- Pirnia, M., Shirani, K., Tabatabaee, F., Ali, S., & Mohebbi, M. (2022). Caracterización de una película bicapa de biopolímero activo antioxidante a base de gelatina-incienso incorporada con ácido ascórbico y aceite esencial de Hyssopus officinalis. *Química de los alimentos: X*, 14(1), 100-300. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590157522000980>
- Rodríguez, W., Martínez, F., Jiménez, O., González, R., & Galicia, T. (2013). Propiedades funcionales de películas extruidas y tubulares de glicerol a base de almidón de sorgo y extracto de Yucca Schidigera. *Cultivos y Productos Industriales*, 44(1), 405-412. <https://www.sciencedirect.com/science/>
- Sánchez, H., Ponce, W., Brito, B., Viera, W., Baquerizo, R., & Riera, M. (2021). Biofilms Production from Avocado Waste*. *Revista Ingeniería y Universidad*, 25, 1 - 16. doi:<https://doi.org/10.11144/Javeriana.ued25.bpaw>
- Silveira, A. (2017). Uso de aditivos y métodos físicos para mantener la calidad de los productos de IV gama o mínimamente procesados. *Agrociencia Uruguay*, 21(1), 1-6. <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v21n1/2301-1548-agro-21-01-00001.pdf>

- Talens, P. (2016, septiembre 29). *Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB*. Tecnología de Alimentos. Retrieved noviembre 28, 2022, from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/>
- Trujillo, C. (2014). *Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (manihot esculenta crantz) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Amazónica de Madre De Dios]. <https://repositorio.unamad.edu.pe>
- Valenzuela, P. (2017). *Efecto de la aditivación de ácidos húmicos o hidrolizados de lodos en las propiedades de films de gelatina*. [Tesis de maestría, Universidad De Oviedo]. [<https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/>
- Yoplac, I., Córdova, P., & Vargas, L. (2021). Propiedades ópticas y mecánicas de biopelículas activas elaboradas con micropartículas de citral. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, 44(1), 12 - 20. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/6057/605772532003/605772532003.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Análisis estadístico para la variable espesor

Anexo 1-A: Análisis de varianza para la variable espesor

Variable dependiente: Espesor (mm)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Factor A: Ácido ascórbico (%)	0.001	2	0.001	10.300	0.002
Factor B: Metabisulfito de sodio (%)	0.000	1	0.000	6.400	0.026
Factor A * Factor B	0.000	2	7.222E-05	1.300	0.308
Error	0.001	12	5.556E-05		
Total	0.317	18			

a. R al cuadrado = .712 (R al cuadrado ajustada = .591)

Anexo 1-B: Prueba de Tukey al 5% de error para los tratamientos en función del espesor (mm).

HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	2
T1 (1% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	3	0.12 mm	
T3 (2% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	3	0.13 mm	0.13 mm
T4 (2% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	3	0.13 mm	0.13 mm
T2 (1% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	3	0.13 mm	0.13 mm
T5 (3% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	3		0.14 mm
T6 (3% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	3		0.15 mm

Anexo 2. Análisis estadístico para la variable densidad

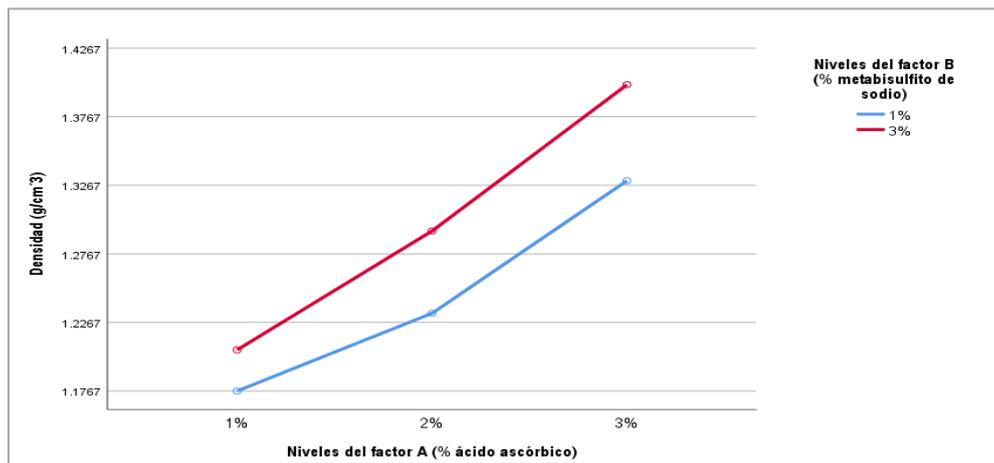
Anexo 2-A: Análisis de varianza para la variable densidad

Variable dependiente: Densidad (g/cm ³)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Factor A: Ácido ascórbico (%)	0.091	2	0.046	372.409	0.000
Factor B: Metabisulfito de sodio (%)	0.013	1	0.013	104.727	0.000
Factor A * Factor B	0.001	2	0.001	5.318	0.022
Error	0.001	12	0.000		
Total	29.291	18			

a. R al cuadrado = .986 (R al cuadrado ajustada = .981)

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2-B. Interacción de factores en estudio para la variable densidad.



Anexo 3. Análisis estadístico para la variable humedad

Anexo 3-A: Análisis de varianza para la variable humedad.

Variable dependiente: Humedad (%)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Factor A: Ácido ascórbico (%)	0.094	2	0.047	0.135	0.875
Factor B: Metabisulfito de sodio (%)	0.016	1	0.016	0.045	0.836
Factor A * Factor B	0.007	2	0.004	0.010	0.990
Error	4.161	12	0.347		
Total	3677.380	18			

a. R al cuadrado = .027 (R al cuadrado ajustada = -.378)

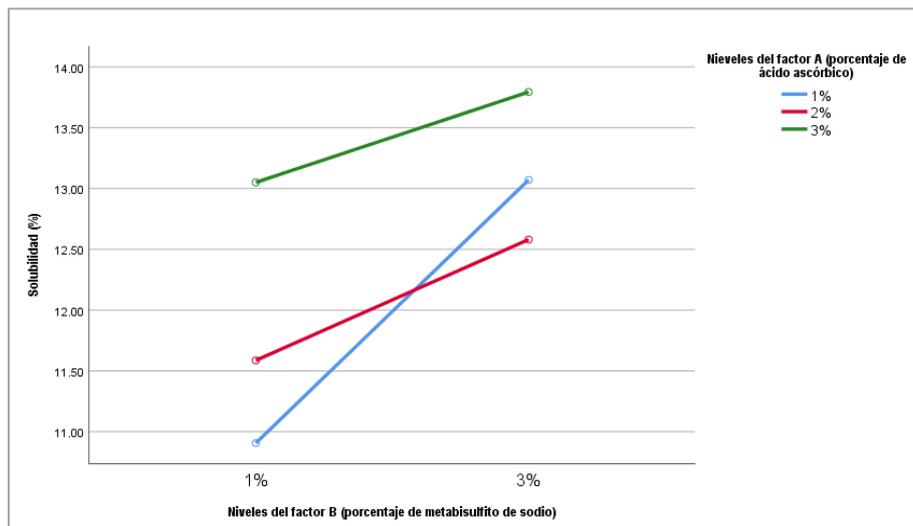
Anexo 4. Análisis estadístico para la variable solubilidad NaOH

Anexo 4-A: Análisis de varianza para la variable solubilidad NaOH

Variable dependiente: Solubilidad NaOH (%)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Factor A: Ácido ascórbico (%)	7.709	2	3.855	21.663	0.000
Factor B: Metabisulfito de sodio (%)	7.605	1	7.605	42.741	0.000
Factor A * Factor B	1.724	2	0.862	4.844	0.029
Error	2.135	12	0.178		
Total	2830.673	18			

a. R al cuadrado = .889 (R al cuadrado ajustada = .842)

Anexo 4-B. Interacción de factores en estudio para la variable solubilidad NaOH.



Anexo 5. Análisis estadístico para la variable solubilidad H₂O

Anexo 5-A. Pruebas no paramétricas para los niveles del factor A y B en función de la variable solubilidad H₂O.

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Solubilidad H ₂ O es la misma entre las categorías del factor A (% ácido ascórbico)	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.22	Retener la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .05.				
Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Solubilidad H ₂ O es la misma entre las categorías de factor B (% metabisulfito de sodio).	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	0.6661	Retener la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .05.				

Anexo 5-B. Pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis para los tratamientos en función de la variable solubilidad H₂O.

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Solubilidad H ₂ O es la misma entre las categorías de Tratamientos.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.651	Retener la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .05.				

Anexo 6. Análisis estadístico para la variable solubilidad HCl

Anexo 6-A: Pruebas no paramétricas para los niveles del factor A y B en función de la variable solubilidad HCl.

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1 La distribución de Solubilidad HCl es la misma entre las categorías del factor A (% ácido ascórbico)	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.002	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .05.			
Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1 La distribución de Solubilidad HCl es la misma entre las categorías del factor B (% metabisulfito de sodio)	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	0.2221	Retener la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .05.			

Anexo 8-B. Pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis para los tratamientos en función de la variable solubilidad HCl.

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1 La distribución de Solubilidad HCl es la misma entre las categorías de Tratamientos.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.012	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .05.			

Anexo 7. Análisis estadístico para la variable diferencia de color

Anexo 7-A. Análisis de varianza para la variable diferencia de color.

Variable dependiente: Diferencia de color					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Factor A: Ácido ascórbico (%)	105.230	2	52.615	9.355	0.004
Factor B: Metabisulfito de sodio (%)	44.180	1	44.180	7.855	0.016
Factor A * Factor B	3.732	2	1.866	0.332	0.724
Error	67.491	12	5.624		
Total	60108.623	18			

a. R al cuadrado = .694 (R al cuadrado ajustada = .567)

Anexo 8. Análisis estadístico para la variable índice de blancura

Anexo 8-A: Análisis de varianza para la variable índice de blancura.

Variable dependiente: Índice de blancura					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Factor A: Ácido ascórbico (%)	82.478	2	41.239	10.932	0.002
Factor B: Metabisulfito de sodio (%)	60.207	1	60.207	15.960	0.002
Factor A * Factor B	0.822	2	0.411	0.109	0.898
Error	45.269	12	3.772		
Total	21052.574	18			

a. R al cuadrado = .760 (R al cuadrado ajustada = .660)

Anexo 9. Análisis estadístico para los tratamientos

Anexo 9-A: Prueba de Dunnett para el contraste de los tratamientos y testigo.

Comparaciones múltiples					
T de Dunnett (bilateral) ^a					
	Variable dependiente		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
Espesor	T1 (1% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	-0.01	0.00591	0.385
	T2 (1% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	0.0067	0.00591	0.739
	T3 (2% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	0.0000	0.00591	1.000
	T4 (2% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	0.0033	0.00591	0.982
	T5 (3% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	0.0133	0.00591	0.161
	T6 (3% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	.0200*	0.00591	0.021
Densidad	T1 (1% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	0.0167	0.00992	0.392
	T2 (1% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	.0467*	0.00992	0.002
	T3 (2% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	.0733*	0.00992	0.000
	T4 (2% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	.1333*	0.00992	0.000
	T5 (3% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	.1700*	0.00992	0.000
	T6 (3% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	.2400*	0.00992	0.000
Humedad	T1 (1% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	0.0667	0.44529	1.000
	T2 (1% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	0.0767	0.44529	1.000
	T3 (2% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	0.2167	0.44529	0.991
	T4 (2% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	0.2767	0.44529	0.971
	T5 (3% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	0.0833	0.44529	1.000
	T6 (3% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	0.19	0.44529	0.995
Solubilidad_H2O	T1 (1% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	8.2433*	2.19773	0.010
	T2 (1% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	10.4433*	2.19773	0.002
	T3 (2% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	8.9733*	2.19773	0.005
	T4 (2% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	11.8400*	2.19773	0.000
	T5 (3% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	12.1733*	2.19773	0.000
	T6 (3% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	12.4433*	2.19773	0.000

a. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

Anexo 9-B: Prueba de Dunnett para el contraste de los tratamientos y testigo.

Comparaciones múltiples					
T de Dunnett (bilateral) ^a					
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
Solubilidad NaOH	T1 (1% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	-0.1567	0.31968	0.991
	T2 (1% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	2.0067*	0.31968	0.000
	T3 (2% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	0.5233	0.31968	0.416
	T4 (2% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	1.5167*	0.31968	0.002
	T5 (3% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	1.9867*	0.31968	0.000
	T6 (3% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	2.7300*	0.31968	0.000
Solubilidad HCL	T1 (1% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	6.3400*	0.99993	0.000
	T2 (1% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	8.6700*	0.99993	0.000
	T3 (2% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	8.7333*	0.99993	0.000
	T4 (2% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	11.2367*	0.99993	0.000
	T5 (3% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	11.4767*	0.99993	0.000
	T6 (3% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	11.6667*	0.99993	0.000
Diferencia de color	T1 (1% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	3.4500	1.79433	0.275
	T2 (1% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	6.7100*	1.79433	0.010
	T3 (2% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	5.0567	1.79433	0.059
	T4 (2% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	9.2367*	1.79433	0.001
	T5 (3% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	0.3267	1.79433	1.000
	T6 (3% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	2.2867	1.79433	0.643
Índice de blancura	T1 (1% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	-3.2067	1.47890	0.186
	T2 (1% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	-6.4633*	1.47890	0.003
	T3 (2% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	-4.5667*	1.47890	0.036
	T4 (2% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	-8.8167*	1.47890	0.000
	T5 (3% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio)	Testigo	0.2167	1.47890	1.000
	T6 (3% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio)	Testigo	-3.2500	1.47890	0.177

a. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

Anexo 10. Reporte de análisis fisicoquímicos

Anexo 10-A. Análisis fisicoquímicos para los tratamientos en estudios



ESPAMMFL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ



VICERRECTORADO
ACADÉMICO

LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA DEL ÁREA AGROINDUSTRIAL DE LA ESPAM "MFL"			
REPORTE DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS			
Estudiantes	Ramón Omar López Saavedra Jorman Alexander Zambrano Parrales	C.C	230037312-9 172166901-6
Dirección	Ciudad de Calceta		
Teléfono	0981166578	Fecha de muestro	07/09/2023
Muestra	Laminas de biofilm	Fecha de recibido	07/09/2023
Cantidad recibida	21 muestras	Fecha de análisis	07/09/2023
Tipo de envase	Frascos desechables con muestras de biofilm	Fecha de reporte	12/09/2023
Observaciones	El laboratorio no se responsabiliza por traslado de muestra	Método de muestro:	NTE INEN 04
Objetivo del muestreo	Control de calidad	Responsables del muestro:	Investigador

El análisis corresponde a muestras de un biofilm elaborado con almidón de cáscara de yuca y la incorporación de dos antioxidantes (ácido ascórbico y metabisulfito de sodio) como factores en estudio.

Nota: Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas y, no para otros productos de la misma precedencia.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe.

Tabla 1. Análisis de densidad y humedad.

Combinación de niveles	Tratamientos	Variables dependientes	
		Densidad (g/cm ³)	Humedad (%)
1% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio	T1R1	1.18	14.39
	T1R2	1.17	14.64
	T1R3	1.18	13.57
1% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio	T2R1	1.19	14.87
	T2R2	1.21	14.54
	T2R3	1.22	13.22
2% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio	T3R1	1.23	14.83
	T3R2	1.25	14.71
	T3R3	1.22	13.51
2% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio	T4R1	1.29	14.87
	T4R2	1.30	14.16
	T4R3	1.29	14.20
3% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio	T5R1	1.33	14.44
	T5R2	1.34	14.48
	T5R3	1.32	13.73
3% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio	T6R1	1.41	14.56
	T6R2	1.40	13.90
	T6R3	1.39	14.51
0% ácido ascórbico + 0% metabisulfito de sodio	Testigo 1	1.18	14.16
	Testigo 2	1.15	14.15
	Testigo 3	1.15	14.09

LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA DEL ÁREA AGROINDUSTRIAL DE LA ESPAM "MFL"



Tabla 2. Análisis de solubilidad del biofilm en H₂O, NaOH y HCL

Combinación de niveles	Tratamientos	Variables dependientes		
		Solubilidad H ₂ O (%)	Solubilidad NaOH (%)	Solubilidad HCL (%)
1% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio	T1R1	21.03	10.67	23.05
	T1R2	31.83	10.92	27.75
	T1R3	26.43	11.13	27.90
1% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio	T2R1	26.80	13.65	28.73
	T2R2	30.46	12.89	28.06
	T2R3	28.63	12.67	28.90
2% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio	T3R1	23.10	11.36	28.15
	T3R2	31.22	11.28	28.77
	T3R3	27.16	12.12	28.96
2% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio	T4R1	29.89	12.38	31.17
	T4R2	30.08	12.31	31.28
	T4R3	30.11	13.05	30.94
3% ácido ascórbico + 1% metabisulfito de sodio	T5R1	29.96	13.06	31.73
	T5R2	30.67	12.94	31.34
	T5R3	30.45	13.15	31.04
3% ácido ascórbico + 3% metabisulfito de sodio	T6R1	29.40	14.29	30.06
	T6R2	31.86	13.96	33.06
	T6R3	30.63	13.13	31.56
0% ácido ascórbico + 0% metabisulfito de sodio	Testigo 1	18.22	10.98	19.92
	Testigo 2	17.92	11.12	20.22
	Testigo 3	18.42	11.09	19.54

Ing. Jorge Tezca Delgado
TÉCNICO DEL LAB. DE BROMATOLOGÍA



LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA DEL ÁREA AGROINDUSTRIAL DE LA ESPAM "MFL"

Anexo 11. Análisis de laboratorio

11-A. Antioxidantes utilizados



11-B. Utilización de glicerina como plastificante

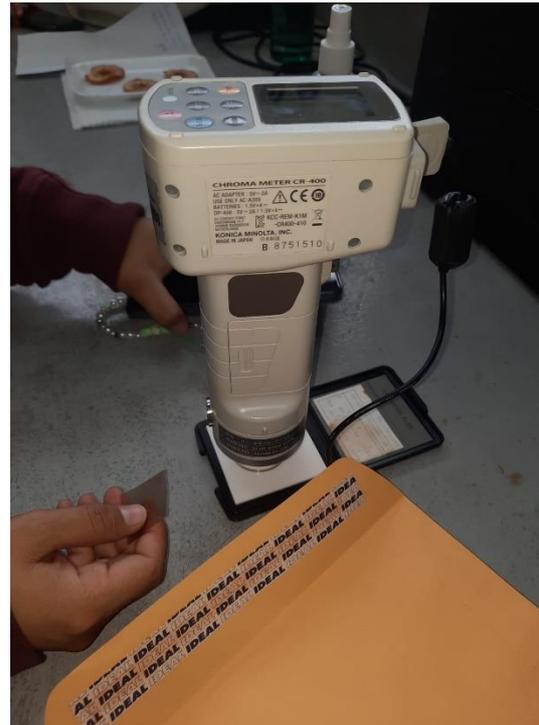


11-C. Tratamientos en estudio



11-C. Elaboración de láminas (biofilm)



11-E. Análisis fisicoquímicos**11-F. Análisis de color en biofilm****11-G. Biofilm**