

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGROINDUSTRIAS



**Recubrimientos de quitosano, aceite esencial de palo
santo (*Bursera graveolens*) y biocarbón impregnado
con óxido de zinc y su efecto sobre hongos aislados de
arándanos.**

**TESIS para optar el título profesional de Ingeniero
Agroindustrial**

Autor

Br. Marco Antonio Aleman Agurto

TUMBES – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGROINDUSTRIAS



TITULO:

Recubrimientos de quitosano, aceite esencial de palo santo (*Bursera graveolens*) y biocarbón impregnado con óxido de zinc y su efecto sobre hongos aislados de arándanos.

Tesis aprobada en sello y estilo por:

Dr. Carlos Alberto Cánepa La Coteria (Presidente)

Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro (Secretario)

Mg. Frank Edwin Torres Infante (Vocal 1)

Mg. Dorian Yasser Aguirre Campos (Vocal 2)

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGROINDUSTRIAS



**Recubrimientos de quitosano, aceite esencial de palo
santo (*Bursera graveolens*) y biocarbón impregnado
con óxido de zinc y su efecto sobre hongos aislados de
arándanos.**

**Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y
formas:**

Br. Marco Antonio Aleman Agurto (Autor)

Mg. Dorian Yasser Aguirre Campos (Asesor)

Msc John Henry Rimaycuna Rámirez (Co-asesor)

Tumbes, 2026

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO
SECRETARIA ACADÉMICA



“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, al primer día del mes de abril de dos mil veintiséis, siendo las diez horas, con quince minutos (10:15), de la mañana, de forma presencial, se reunieron en el Aula 1 de Escuela de Posgrado, el Jurado Calificador, designado por Resolución N° 072-2023/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, **Dr. Carlos Alberto Canepa LA Cotera** (Presidente), **Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro** (Secretario), **Mg. Frank Edwin Torres Infante** (Vocal 1), **Mg. Dorian Yasser Aguirre Campos**, (Vocal 2), reconociendo en la misma resolución además, al **Mg. Dorian Yasser Aguirre Campos**, como **Asesor** y al **Mg. John Henry Rimaycuna Ramírez**, como **Co-asesor** se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, **“Recubrimientos de quitosano, aceite esencial de palo santo (*Bursera graveolens*) y biocarbon impregnado con oxido de zinc y su efecto sobre hongos aislados de arándanos”**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial presentado por el **Bach. Marco Antonio Alemán Agurto**, Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al: **Bach. MARCO ANTONIO ALEMÁN AGURTO**, APROBADO, por UNANIMIDAD, con el calificativo MUY BUENO.

Se hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda EXPEDITO para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las once horas y veinte minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 01 de abril de 2026

Dr. Carlos Alberto Canepa LA Cotera DNI N° 00364276 CODIGO ORCID 0000-0002-4615-1993 Presidente	Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro DNI N° 80661595 CODIGO ORCID 0000-0001-6096-0183 Secretario
Mg. Frank Edwin Torres Infante DNI N° 41000404 CODIGO ORCID 0000-0003-4685-1161 Vocal 1	Mg. Dorian Yasser Aguirre Campos DNI N° 40442207 CODIGO ORCID 0000-0001-9842-1812 Vocal 2

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADO-ARCHIVO (Decanato)
S. Acad.

INFORME DE ORIGINALIDAD DE TURNITIN



Marco Antonio Aleman Agurto

Recubrimientos de quitosano, aceite esencial de palo santo (Bursera graveolens) y biocarbón impregnado con óxido de zi...

Informe Final de Tesis - Pregrado - Marco Aleman

Detalles del documento

Identificador de la entrega

tmoid::3117577040827

Fecha de entrega

10 abr 2026, 16:13 GMT-5

Fecha de descarga

10 abr 2026, 16:20 GMT-5

Nombre del archivo

Informe_Final_Tesis - Versión Turnitin - Marco Aleman Agurto.docx

Tamaño del archivo

283.1 KB

49 páginas

10.144 palabras

56.060 caracteres

Mg. Dorian Yasser Aguirre Campos

ORCID ID: 0000-0001-9842-1812



12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

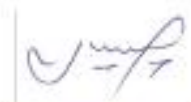
- 11%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitan distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Mg. Dorian Yasser Aguirre Campos

ORCID ID: 0000-0001-9842-1812

Fuentes principales

- 11% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	5%
2	Internet	hdl.handle.net	<1%
3	Internet	www.recit.uabc.mx	<1%
4	Internet	upc.aws.openrepository.com	<1%
5	Internet	1library.co	<1%
6	Internet	repositorio.unqp.edu.pe	<1%
7	Trabajos del estudiante	Universidad Técnica de Machala on 202402-29	<1%
8	Internet	docplayer.es	<1%
9	Internet	docplayer.net	<1%
10	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2022-10-06	<1%
11	Internet	wadoc.uva.es	<1%

Mg. Dorian Yasser Aguirre Campos

ORCID ID: 0000-0001-9842-1812

12	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
13	Internet	repositorio.unp.edu.pe	<1%
14	Internet	www.tdx.cat	<1%
15	Internet	cademos.aba-agroecologia.org.br	<1%
16	Trabajos del estudiante	ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey on 2023-12-16	<1%
17	Trabajos del estudiante	University of Akureyri on 2019-01-02	<1%
18	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
19	Internet	www.mdpi.com	<1%
20	Publicación	Rafaela Rodrigues Basaglia, Sandriane Pizato, Nathália Gonçalves Santiago, Maia...	<1%
21	Internet	es.slideshare.net	<1%
22	Internet	www.repositorio.digitipn.mx	<1%

Mg. Dorian Yasser Aguirre Campos

ORCID ID: 0000-0001-9842-1812

INFORMACIÓN GENERAL

I Título: Recubrimientos de quitosano, aceite esencial de palo santo (*Bursera graveolens*) y biocarbón impregnado con óxido de zinc y su efecto sobre hongos aislados de arándanos.

II Tesista:

Apellidos y Nombres: ALEMAN AGURTO MARCO ANTONIO
E-Mail : 110077161@untumbes.edu.pe
marcoaleman032@gmail.com
Número Telefónico: 934534423

III Asesor:

Apellidos y Nombres: DORIAN YASSER AGUIRRE CAMPOS
Código ORCID: 0000-0001-9842-1812
Grado Académico: Magister
Institución donde labora: Universidad Nacional de Tumbes
Correo Electrónico: dyaguirrec@untumbes.edu.pe
Móvil: 969669093

Co-asesor

Apellidos y Nombres: RIMAYCUNA RÁMIREZ JOHN HENRRY
Código ORCID: 0000-0002-2767-9733
Grado Académico: Magister
Institución donde labora: Universidad Nacional de Tumbes
Correo Electrónico: jrimaycunar@untumbes.edu.pe
Móvil: 998659810

IV Tipo de investigación:

Tipo de investigación: Aplicada
Diseño de investigación: Experimental

V Área y línea de investigación:

Área: Ingeniería y Tecnología
Línea de investigación: Producción de alimentos de alta calidad y seguridad alimentaria
Disciplina: Alimentos y bebidas

VI Localidad e institución

Lugar de investigación: Universidad Nacional de Tumbes

VII Tiempo de duración

Duración: 24 semanas
Fecha de inicio: diciembre del 2023
Fecha de finalización: junio del 2024

VIII Costo Total

Costo total de la investigación: S/ 2475.00

IX Fecha de presentación: 01 de abril del 2025

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, **Aleman Agurto Marco Antonio** con **DNI 71459763** expreso que haciendo uso de las normas APA séptima edición, los resultados reportados en la presente tesis titulada “**Recubrimientos de quitosano, aceite esencial de palo santo (*Bursera graveolens*) y biocarbón impregnado con óxido de zinc y su efecto sobre hongos aislados de arándanos.**”, es resultado de mi trabajo constante. Asimismo, declaro que hasta donde sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de citas y con propósitos exclusivos de interpretación o comparación. En este sentido, afirmo que cualquier información presentada sin citar a un tercero es de mi propia autoría. Manifiesto, finalmente que la redacción de esta tesis es resultado de mi esfuerzo con la dirección y apoyo de mi asesor de tesis y mis jurados calificadores, en cuanto a la concepción y expresión escrita.



Br. Marco Antonio Aleman Agurto

DNI: 71459763

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Mg. Aguirre Campos Dorian Yasser

Docente de la Universidad Nacional de Tumbes, adscrito a la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela profesional de Agroindustrias

CERTIFICA:

Que el Proyecto de Tesis: “**Recubrimientos de quitosano, aceite esencial de palo santo (*Bursera graveolens*) y biocarbón impregnado con óxido de zinc y su efecto sobre hongos aislados de arándanos.**”, presentado por el alumno de pregrado **Aleman Agurto Marco Antonio** ha sido asesorado y revisado por mi persona, por tanto, queda autorizado para su presentación, revisión, aprobación (inscripción) en el Repositorio de la Escuela de Agroindustrias de la Universidad Nacional de Tumbes.

Tumbes, Febrero del 2025.



Mg. Dorian Yasser Aguirre Campos

DNI N° 40442207

CODIGO ORCID 0000-0001-9842-1812

DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico a mi “Yo” del 2016 quien ingresando a la universidad tenía dudas de terminar la carrera, mucho menos titularme y ejercer; épocas muy difíciles donde no tenía seguridad de las cosas que puedo alcanzar si es que me lo propongo.

A mis padres, que desde mi ingreso a la universidad se esforzaron para que logre culminar mi carrera profesional, siendo ellos los que sembraron las ganas de seguir adelante hasta obtener un título universitario. A mi hermano, quien nunca dudó en brindarme la ayuda necesaria para tener la facilidad de ejecutar esta investigación.

A mi esposa, quien también estuvo pendiente del avance de mencionada investigación y a mi hija Alessia, quien aún está pequeña para entender el esfuerzo que hizo papá; pero en algún momento leerá esto y sabrá que logré culminar este reto pensando en un futuro mejor, juntos como familia.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme fuerza y tenacidad en el desarrollo de esta investigación para cumplir con los objetivos trazados; asimismo, a mis padres por impulsarme desde el inicio de la carrera a culminarla y lograr el ansiado título universitario; a mi hermano, quien ha sido pieza clave en el trabajo reemplazándome para ejecutar esta investigación.

Mi aprecio y gratitud a la Dr. Rosa Liliana Solis Castro, por acompañarme en el desarrollo de esta investigación, por el tiempo y dedicación, además de brindar la facilidad para el uso del Laboratorio de Biología Molecular, a mi asesor Mg. Ing. Dorian Yasser Aguirre Campos y co - asesor Msc John Henry Rimaycuna Ramirez por su guía y brindar la facilidad del uso del Laboratorio Ambiental.

Finalmente, mi agradecimiento a esta casa de estudios, sus docentes por el conocimiento impartido desde el 2016.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	22
II.	ESTADO DEL ARTE	25
2.1.	Antecedentes	25
2.2.	Bases teóricas científicas.....	27
2.2.1.	Arándano	27
2.2.1.1.	Tipos de arándano	28
2.2.2.	Aceite esencial.....	31
2.2.2.1.	Actividad antimicrobiana.....	31
2.2.3.	Palo santo.....	33
2.2.4.	Quitosano	34
2.2.5.	Plastificantes.....	35
2.2.6.	Glicerina	35
2.2.7.	Recubrimientos.....	35
2.2.8.	Biocarbón	36
2.2.9.	Impregnación de compuestos.....	37
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1.	Tipo y diseño de investigación	38
3.2.	Hipótesis planteada.....	38
3.3.	Población, muestra y muestreo	38
3.3.1.	Población	38
3.3.2.	Muestra.....	38
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.4.1.	Obtención de aceite esencial de palo santo	39
3.4.2.	Caracterización del aceite esencial	41
a.	Rendimiento.....	41

b. Densidad.....	41
3.4.3. Impregnación del biocarbón	42
3.4.4. Caracterización estructural de biocarbón impregnado con ZnO ...	45
3.4.5. Elaboración del recubrimiento	45
3.4.6. Caracterización de fisicoquímicas del recubrimiento	48
3.4.7. Caracterización estructural de películas	49
3.5. Análisis microbiológico	50
3.5.1. Antagonismo de hongos de arándano con el recubrimiento	51
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1. Características físicas y organolépticas aceite esencial (<i>Bursera graveolens</i>).....	52
4.2. Caracterización de biocarbón impregnado con ZnO	53
4.2.1. Caracterización estructural	53
4.3. Caracterización de formulaciones de recubrimiento.....	55
4.3.1. Caracterización estructural	55
4.3.1.1. FTIR quitosano y películas de quitosano con carbón impregnado	55
4.3.1.2. FTIR formulaciones quitosano y aceite	57
4.3.2. Caracterización de películas.....	59
4.3.3. Antagonismo frente a hongos de arándano	63
V. CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación Taxonómica del Arándano.....	19
Tabla 2. Composición nutricional del arándano.....	20
Tabla 3. Clasificación taxonómica palo santo (<i>Bursera graveolens</i>).....	24
Tabla 4. Concentración de tratamientos en solución filmógena (ml).....	37
Tabla 5. Características físicas y organolépticas del aceite de palo santo.....	43
Tabla 6. Análisis de varianza para la solubilidad.....	49
Tabla 7. Análisis estadístico de comparación Método de Tuckey para la solubilidad.....	50
Tabla 8. Análisis de varianza para la permeabilidad al vapor.....	51
Tabla 9. Análisis estadístico de comparación Método de Tuckey para la permeabilidad de vapor.....	51
Tabla 10. Análisis de varianza para el antagonismo de <i>Alternaria alternata</i>	52
Tabla 11. Análisis estadístico de comparación Método de Tuckey para el análisis antagonismo <i>Alternaria alternata</i>	53
Tabla 12. Análisis de varianza para el antagonismo de <i>Fusarium oxysporum</i> ...	54
Tabla 13. Análisis estadístico de comparación Método de Tuckey para el análisis antagonismo de <i>Fusarium oxysporum</i>	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura esquemática representativa de una cadena de quitosano.....	25
Figura 2. Diagrama de flujo extracción y caracterización del aceite de palo santo.....	32
Figura 3. Diagrama de flujo impregnación y caracterización de Biocarbón.....	35
Figura 4. Diagrama de flujo de formulación de recubrimientos.....	39
Figura 5. Caracterización FTIR de biocarbón impregnado con óxido de Zinc.....	45
Figura 6. Caracterización FTIR de película de quitosano y película quitosano con biocarbón impregnado con óxido de Zinc.....	46
Figura 7. Caracterización FTIR de película de quitosano y película quitosano con aceite esencial al 2, 3 y 5%.....	48

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Obtención de aceite esencial.....	63
Anexo 2. Impregnación de biocarbón.....	64
Anexo 3. Formulación de recubrimiento.....	64
Anexo 4. Análisis de solubilidad de películas.....	66
Anexo 5. Análisis de permeabilidad de películas.....	66
Anexo 6. Activación de hongos.....	67
Anexo 7. Antagonismo en hongos.....	68

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de recubrimientos de quitosano, aceite esencial de palo santo (*Bursera graveolens*) y biocarbón impregnado con óxido de zinc sobre hongos aislados de arándanos. La investigación contesta a la creciente necesidad de presentar alternativas de conservación de frutas y hortalizas mediante la aplicación de compuestos activos, como agentes antimicrobianos, antifúngicos, antioxidantes, entre otros de origen vegetal. Para la obtención de aceite esencial de palo santo (*Bursera graveolens*), se aplicó la técnica de extracción por microondas utilizando viruta de tronco seco de palo santo (*Bursera graveolens*), posteriormente se incorporó el aceite esencial en las concentraciones (2%, 3% y 5%) en soluciones de quitosano diluido al 2%, dando origen a los tratamientos (C; T1; T2; T3; T4) respectivamente. Además, se impregnó biocarbón con óxido de zinc al 0,5M empleando el método sol-gel y se agregó a las soluciones de quitosano dando origen al tratamiento (T5; T6; T7; T8) respectivamente. Las películas fueron sometidas a caracterizaciones fisicoquímicas y análisis microbiológico empleando hongos aislados de arándanos. Los resultados mostraron que la adición de aceite esencial y Biocarbón con ZnO aumentó la permeabilidad de vapor y solubilidad, evidenciando que los valores obtenidos de los recubrimientos que contenían solo aceite esencial fueron inferiores a las que presentaban aceite esencial y biocarbón ZnO, además, presentan un efecto inhibitor frente a hongos *Alternaria alternata* y *Fusarium oxysporum*. La espectroscopia FTIR exhibió picos característicos de los grupos funcionales -OH/-NH, C-H y amida presentes en el quitosano y sus cambios de intensidad mostrando interacciones intermoleculares con el aceite esencial y biocarbón impregnado con ZnO. Se finaliza que los aceites esenciales y aplicación del biocarbón impregnado con ZnO son agentes antifúngicos de gran potencial, siendo este una alternativa potencial para la aplicación en alimentos para mejorar la vida útil.

Palabras clave: quitosano, biocarbón, óxido de zinc, películas biodegradables, espectroscopía ftir.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the effect of chitosan coatings, palo santo (*Bursera graveolens*) essential oil, and zinc oxide-impregnated biochar on fungi isolated from blueberries. The research addresses the growing need for alternative methods of preserving fruits and vegetables through the application of active compounds, such as antimicrobial, antifungal, and antioxidant agents, among others of plant origin. To obtain palo santo (*Bursera graveolens*) essential oil, microwave extraction was performed using dried palo santo (*Bursera graveolens*) trunk shavings. The essential oil was then incorporated at concentrations of 2%, 3%, and 5% into 2% diluted chitosan solutions, resulting in treatments C, T1, T2, T3, and T4, respectively. Furthermore, biochar was impregnated with 0.5M zinc oxide using the sol-gel method and added to the chitosan solutions, resulting in treatments T5, T6, T7, and T8, respectively. The films underwent physicochemical characterization and microbiological analysis using fungi isolated from blueberries. The results showed that the addition of essential oil and ZnO-impregnated biochar increased vapor permeability and solubility, demonstrating that the values obtained from coatings containing only essential oil were lower than those containing essential oil and ZnO-impregnated biochar. Additionally, the biochar exhibited an inhibitory effect against the fungi *Alternaria alternata* and *Fusarium oxysporum*. FTIR spectroscopy revealed characteristic peaks of the functional groups -OH/-NH, C-H, and amide present in chitosan, and their intensity changes indicated intermolecular interactions with the essential oil and ZnO-impregnated biochar. It is concluded that essential oils and the application of ZnO-impregnated biochar are antifungal agents with great potential, making this a potential alternative for application in food to improve shelf life.

Keywords: chitosan, biochar, zinc oxide, biodegradable films, ftir spectroscopy.

I. INTRODUCCIÓN

El reto de la seguridad alimentaria y la sostenibilidad del sector agrícola es reducir la pérdida postcosecha en frutas y hortalizas, por naturaleza son perecederos, estando expuestos a daños físicos, fisiológicos y microbiológicos, siendo esto un factor influyente en su calidad nutricional y comercial. Esta pérdida representa entre 30% a 50% de la producción mundial de frutas y hortalizas, el origen de este escenario también se le atribuye a la falta de métodos de conservación sostenibles. (FAO, 2019).

Bedoya-Perales & Dal'Magro (2021) señalan que en el mundo el aumento de la población genera mayor demanda de alimento, por consiguiente, aumenta el índice de desperdicio, generándose 931 millones de toneladas al año. En el Perú se alcanza un desperdicio per cápita de 67kg/año/hab solo en consumidores sin considerar la cadena de producción, pero tomando en cuenta sería un promedio de 426 kg/hab/año.

Según FAO, Unión Europea y CIRAD. (2022), este escenario se le atribuye al déficit en la cadena de almacenamiento, distribución y comercio representando un 45%, en frutas y hortalizas se dan en la etapa de postcosecha con un 9% de la producción, transformación y envasado un 15% y la distribución 7% del total del desperdicio.

La conservación de alimentos ha evolucionado a lo largo del tiempo, desde uso compuestos higroscópicos como la sal que permite absorber la humedad de los alimentos y prolongar su vida útil, técnicas como el ahumado, secado al sol, hasta el empleo de envase con atmosfera modificada y aplicación de sustancias sintéticas con propiedades antimicrobianas y antioxidantes, siendo estas últimas eficaces pero su aplicación a gran escala a resultado tener un impacto negativo para la salud humana, resistencia microbiana y la contaminación ambiental. (Campos-Requena et al., 2020)

La situación mencionada ha dado origen a un interés de desarrollar alternativas de compuestos activos funcionales y ecológicas que permitan alargar la vida útil, conservar la calidad y reducir el impacto ambiental. Los compuestos activos de origen natural como los aceites esenciales extraídos de plantas aromáticas han demostrado ser una opción prometedora por su alto contenido de compuestos con propiedades antimicrobianas, antifúngicas, antioxidantes y amigables con el medio ambiente. Se han incorporado en envases activos, recubrimientos, películas y soluciones postcosecha, obteniéndose resultados positivos en la contribución de prolongar la vida útil de las frutas y hortalizas. (Burt, 2004)

La aplicación de aceite esenciales como agente antimicrobiano, atiende la necesidad de reducir o reemplazar los aditivos artificiales, además incentiva a mejorar la calidad de los alimentos, mediante su conservación empleando conceptos de bioseguridad, sostenibilidad y economía circular. Esta iniciativa es muy alentadora, sin embargo, la aplicación industrial de estos compuestos aún presenta desafíos como la estandarización de dosis, estabilidad de compuestos activos, compatibilidad con matrices alimentación y la aceptación sensorial del consumidor. (Ju et al., 2019)

Además de lo mencionado, existe una tendencia a consumir productos mínimamente procesados, con menor índice de aditivos artificiales y que contaminen menos. El desarrollo de tecnologías como el empleo de biopolímeros como recubrimientos es una alternativa tendenciosa en la industria alimentaria. El quitosano es un biopolímero derivado de la quitina, presente en el exoesqueleto de crustáceos, presenta propiedades antimicrobianas, biodegradables y capacidad para formar películas con propiedades mecánicas y de barrera ideales para la formación de recubrimientos. (Ju et al., 2019)

Estas películas suelen ser mejoradas con compuestos activo como el aceite esencial, potenciando su capacidad antimicrobiana, antioxidante. Según Tang *et al.*, (2021) y Riaz *et al.*, (2023) la mezcla de estos compuestos aplicados a fruta fresca, pescado y carne fresca demostraron tener reducción de pérdidas por deshidratación, retardo del proceso de maduración y previene el crecimiento microbiano.

En el trabajo realizado por Alkyuz Yilmaz *et al.*, (2025), elaboraron películas biodegradables de base polimérica con biocarbón donde evaluaron propiedades mecánicas, térmicas mostrando mejoras significativas y un incremento de su capacidad antioxidante desde 26.9% hasta 77.84%. Además, aplicaron el recubrimiento en carne fresca donde evidenciaron inhibición del crecimiento bacteriano permitiendo alargar la vida útil en un promedio de 5 días, concluyendo que el biocarbón no solo permite reforzar estructuralmente el recubrimiento también funciona como compuesto activo, siendo un potencial para aplicación en envases activos para alimentos.

Sin embargo, la información acerca del efecto sinérgico entre aceite esencial de *Bursera graveolens* y materiales como el biocarbón impregnado con óxido de zinc introducidos a matrices de quitosano es escasa, específicamente en relación a sus propiedades fisicoquímicas, estructurales y actividad antifúngica frente a hongos patógenos.

En ese contexto, el objetivo de la presente investigación fue desarrollar y caracterizar recubrimientos de quitosano con aceite esencial de *bursera graveolens* y biocarbón impregnado, evaluando sus propiedades fisicoquímicas y su efecto frente hongos patógenos provenientes del fruto arándano.

II. ESTADO DEL ARTE

2.1. Antecedentes

Los recubrimientos de quitosano con aceite esencial mejora la calidad de frutas, lo señala Saki *et al.*, (2019) quienes realizaron recubrimientos a base de quitosano y aceite esencial timol. Las formulaciones fueron aplicadas en higos frescos mediante inmersión, secadas, envasadas en bolsas polietileno tereftalato (resistente al gas y al agua) y almacenadas a 6 °C y 80% HR en oscuridad permanente durante 20 días. Eligieron siete frutos de cada repetición, fueron muestreados al azar en días de 0; 5; 10; 15 y 20, analizando los parámetros fisicoquímicos y cualitativos. Concluyeron que la combinación de quitosano y aceite esencial de timol mostraron mejor conservación de los higos, conservando sus propiedades fisicoquímicas, pérdida de peso, pH, coloración y también presento un índice menor de incidencia de descomposición por hongos.

Por su parte Basaglia *et al.*, (2021), evaluaron el efecto de recubrimiento de quitosano y aceite esencial de canela (CEO) en piña mínimamente procesada. En la formulación emplearon quitosano (grado de desacetilación alrededor del 89%, y masa molecular entre 150 y 170 kDa). Emplearon piña en trozos con las siguientes formulaciones, (T1) testigo (sin recubrimiento); (T2) quitosano al 1% y CEO al 0,5%; (T3) 1% quitosano y 1% CEO; (T4) 2% de quitosano y 0,5% de CEO, y (T5) 2% de quitosano y 1% de CEO. Evaluaron pérdida de peso, acidez titulable, pH, contenido de sólidos solubles, color, firmeza, evaluaciones microbiológicas de mohos y levaduras, *Salmonella spp* y *Escherichia coli* por triplicado. Siendo el tratamiento T4 presento menor pérdida de peso, el T5 presentó el valor más bajo (0.041% ácido cítrico), además, ambos tratamientos mostraron bajo crecimiento microbiano. Concluyeron que los recubrimientos utilizados fueron eficientes en la conservación de la piña,

logrando un retraso de crecimiento microbiano, disminución en pérdida de peso, pH y alargó su vida útil.

Mendez *et al.*, (2017), realizaron un estudio para determinar su composición, actividad antimicrobiana y antioxidante del aceite esencial de palo santo (*Brusera Graveolens*). El aceite esencial lo obtuvieron de viruta de tronco seco mediante destilación por vapor e hidrodestilación, con un rendimiento del 3.59% v/p. Mediante cromatografía de gases, identificaron una serie de compuestos como, α -terpineno (31,57 %), isocariofileno (6,61 %), piperitona (5,61 %), β -trans-ocimeno (4,93 %), 6-alil-o-cresol (4,63 %), 1-tetradecen (3,27 %), durenol (2,36 %), linalol (1,53 %), 3-octanol (1,1 %) y germacren (0,92 %). Además, determinaron su actividad antioxidante mediante captación de radicales DPPH, donde emplearon altas concentraciones de aceite esencial de *Bursera graveolens* IC50 = 545.25 $\mu\text{g/mL}$ contra ácido ascórbico IC50 = 1,47 $\mu\text{g/mL}$, dicho valor coincide con el bajo contenido de compuestos fenólicos. La actividad antimicrobiana la evaluaron empleando el método de *Agar Diffusion Disc* contra un panel de 7 microorganismos. Concluyeron que aceite esencial de *B. graveolens* presenta actividad antimicrobiana contra bacterias *gram positivas* y *gram negativas*, un hecho previamente observado con otros esenciales aceites de otras especies vegetales.

Por otro lado, Basumatary *et al.*, (2021) realizaron recubrimientos antimicrobianos a base de quitosano, aplicados en piña fresca recién cosechadas. Como potencial agente antimicrobiano emplearon nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) y aloe vera como agente antioxidante. Formularon 5 tratamientos y aplicados en la corteza de la piña evaluando cada 5 días durante 15 días su pérdida de peso, sólidos solubles totales, acidez titulable, índice de madures y atributos sensoriales. Evidenciaron que las muestras de piña tratadas con la formulación que contenía aloe vera y ZnO, obtuvieron una reducción de perdida peso mayor frente a la muestra de control, además, visualmente las piñas no tratadas presentaron una coloración marrón y parte de sus tejidos se vieron afectados, mostrando índice de maduración, mientras

que las piñas las cuales fueron recubiertas con los diferentes recubrimientos conservaron su coloración habitual e incluso el tratamiento que contenía ZnO obtuvo mejores atributos sensoriales después de los 15 de días evaluación, concluyendo que la aplicación de este potencial recubrimiento permite alargar la vida útil de la piña.

Los recubrimientos a base de quitosano y aceite esencial vegetal pueden tener un efecto antimicrobiano, según lo demostrado por Gonzalez *et al.*, (2020) que realizó recubrimientos de quitosano y aceite esencial de ruda, aplicado en uchuvas mediante inmersión. Aplicaron 5 tratamientos, control (T1) y cuatro tratamientos diferentes (T2 = CS; T3 = CS + RGEO 0,5%; T4 = CS + RGEO 1,0%; T5 = CS + RGEO 1,5%), almacenados en condiciones de refrigeración (18 ± 2 °C) durante 12 días. Ellos evaluaron su actividad antimicrobiana, evidenciando que el tratamiento CS+RGEO logró una disminución de la población en casi dos unidades logarítmicas, pero no inhibieron el crecimiento bacteriano, lo que indica que los recubrimientos solo tienen una actividad retardadora del crecimiento bacteriano. Respecto a la actividad antifúngica, el tratamiento CS + RGEO retrasó el crecimiento de mohos y levaduras durante el almacenamiento, pero no inhibió el crecimiento, acabo de 3 días todas las muestras presentaban crecimiento microbiano, sin embargo, el T5 CS + RGEO 1,5% mostró resultados favorables frente a las características físico-químicas siendo este el que logró la mayor reducción de unidades formadoras de colonias respecto al control, sin embargo, recomienda el T3 por su grado de aceptabilidad.

2.2. Bases teóricas científicas

2.2.1. Arándano

El arándano cuyo nombre científico es (*Vaccinium corymbosum*) es un arbusto pequeño de 0.2 – 0.4 metros, su fruto es una baya casi esférica de 0.7 a 1.5 cm varía dependiendo la especie, posee un color negro azulado y está cubierto de secreción llamada “pruina” con un ribete en lo alto en forma de coronita. Su pulpa tiene un sabor agridulce de color

vinoso y en la parte central contiene diversas semillas. Su piel le da una terminación muy atractiva similar a la ciruela y es rica en agua (85%), minerales (K, Ca, Mn) y ácidos (1% de cítrico).

Tabla 1.

Clasificación Taxonómica del Arándano

Clasificación Taxonómica	
Reino	Vegetal
Orden	Ericales
Familia	Ericáceas
subgénero	Cyanococcus
Genero	Vaccinium

Fuente: Castillo (2008)

Este fruto pertenece a la familia de los Berries, destaca por sus cualidades hipocalóricas, antioxidantes, nutritivas y medicinales. Originalmente crece de forma silvestre, en Perú en las últimas décadas se convirtió en unos de los principales frutos de exportación del país, teniendo un crecimiento promedio anual del 70% en 2022, logrando en el periodo 2013 - 2021 exportaciones de US\$ 17,4 millones a US\$ 1, 187 millones en 2021. Generalmente se cultivan dos tipos: el Louwbush Blueberry (especies pequeñas) y el Highbush Blueberry (arbustos grandes), las variedades Biloxi, Misty y Legacy son las que mejor se adaptan al clima y el suelo peruano (MINAGRI, 2016).

2.2.1.1. Tipos de arándano

Según el informe del MINAGRI (2016) existen tres tipos de arándanos en el Perú los cuales detallaremos a continuación:

a) Arándano azul (*Vaccinium corimbosum*)

Este tipo de arándano destaca por sus frutos de color negro de tonalidad azulada, tamaño grande y posee un sabor muy agradable; es la especie más cultivada (MINAGRI, 2016)

b) Arándano negro / Arándano uliginoso (*Vaccinium uliginosum*)

Sus frutos son de color negros y pulpa blanca, se recolectan de manera silvestre; sus flores tienen un color de rosa pálido, floreciendo en primavera y fructifica en verano; no suele cultivarse (MINAGRI, 2016).

c) Arándano rojo (*Vaccinium vitis-idaea*)

Los frutos son redondeados, rojizos y aparecen a finales de otoño; su sabor es muy ácido y por eso se utiliza fundamentalmente en la elaboración de compotas y mermeladas (MINAGRI, 2016).

2.2.1.2. Propiedades y aspectos nutricionales

El valor nutricional del arándano, según la estandarización de la Food and Drug Administration (FDA) de los Estados Unidos, lo resume como un alimento entre bajo y libre de grasas y sodio, libre de colesterol y rico en fibras y vitamina C. El consumo de esta fruta en porciones de alrededor de 142 g (5 onzas), aporta a la dieta alimenticia diaria.

Tabla 2.

Composición nutricional del arándano

Nutriente	Valor por 100 g
Agua (g)	87.4
Proteínas (g)	0.3
Fibras (g)	1.7
Calorías (g)	42
Vitaminas	
Vitamina A (UI)	30
Vitamina B1 (mg)	0.014
Vitamina B2 (mg)	0.0024
Vitamina B6 (mg)	0.012

Vitamina C (mg)	12
Acido nicotínico (mg)	0.2
Minerales	
Sodio (mg)	2
Potasio (mg)	72
Calcio (mg)	14
Magnesio (mg)	6
Manganeso (mg)	0.5
Hierro (mg)	0.5
Fosforo (mg)	10

Fuente: Adex (2015)

2.2.1.3. Calidad del arándano

La calidad está definida por una serie de factores agrupados como calidad visible, calidad organoléptica y calidad nutritiva. La calidad visible se refiere a la apariencia de la fruta, definida en arándanos como: (i) un fruto de color azul uniforme, (ii) presencia de cera en la superficie de la fruta (conocida como bloom) que el consumidor relaciona a una fruta fresca, (iii) ausencia de defectos como daño mecánico y pudriciones. (iv) forma y tamaño de la fruta, y (v) firmeza adecuada. (Juanito, 2018).

La calidad organoléptica está determinada por un contenido apropiado de azúcares, ácidos y compuestos volátiles, responsables del aroma característico de la fruta. Por lo tanto, todas las operaciones de precosecha y postcosecha deben orientarse a maximizar la llegada de un producto de calidad hasta el consumidor. Los índices de calidad usados normalmente por la industria de ruta fresca son: color, tamaño, forma, ausencia de defectos, firmeza y sabor (Juanito, 2018).

2.2.1.4. Hongos presentes arándanos

(Figuerola *et. al* 2010) Los hongos patógenos se consideran uno de los responsables de la pudrición de los frutos de arándanos en poscosecha, siendo su método de infección a través de pedúnculo. Se

encuentran tipos de hongos como *Botrytis cinerea*, *Cladosporium herbarum*, *Alternaria alternata*, *Fusarium oxysporum*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Pestalotia guepini* y *Penicillium spp.*

2.2.2. Aceite esencial

Según la Organización Internacional de Normalización (ISO), define a los aceites esenciales como un producto obtenido a partir de materia vegetal obtenido exclusivamente mediante métodos físicos, como destilación con agua o vapor y proceso mecánico o destilación en seco. Los aceites esenciales están conformados por un conjunto de componentes de metabolitos vegetales lipófilos y sumamente volátiles. Comúnmente los componentes que lo conforman se designan a terpenoides, lipófilos, fenilpropanoides o hidrocarburos alifáticos de cadena corta y de bajo peso molecular, fenoles o ésteres. (Turek & Stintzing, 2013)

a) Aplicación

Los aceites esenciales son aplicados en la industria cosmética, farmacológica y alimenticia, además, presentan capacidad antimicrobiana, antifúngica y antioxidante, sin embargo, su efectividad está ligada a su composición y conservación, debido a que se convierten entre sí, en reacciones de oxidación, isomerización, ciclación o deshidrogenación, además, su composición puede estar influenciada a la salud de la planta, tiempo de cosecha, etapa de crecimiento incluso puede variar su composición en los procesos de extracción de aceite. (Turek & Stintzing, 2013)

La luz ultravioleta UV, la presencia de oxígeno, temperatura son características controladas para una adecuada conservación de los aceites esenciales para minimizar el deterioro de las características organolépticas y tecnológicas. (Turek & Stintzing, 2013)

2.2.2.1. Actividad antimicrobiana

La capacidad antimicrobiana de los aceites esenciales está relacionado con su composición, como compuesto lipófilo típico, siendo los terpenos los que guardan relación con su capacidad antimicrobiana, siendo su mecanismo de acción la penetración de la pared celular y

membrana citoplasmática, desnaturalizando las proteínas llevando a cabo un aumento de la permeabilidad, por otro lado, su capacidad citotóxica es influenciada por una alteración de las estructuras de las diferentes capas de polisacáridos, ácidos grasos y fosfolípidos, un mecanismo que ataca múltiples objetivos en al mismo tiempo. (Andrade *et al.*, 2013)

2.2.2.2. Métodos de evaluación antimicrobiana de aceites esenciales

La capacidad antimicrobiana de los aceites esenciales está relacionada principalmente del carácter hidrófilo o hidrófobo, compuestos presentes y tipo de microorganismo a evaluar. Existen diferentes métodos de evaluación capacidad antimicrobiana donde incluyen las determinaciones de las concentraciones mínimas inhibitoras (CMI) y la evaluación de espectro antimicrobiano. En su mayoría de métodos *in vitro*, consiste en colocar una determinada cantidad de aceite esencial diluido o puro en un recipiente estéril sea tubo o placa Petri con el medio de cultivo y el microorganismo en estudio inoculado. (Reyes *et al.*, 2014)

El método de dilución en agar, se realiza diluyendo el aceite esencial en agar para determinar su letalidad frente al microorganismo en estudio, mayormente se emplear microorganismos aeróbicos y microaerofílicos. (López *et al.*, 2005)

El método difusión en agar es el más empleado en microorganismos aeróbicos, se basa en un medio de cultivo solidificado con una suspensión requerida de microorganismos y se impregna en un papel filtro el aceite esencial a una concentración conocida y es colocado en la superficie, también se puede realizar en un agar solidificado con perforaciones estéril para posteriormente verter la solución a una concentración determinada del aceite esencial (Reyes *et al.*, 2014).

En ambas opciones existe una difusión del aceite generando un halo de inhibición que se mide en mm, el resultado capacidad está relacionado al tamaño de la zona de crecimiento, donde la CMI se

puede calcular a partir del radio donde se detiene el crecimiento y se compara con un control. (López *et al.*, 2005)

2.2.3. Palo santo

El palo santo (*Bursera graveolens*), es un árbol cuyo tamaño alcanza los 4 m a 10 m, crece en bosques secos y suelo rocoso posee una corteza lisa, gris, no exfoliante ubicado en la zona norte de la costa peruana y se extienden por los departamentos de Piura, Tumbes, Lambayeque y pequeñas porciones de Cajamarca y La Libertad.

Tabla 3.

Clasificación taxonómica palo santo (Bursera graveolens)

Reino	Vegetal
División	<i>Magnoliophyta</i> (plantas con flores)
Clase	Dicotiledónea
Orden	Sapindales
Familia	Burseraceae
Genero	Graveolens
Nombre científico	<i>Bursera graveolens</i>
Nombre común	Palo santo

Fuente: (Puecas, 2010)

2.2.3.1. Composición y características aceite esencial de palo santo

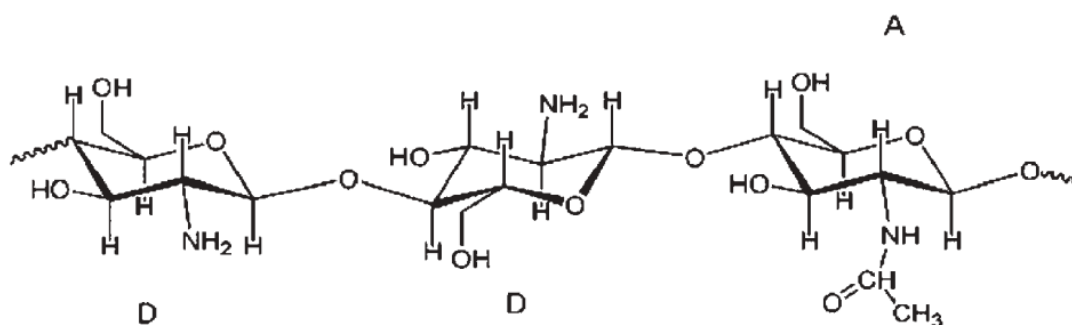
En el estudio realizado por Noel-Martinez *et al.*, (2021) encontró compuestos primarios en el aceite esencial de palo santo, mediante cromatografía de gases espectrometría de masas identifico los siguientes: D-limoneno (77,06%), mentofurano (5,16%), α -terpineol (4,01%), germacreno D (2,33%) y carvona (0,83%), los compuestos mencionados están relacionados e influyen en su capacidad inhibidora y bactericida frente bacterias gram positivas y negativas. Además, presenta características como un color amarillo claro, olor característico intenso, sabor picante y una densidad 0.83g/ml en estado líquido a temperatura ambiente.

2.2.4. Quitosano

Es un compuesto aminopolisacárido derivado de la quitina, compuesto químico que se encuentra en el caparazón de crustáceos, hongos y en algunas plantas, se obtiene mediante un proceso de desacetilación termoalcalina de la quitina. Este componente ha sido materia de estudio durante años por su amplia aplicación y desarrollo de tecnologías de liberación de componentes funcionales en industrias farmacéuticas, alimentarias entre otras. (Higuera *et al.*, 2007)

Químicamente, el término quitosano define a una familia de herteropolisacáridos lineales que están formados por 2-amino-2-deoxi- β -D-glucosa (unidades D) y 2-acetamido-2-deoxi- β -D-glucosa (unidades A) unidas en (1 \rightarrow 4) figura 1, fisicoquímicamente es un polímero hidrosoluble pero soluble en soluciones acidas, permite formar películas, hidrogeles, micro y nanopartículas teniendo una afinidad para asociar macromoléculas empleadas en la industria alimentaria, farmacéutica. (Goycoolea, 2009)

Figura 1: Estructura esquemática representativa de una cadena de quitosano.



2.2.4.1. Usos del quitosano

El uso del quitosano en forma de recubrimiento en frutas y verduras frescas para alargar su vida útil se debe por sus propiedades

bactericida y fungicida, aprovechando su capacidad de formar películas y su bajo índice de toxicidad es apto para consumo humano.

Por consiguiente, su aplicación en forma de recubrimiento contribuye a la conservación debido a la modificación de la atmosfera interna y disminución de la tasa de respiración del fruto, sin embargo, se debe tener en cuenta ciertos aspectos para la conservación como, el tipo de quitosano (grado de acetilación, peso molecular y origen), temperatura de almacenamientos y pH, siendo este neutral para no alterar bruscamente el pH del fruto. (Goycoolea, 2009)

2.2.5. Plastificantes

Los plastificantes son moléculas de bajo peso molecular y volatilidad, son importantes en la formulación de recubrimientos, a diferencia de los polímeros de alto peso molecular conocidos como matriz, estos plastificantes cumplen el rol de mejorar la flexibilidad y funcionalidad de los mismos, esta característica resulta al aumentar el volumen libre o la movilidad molecular de los polímeros, reduciendo los enlaces de hidrógeno internos entre las cadenas de polímeros, sin embargo, están relacionados al aumento de la capacidad de atracción de agua y aumenta la permeabilidad de vapor. (Sothornit *et al.*, 2000)

2.2.6. Glicerina

Es un alcohol polhídrico de fórmula química $C_3H_8O_3$ es incolora, inodora y soluble en agua, se puede generar soluciones de pH neutra. Este compuesto es ampliamente utilizado en las formulaciones de recubrimientos y películas comestibles, su aplicación se realiza en bajas concentración por alterar negativamente en la permeabilidad de los recubrimientos. (Arvanitoyannis *et al.*, 1998)

2.2.7. Recubrimientos

2.2.7.1. Propiedades físicas

a) Solubilidad

Se considera solubilidad a la capacidad de máxima que tiene un soluto para diluirse en un solvente en condiciones determinadas, esta propiedad es importante para la funcionalidad de las películas.

En películas que presentan componentes activos influyen en la liberación de estos, en recubrimientos empleados en alimentos con alto contenido acuoso, se busca diluir la película para liberar el agente activo. (Ozdemir *et al* 2008)

a) Permeabilidad

Es la característica que posee una película o recubrimiento de permitir introducción del vapor de agua, esta condición es crucial para su aplicación, ya que está relacionado con su estabilidad del producto, además, con la liberación controlada de compuestos activos que puede tener la formulación de la película. (Rhim *et al.*, 2013)

2.2.8. Biocarbón

El biocarbón es un sólido carbonoso, color negro, con una superficie intrincada y desordenada, se obtiene descomponiendo térmicamente materia orgánica en un ambiente con poca o nula presencia de oxígeno a temperaturas inferiores a 700°C, estas condiciones pertenecen al proceso conocido como pirolisis, los principales componentes en descomponer son celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo la celulosa la más importante degradándose térmicamente a temperaturas de 250°C y 350°C dando lugar a compuestos volátiles (vapores de agua y alquitrán, hidrocarburos, ácidos, H₂, CH₄, CO, CO₂, obteniendo una matriz de carbono amorfa y rígida, a 330°C las láminas de grafeno poliaromático empiezan a crecer lateralmente, a expensas de la fase de carbono amorfo y eventualmente coalescen y a 600 °C, el proceso dominante es la carbonización, lo que provoca la remoción de la mayoría de átomos no carbonosos como Ca, Mg, K. Su morfología está relacionada al tipo y tiempo de la pirolisis, teniendo una porosidad con micro, meso y macroporos, cuyos tamaños van de <2 nm, 2-50 nm y >50 nm. (Escalante *et al.*, 2016)

2.2.9. Impregnación de compuestos

2.2.9.1. Método sol-gel

En el método sol-gel, se forma un sol coloidal que, mediante procesos de gelificación, conduce a la obtención de partículas de óxido de zinc (ZnO). El sol, que es una dispersión coloidal de partículas sólidas en un líquido, se transforma en un gel y posteriormente, las partículas se consolidan para formar estructuras tridimensionales. Este método permite un control preciso del tamaño y la morfología de las partículas mediante la manipulación de parámetros como la temperatura y la concentración de precursores. (Ilangovan *et al.*, 2016)

2.2.9.2. Análisis FTIR

El análisis de FTIR (Espectroscopía de Infrarrojo por Transformada de Fourier) puede proporcionar información detallada sobre la estructura química, los grupos funcionales presentes y las interacciones dentro del material. Es una técnica utilizada para obtener el espectro de absorción o transmisión de infrarrojo de un material, basada en las vibraciones de los átomos de una molécula, siendo cada vibración de la molécula se representa como pico en el espectro de absorción. Generalmente las películas de quitosano se registran en el infrarrojo medio ((4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1}), Este análisis es especialmente útil para caracterizar las propiedades químicas y confirmar la presencia de componentes específicos. (Kumirska *et al.*, 2010)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación propuesta corresponde a tipo aplicada y sigue un diseño experimental siendo manipuladas las variables independientes mediante las diferentes concentraciones quitosano y aceite esencial de palo santo.

3.2. Hipótesis planteada

Los recubrimientos de quitosano, aceite esencial palo santo y biocarbón impregnado con óxido de zinc presentan efecto sobre el desarrollo *in vitro* de hongos aislados de arándanos.

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

La población está constituida por madera de palo santo para la extracción de aceite esencial para su adicción en soluciones de quitosano, esta madera se obtuvo en el bosque seco de Tumbes, el biocarbón, nitrato de zinc y cepas de hongos de arándanos fueron tomados del laboratorio Análisis Ambiental y laboratorio de Biología Molecular de la Universidad Nacional de Tumbes respectivamente, procedente de investigaciones antecesoras.

3.3.2. Muestra

La muestra está constituida por 6.5 kg de madera palo santo, 5 g de biocarbón, 20 gr nitrato de zinc para incorporarlos en la solución de quitosano comparando la muestra de control (C) frente a los tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8)

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La obtención de aceite esencial de palo santo, impregnación de biocarbón con ZnO, la elaboración de la solución de quitosano y su evaluación frente hongos de arándanos se realizó en el laboratorio de Análisis Ambiental, en el laboratorio de Biología Molecular de la Universidad Nacional de Tumbes.

3.4.1. Obtención de aceite esencial de palo santo

El aceite esencial fue obtenido en el laboratorio de Dendrología de la Universidad Nacional de Tumbes, la recolección de la muestra, acondicionamiento y extracción de aceite se realizó tomando como referencia la investigación de (Noel Martínez & Oviedo Casariego, 2019), considerando algunas modificaciones, empleando viruta de madera seca de la siguiente manera:

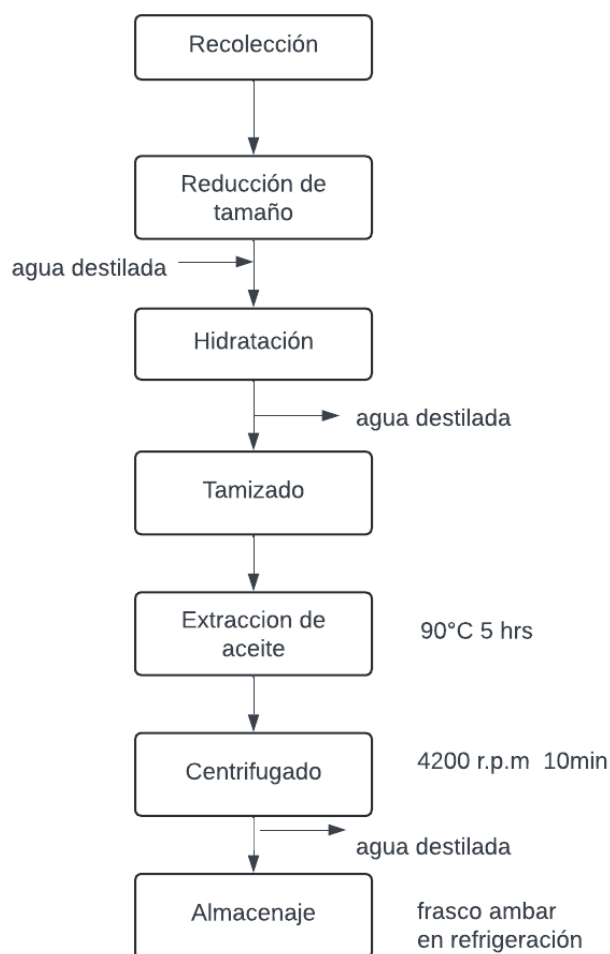
- a. Recolección:** La extracción de la muestra de madera seca se realizó en la zona de amortiguamiento de la reserva de Cerros de Amotape, Tumbes, Caserío de Carrillo coordenadas 3°53'13.3"S 80°40'09.5"W, se logró localizar un valle con una población árboles de palo santo (*bursera graveolens*) en pie, entre ellos ramas y árboles secos caídos, se logró identificar entre las rocas un tronco seco, sin corteza, sin presencia de insectos, dicha muestra tuvo un peso inicial de 10.3 kg y 12% de humedad.
- b. Reducción de tamaño:** La muestra de madera fue sometida a un cepillado para obtener fragmentos pequeños (aserrín) para facilitar el proceso de extracción de aceite esencial, dicha muestra de aserrín tuvo un peso final 9.756 kg.
- c. Hidratación:** la muestra de aserrín se hidrató con agua destilada a temperatura ambiente por un periodo de 30 minutos.
- d. Tamizado:** se eliminó el exceso de agua mediante una coladera o tamiz obteniendo un aserrín húmedo.
- e. Extracción:** La muestra humedad fue colocada en un recipiente de vidrio y se sometió a un proceso de extracción empleando un equipo ETHOS X advanced Microware Extraction con una potencia de 1900

W y frecuencia 2.45GHz, el ciclo de extracción fue de 5 horas a 90°C, obteniéndose un volumen total de 142 ml de aceite esencial.

- f. Centrifugación:** el aceite obtenido se distribuyó en tubos con tapa rosca de 15ml, se llenó hasta 10ml de aceite y se procedió a centrifugar a 4200 r.p.m durante 10 minutos, logrando separar el agua con el aceite, se empleó una centrifugadora marca Orto alresa modelo Unicen 21 con cabezal RT256 rotor angular con capacidad de 32 tubos de 15ml.
- g. Almacenamiento:** el aceite obtenido se vertió en un frasco ámbar con tapa envuelto en papel aluminio y puesto en refrigeración para su posterior utilización.

Figura 2.

Diagrama de flujo extracción y caracterización del aceite de palo santo.



3.4.2. Caracterización del aceite esencial

a. Rendimiento

Se calculó determinando la relación entre la cantidad de aceite obtenido entre la masa de viruta utilizada. Se expresa mediante la siguiente fórmula

$$\%R \text{ aceite} = \left[\frac{(g \text{ de aceite esencial})}{(g \text{ de viruta hidratada})} \times 100 \right]$$

b. Densidad

Se determinó la densidad relativa mediante análisis gravimétrico pesando primero el picnómetro de 10 ml vacío, posterior a ello se llenó

con aceite esencial completamente y con ayuda de un papel absorbente se limpió el aceite derramado y se volvió a pesar. Por diferencia de pesos se obtiene y aplicación de formula se obtiene la densidad relativa.

$$\rho_{water} = \frac{m_3 + m_1}{m_2 + m_1} \times \rho_{oil}$$

En donde:

ρ_{water} : Densidad de agua

m_1 : Peso picnómetro vacío

m_2 : Peso picnómetro con agua

m_3 : Peso picnómetro con aceite

ρ_{oil} : Densidad del aceite

c. Refractometria

El índice de refracción se determinó con un refractómetro tipo HI96801 REFRACTOMETER en el laboratorio de Agroindustria de la Universidad Nacional de Tumbes.

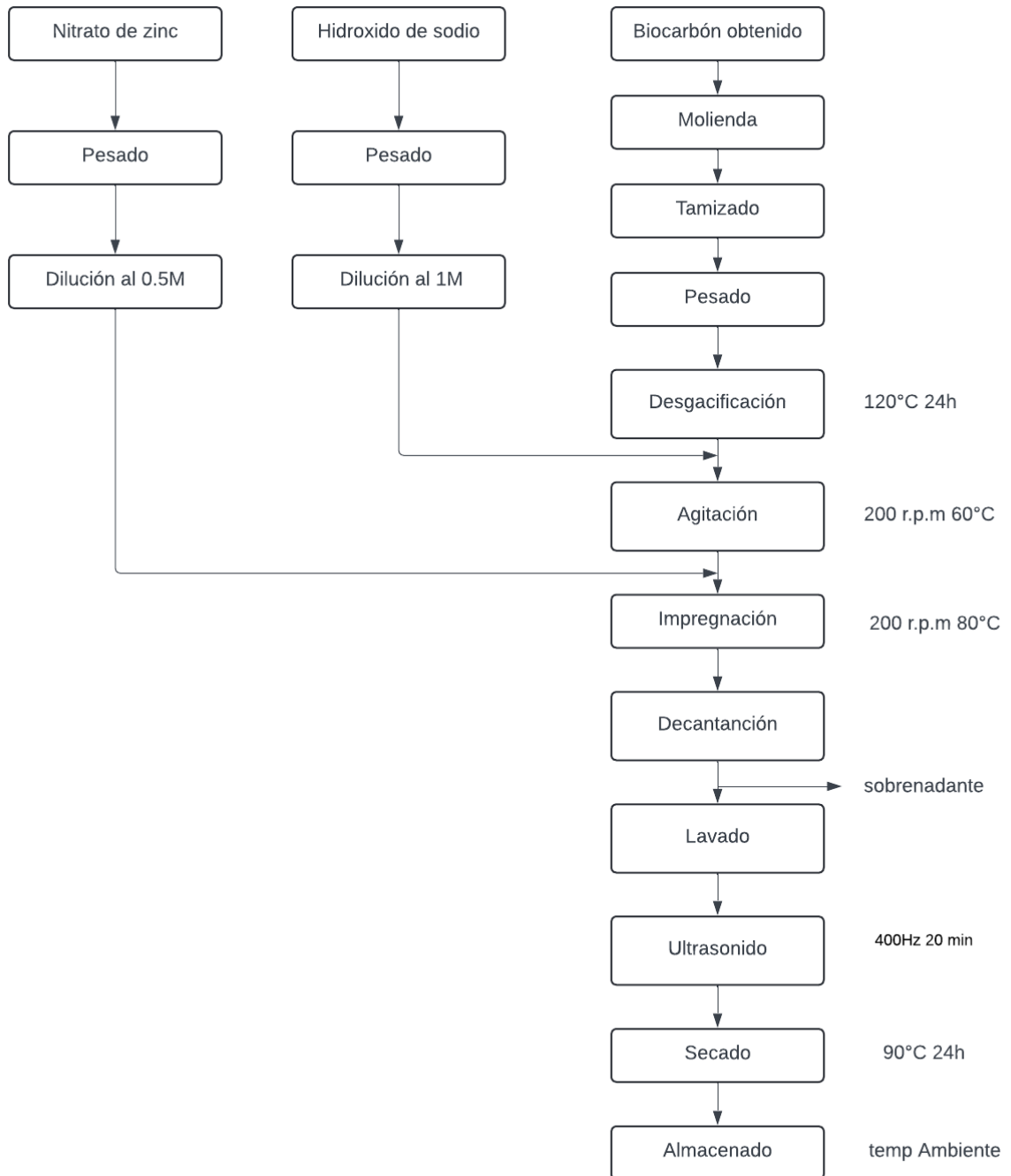
3.4.3. Impregnación del biocarbón

- a. **Recepción:** Se empleó un biocarbón de raquis de banano de un tamaño de 400um.
- b. **Molienda:** empleando un mortero se redujo el tamaño hasta obtener un polvo uniforme sin grumos
- c. **Tamizado:** se tamizó con ayuda de una rejilla de 125um y se obtuvo un polvo fino y uniforme
- d. **Pesado:** se dosifico la muestra y con ayuda de una balanza analítica se logró pesar
- e. **Desgasificación:** se colocó en un vaso precipitado, se sometió a calor empleando una estufa a 120°C durante 24h para desgasificar la muestra de biocarbón.

- f. Preparación de solución:** en un vaso precipitado se realizó una solución con agua destilada e hidróxido de sodio NaOH 1M y en otro una solución de nitrato de zinc $Zn(NO_3)_2$ al 0.5M para la titulación.
- g. Impregnación:** en un vaso precipitado se colocó la muestra de biocarbón y la solución de hidróxido de sodio NaOH, sobre una plancha magnética con agitador se sometió a temperatura y agitación constante de 200 rpm hasta alcanzar una temperatura de 60°C, se comenzó con la titulación del nitrato de zinc $Zn(NO_3)_2$ sometiéndose a homogenización constante por 30 min y se elevó la temperatura hasta 80 °C.
- h. Lavado:** empleando agua destilada se procedió a lavar la muestra de carbón impregnada para eliminar el exceso de óxido de zinc
- i. Ultrasonido:** luego se sometió a un proceso de ultrasonido a 400Hz durante 20 minutos para poder separar los sólidos de la solución
- j. Decantación:** se eliminó el sobrenadante, se hizo un lavado con agua destilada.
- k. Secado:** finalmente se realizó un secado en estufa a 90°C durante 24 horas.
- l. Almacenamiento:** se almacenó en un lugar fresco en un frasco hermético para evitar su contaminación

Figura 3.

Diagrama de flujo impregnación y caracterización de Biocarbón



3.4.4. Caracterización estructural de biocarbón impregnado con ZnO

a. Espectroscopia infrarroja FTIR

La muestra de biocarbón impregnado con ZnO se colocó en el haz de luz del espectrofotómetro de infrarrojo (FTIR) marca Shimadzu 56 modelo IR Tracer-100, la muestra se analizó entre el rango de número de onda de 4000 a 400 cm^{-1} y el porcentaje de transmitancia, en conjunto a un software OriginPro se pudo visualizar las variaciones del porcentaje de transmitancia según los distintos puntos de número de onda.

3.4.5. Elaboración del recubrimiento

a. Solución quitosano

Primero se realizó solución filmógena con quitosano comercial en polvo de alto peso molecular, fue diluido a 2% p/v en ácido acético diluido al 1% p/v en agua destilada estéril y homogenizó en un agitador magnético térmico a 50°C de manera constante durante 2 horas. Luego se dejó enfriar a temperatura ambiente y se refrigeró para eliminar las burbujas de aire.

b. Solución de plastificante

Como agentes plastificantes se empleó glicerina y Alcohol Polivinílico PVA, se realizó una dilución de glicerina al 1% en agua destilada agitando de manera constante sin calor. Para formar la solución de PVA al 1% se pesó 1gr de este mismo y se añadió 100 ml de agua destilada en agitación constante de 300 rpm a 70°C hasta obtenerse una solución homogénea.

c. Solución detergente

Se diluyó 1 ml de Tween 80 en 10 ml de agua destilada y se agito durante 30 minutos a baja revolución 200rpm para evitar la generación excesiva de espuma. El Tween 80 es un agente detergente que permitió lograr una homogenización correcta en la formulación de recubrimientos.

d. Solución aceite

Se tomó muestras de 2 ml, 3ml y 5ml de aceite esencial que fueron mezclados con alcohol de 70% en una proporción 1:2 para diluir el aceite y facilitar su homogenización en las formulaciones de recubrimientos.

e. Solución con biocarbón

Se pesó 0.5g de biocarbón impregnado fue mezclado con agua destilada para facilitar su incorporación en la solución recubrimiento evitando la generación de grumos, generándose una solución homogénea y posteriormente adicionada a la solución de recubrimientos.

3.4.5.1. Formulación de los recubrimientos

Los recubrimientos fueron dosificados en base a 100 ml por cada formulación, la suma del volumen de componentes de algunas formulaciones no alcanzó al volumen de 100ml, fue completada con agua destilada.

Tabla 4.

Dosificación de componentes para la formación de los recubrimientos (ml)

Componente	Tratamientos							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Quitosano 2%	75	75	75	70	75	75	75	70
Glicerina 1%	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
PVA 1%	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Tween 80 10%	0	2	2	2	0	2	2	2
Aceite 2%	0	4	0	0	0	4	0	0
Aceite 3%	0	0	6	0	0	0	6	0
Aceite 5%	0	0	0	10	0	0	0	10

BioZnO 0.5% p/v	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5
--------------------	---	---	---	---	-----	-----	-----	-----

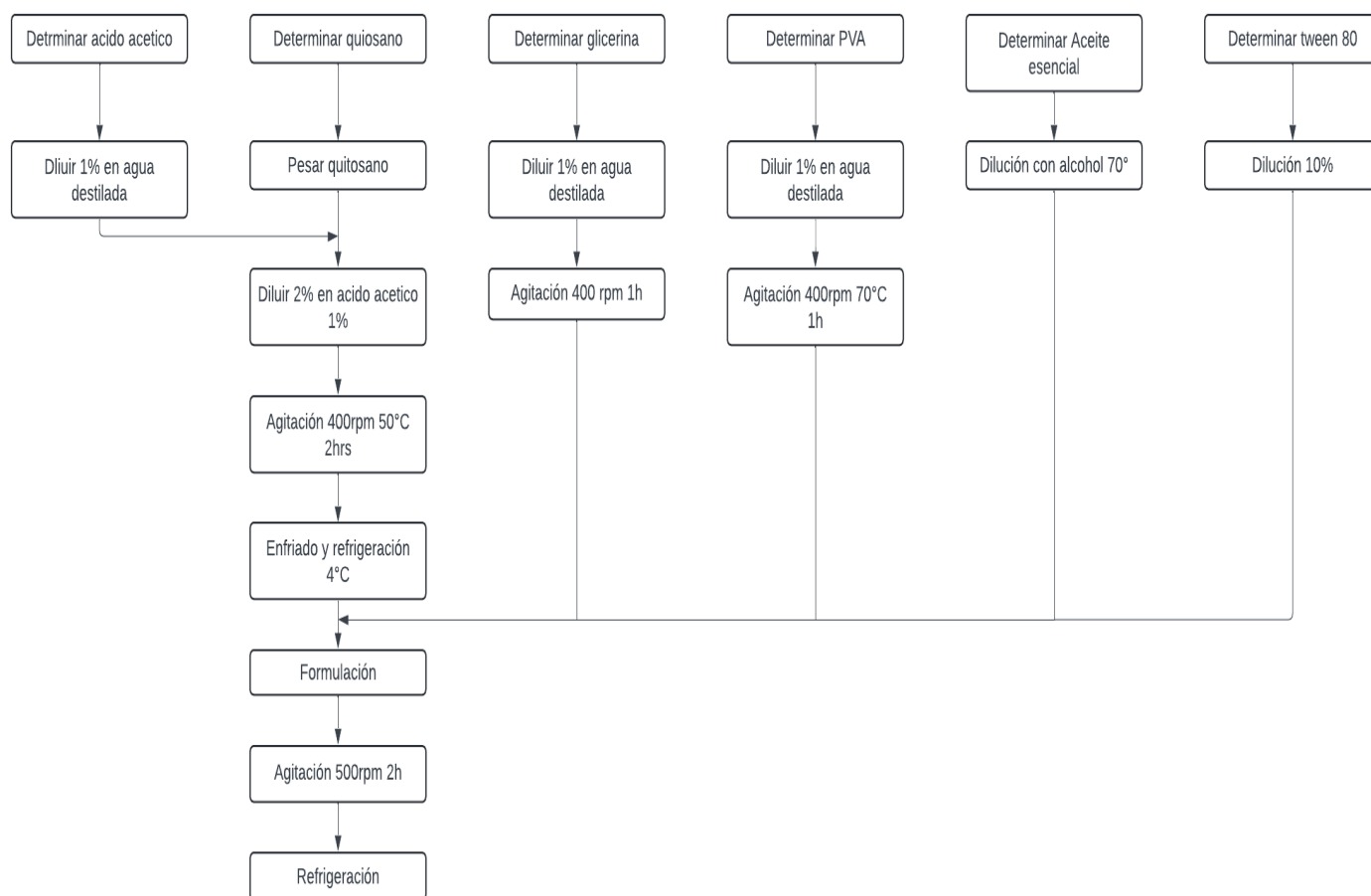
3.4.5.2. Preparación de recubrimientos

En función a las formulaciones se procedió a mezclar los recubrimientos de quitosano con aceite esencial de palo santo y biocarbón impregnado con óxido de zinc. Empleando un vaso precipitado se realizó la preparación de 100ml de solución de recubrimiento mediante agitación a 500rpm con intervalos de 30 minutos se adicionaron las soluciones siguiendo el orden de las formulaciones hasta obtenerse una homogenización completa. posterior a ello se dejó reposar durante 24 horas en refrigeración para descartar la presencia de burbujas.

Para comprobar antagonismo con los hongos se procedió a almacenar en tubos con tapa roscante las formulaciones para una evaluación en líquido y para evaluación de sus características físicas, se optó por realizar una película, el cual consistió en secar las muestras de formulaciones a 65°C durante 24 horas.

Figura 4.

Diagrama de flujo de formulación de recubrimientos



3.4.6. Caracterización de fisicoquímicas del recubrimiento

Para llevar a cabo este análisis físico fue necesario realizar películas a partir de solución recubrimiento, para ello se empleó 100ml de cada formulación y se vertió en bandejas acrílicas de 15x15cm secándose a 60°C durante 24h.

a. Porcentaje de solubilidad

Siguiendo la metodología empleada por (Zevallos, 2017), para ejecutar este análisis fue necesario realizar cortes de 2 x 2 cm de película las cuales fueron pesadas en una balanza analítica, seguido fueron sumergidas en 80 ml agua destilada en agitación constante

100 rpm durante 1h y finalmente fueron secadas es una estufa a 105°C y luego pesadas.

Se calculó el porcentaje de solubilidad de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Solubilidad} = \left[\frac{P_i - P_f}{P_i} \right] \times 100$$

En donde:

% Solubilidad = Solubilidad en porcentaje

P_I = Peso inicial seco

P_F = Peso final seco

b. Permeabilidad

Para este análisis se siguió la norma ASTM E96M/E96-05 con ciertas adaptaciones.

Se empleó el método secante, radicó en utilizar silica gel como agente absorbente. Se llenó tubos de ensayo hasta 1 cm por debajo del borde del tubo, se cortaron películas de 2.5 x 2.5 cm que fueron colocadas en el borde del tubo sujetadas con cinta generando hermeticidad. El área vacía entre el borde y la silica se cubrió con papel aluminio impidiendo el pase de luz. Este análisis se ejecutó por triplicado por cada tratamiento, en condiciones constantes de HR 73 ± 3 a 28°C, este ambiente se generó empleando una solución saturada de cloruro de sodio NaCl en un desecador.

En principio, la evaluación consistió en pesar los tubos acondicionados y posteriormente pesados con intervalos de 1h durante los 2 primeros días, seguido con intervalos de 4h y finalmente con intervalos de 24h durante 21 días.

3.4.7. Caracterización estructural de películas

Las películas de los distintos tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T8) se colocaron en el haz de luz del espectrofotómetro de infrarrojo (FTIR) marca Shimadzu 56 modelo IR Tracer, se analizaron entre el rango de número de onda de 4000 a 400 cm^{-1} y el porcentaje de

transmitancia. Este equipo estaba conectado al software (OriginPro) de una computadora donde se pudieron apreciar las variaciones del porcentaje de transmitancia según los distintos puntos de número de onda.

3.5. Análisis microbiológico

Mediante la investigación realizada por Vertiz Miranda, (2020) titulado **“Efecto de la concentración de nanopartículas de quitosano en recubrimiento de quitosano/goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) sobre la conservación de arándano (*Vaccinium myrtillus*)”** donde a partir de arándanos frescos, aislaron, secuenciaron e identificaron hongos patógenos como *Alternaria Alternata* y *Fusarium Oxysporum*, siendo estas cepas tomadas para realizar el análisis microbiológico de esta investigación para determinar la capacidad antimicrobiana de los recubrimientos de quitosano, aceite esencial de palo santo y biocarbón impregnado con óxido de zinc.

a. Siembra de hongos

Se emplearon hongos *Alternaria alternata* y *Fusarium oxysporum* en estado de conservación en tubos con tapa rosca en refrigeración, con un asa se tomó una muestra de pequeña de micelio y cultivadas en placas Petri con medio de cultivo sólido PDA estéril con pH 5.6 ± 0.1 y se incubaron a 29°C durante 7 días para su activación.

b. Proliferación

La proliferación se evidenció en el día 3 y se dejó hasta el día 7, considerando que todos los hongos presentan un crecimiento diferente de otros, posterior a ello se conversaron en un ambiente refrigerado.

c. Purificación de hongos

Mediante visualización macroscópicamente del micelio, se identificó el crecimiento óptimo del hongo, seguido se realizó una purificación tomando una pequeña muestra del cultivo con hongo proliferado y fue sembrado en un matraz con agar PDA con pH 5.6 ± 0.1 e incubado por un periodo aproximado de 10 días, para alcanzar la etapa reproductiva o generadora de esporas.

d. Extracción de esporas

La extracción se realizó vertiendo al matraz una solución de Tween 80 al 0.1% y con una baqueta estéril se agitó la solución de forma circular hasta visualizar turbidez, seguido se realizó un filtrado empleando un vaso precipitado con gasa en el borde para separar hifas y micelio para conseguir obtener esporas. Finalmente se almacenó en tubos de 50 ml y se conservaron en refrigeración.

e. Cultivo de espora

Se emplearon 2 métodos, para el análisis antagonismo de los recubrimientos frente a los hongos de arándanos:

- a. Método de siembra por extensión: Este método consistió en verter medio de cultivo agar PDA pH 5.6 estéril y se dejó solidificar. El sembrado se realizó empleado 20 – 30 μ l de solución tween80 con suspensión de esporas y con ayuda de una Asa de siembra Drigalski estéril se distribuyó en toda la placa.
- b. Método de difusión en agar, empleando tubos de ensayo con tapa rosca estériles, se le adicionó medio de cultivo estéril PDA pH 5.6 en estado líquido, seguido se adicionó una muestra de 20 – 30 μ l de solución de tween 80 con suspensión de esporas, este volumen fue variable debido a la concentración de esporas obtenidas, luego con agitación constante y rápida, se logró homogenizar la solución evitando la solidificación del mismo. Esta solución de agar y esporas se vertió en placas Petri estériles y se almacenaron a temperatura de 28°C para su solidificación.

3.5.1. Antagonismo de hongos de arándano con el recubrimiento

El primer método siembra empleado, se utilizaron películas cortadas en forma de círculo de 5mm y con ayuda de una pinza estéril se procedió a colocarse en cada placa Petri previamente sembrada con esporas, se realizó por triplicado por cada tratamiento. Posteriormente se incubó a 29°C durante 7 días y procedió a revisar las placas cada 3, 5 y 7 días.

Para el segundo método de dilución en agar, se procedió a realizar la perforación del medio solidificado en el centro de la placa un orificio de 5 mm. Se realizó la aplicación de las formulaciones de recubrimiento en líquido un volumen 10 µl en los orificios mencionados. Se procedió a revisar las placas cada 3, 5 y 7 días después de haber realizado este procedimiento. El experimento se replicó por triplicado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características físicas y organolépticas aceite esencial (*Bursera graveolens*)

Tabla 5.

Características físicas y organolépticas del aceite de palo santo

Parámetro	Valor
Estado	Líquido
Color	Amarillo pálido
Olor	Intenso, penetrante característico
Densidad	0.9263g/cm ³
Rendimiento	2.24 %
Índice de refracción	1.483°

Con el objetivo de identificar las propiedades fisicoquímicas y organolépticas del aceite esencial, se realizó su caracterización. El índice de refracción se determinó utilizando un refractómetro ABBE Schmidt + Haensch, mientras que la densidad se evaluó mediante un picnómetro calibrado.

El aceite esencial obtenido presentó un índice de refracción de 1.483 y una densidad de 0.9263 g/cm³, valores superiores a los reportados por Noel et

al. (2019) para el aceite esencial de *Bursera graveolens* obtenido mediante destilación por arrastre de vapor, quienes registraron una densidad de 0.8293 g/mL y un índice de refracción de 1.473.

La extracción por microondas alcanzó un rendimiento del 2.24%, superior a los valores reportados por Noel et al. (2019) y Puescas et al. (2022), quienes obtuvieron rendimientos de 1.25% y 1.35% (12.49 mL/kg), respectivamente, empleando métodos convencionales de destilación por arrastre de vapor.

Las diferencias observadas en el rendimiento pueden atribuirse a factores como la morfología de la materia prima (viruta, aserrín o astillas), el método de extracción utilizado y las condiciones ambientales (clima, contenido de humedad, origen del material vegetal y tiempo de extracción). Estos parámetros influyen significativamente en la eficiencia del proceso y en el rendimiento final del aceite esencial.

4.2. Caracterización de biocarbón impregnado con ZnO

4.2.1. Caracterización estructural

4.2.1.1. FTIR carbón impregnado

Se identificaron picos característicos en el análisis FTIR del biocarbón impregnado con óxido de zinc (ZnO), lo que confirma que este tipo de material contiene grupos funcionales específicos. De acuerdo con Singh *et al.* (2022), la vibración de estiramiento del grupo hidroxilo (O-H) está relacionada con la banda de absorción situada alrededor de 3395 cm^{-1} , que se debe sobre todo a que hay moléculas de agua adsorbidas en la superficie del biocarbón.

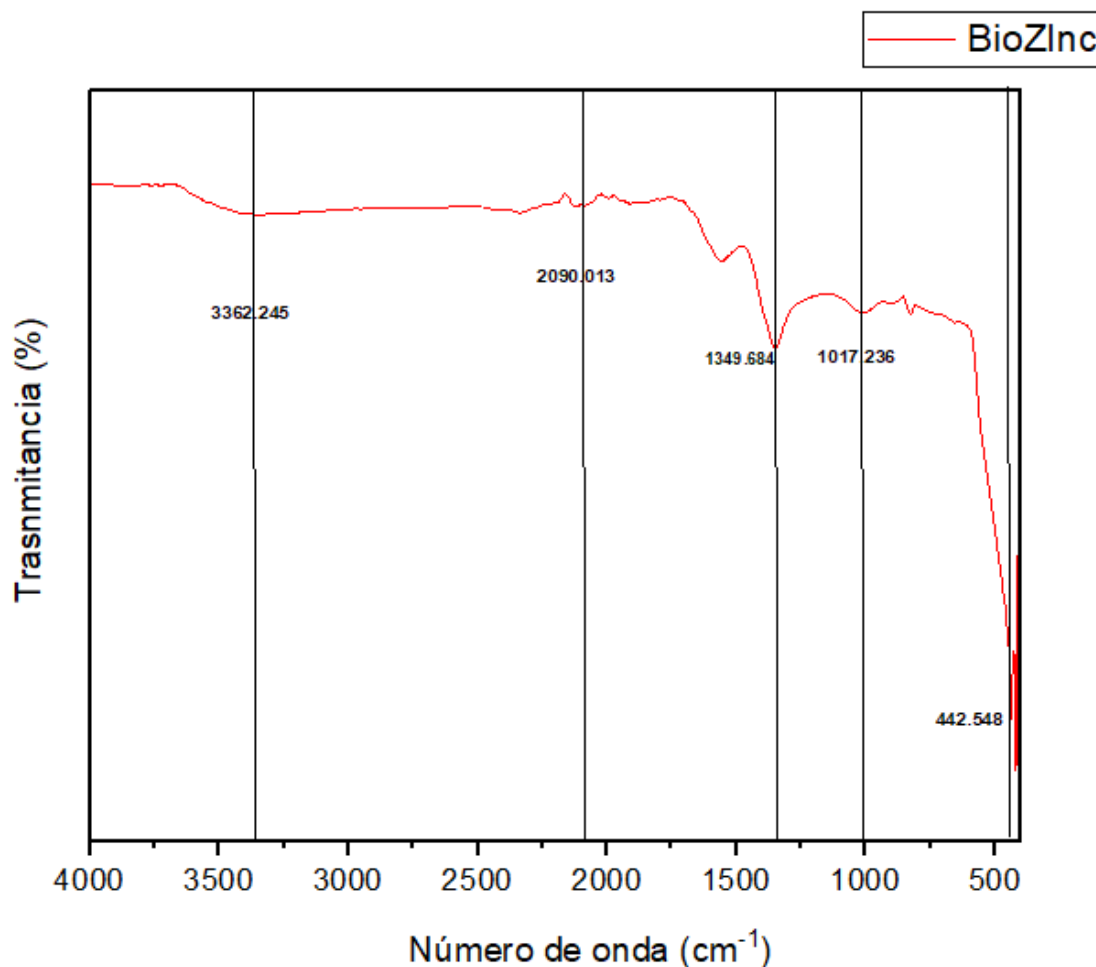
Según Miller y Coates, (2000), las vibraciones de estiramiento del grupo alquino ($\text{C}\equiv\text{C}$) se asocian con las señales captadas en el rango de 2090 cm^{-1} . Además, Keiluweit *et al.*, (2010) señala que la banda ubicada en 1349 cm^{-1} está vinculada a las vibraciones del enlace $\text{C}=\text{C}$ (alquenos) y el pico hallado en 1017 cm^{-1} demuestra que están presentes grupos C-O relacionados con fenoles y

alcoholes; su desplazamiento sugiere una posible interacción entre los grupos oxigenados del biocarbón y las partículas de ZnO.

Para concluir, es posible que las bandas de baja intensidad observadas a 2090 cm^{-1} y 2245 cm^{-1} no sean propias del biocarbón impregnado, sino que se deban a compuestos nitrílicos sobrantes o residuos orgánicos del proceso de impregnación. (Miller y Coates, 2000)

Figura 5.

Caracterización FTIR de biocarbón impregnado con Óxido de Zinc



4.3. Caracterización de formulaciones de recubrimiento

4.3.1. Caracterización estructural

4.3.1.1. FTIR quitosano y películas de quitosano con carbón impregnado

Se detectaron picos característicos en la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) de las películas elaboradas con quitosano al 2% y biocarbón impregnado con óxido de zinc (ZnO), los cuales evidencian la presencia de grupos funcionales específicos del polímero y del material inorgánico incorporado.

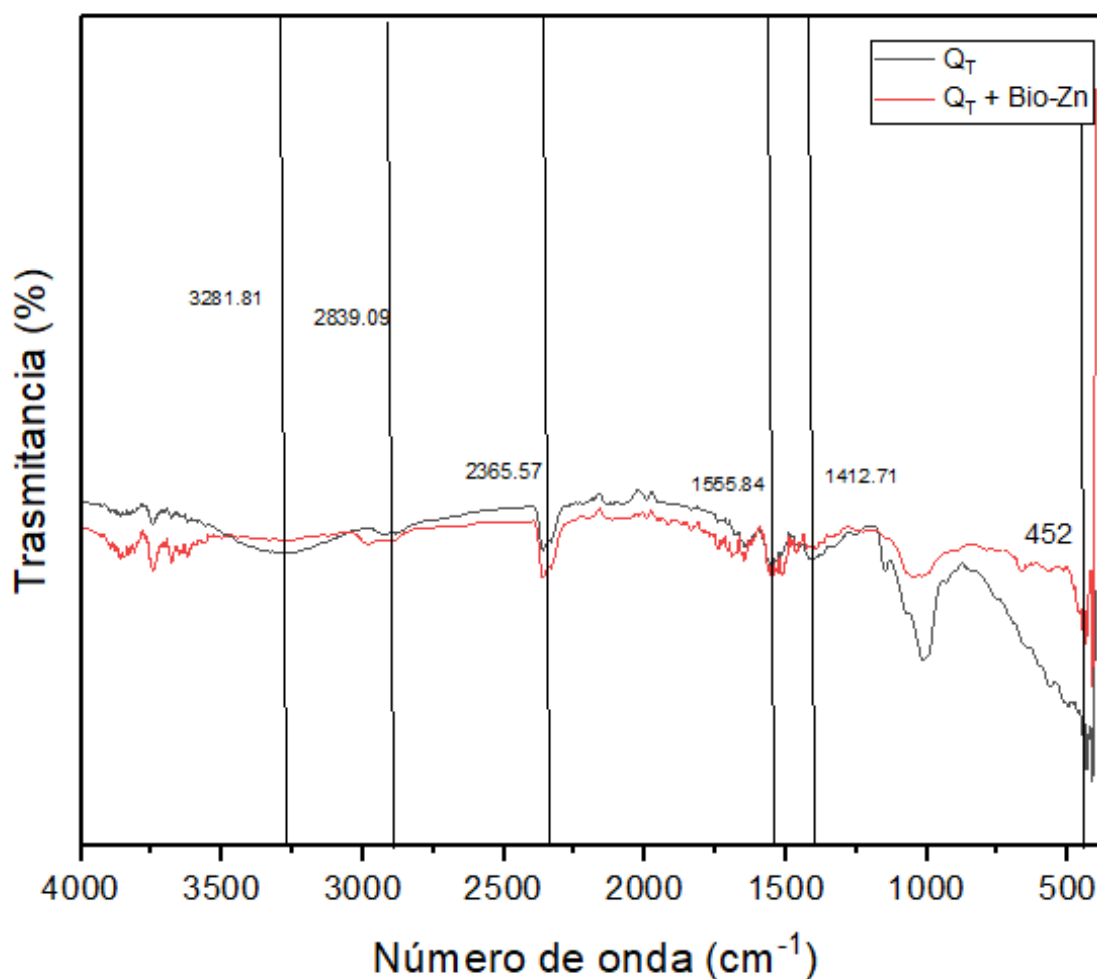
Según Kalemantas *et al.* (2002), las vibraciones de estiramiento de los grupos amino (N–H) e hidroxilo (O–H) son las responsables de la banda de absorción observada alrededor de 3362 cm^{-1} . La película compuesta únicamente por quitosano mostró una señal de mayor intensidad, mientras que la película con biocarbón impregnado presentó una disminución en dicha señal, atribuible a la interacción física entre el biocarbón y la matriz polimérica, la cual confiere una estructura más rígida como resultado de la naturaleza porosa del material carbonoso.

Las bandas ubicadas en 2839 cm^{-1} , 1555 cm^{-1} y 1412 cm^{-1} se asocian, respectivamente, con las vibraciones de estiramiento del grupo metileno (C–H), la flexión del grupo amino ($-\text{NH}_2$) y la flexión del grupo acetilo ($-\text{COCH}_3$) del quitosano. (Sun *et al.*, 2025)

La incorporación del biocarbón provocó un ligero desplazamiento de la banda en 2839 cm^{-1} , lo que sugiere la existencia de una interacción entre las superficies funcionales del biocarbón y las cadenas poliméricas, así como modificaciones en la red de enlaces de hidrógeno del material. (Rhim *et al.*, 2013)

Figura 6.

Caracterización FTIR de película de quitosano y película quitosano con biocarbón impregnado con Óxido de Zinc



4.3.1.2. FTIR formulaciones quitosano y aceite

En el análisis FTIR de las películas de quitosano con diferentes concentraciones de aceite esencial de *Bursera graveolens* se observaron patrones espectrales similares entre las formulaciones, aunque con variaciones en la intensidad de las bandas.

Se evidenció que, al incrementar la concentración del aceite esencial, se produce un aumento en la intensidad de los picos de absorción, lo que sugiere una mayor interacción entre los compuestos activos del aceite y la matriz polimérica del quitosano.

La banda ubicada en 3284 cm^{-1} se asocia con la elongación de los grupos amino (N–H) e hidroxilo (O–H) característicos del quitosano. El incremento en la intensidad de esta señal al añadir el aceite esencial indica la formación de enlaces de hidrógeno entre las cadenas del polímero y los grupos funcionales del aceite.

No obstante, en la formulación con 5% de aceite esencial, correspondiente a la concentración más alta, se observó un aplanamiento del pico, lo cual sugiere que los sitios de enlace se encuentran saturados o que existen interacciones intermoleculares más débiles. Este comportamiento coincide con lo reportado por Shen y Kamdem (2015), quienes explican que dicho fenómeno se debe a la formación de puentes de hidrógeno entre los grupos –OH del aceite esencial y los grupos –NH y –OH del quitosano, lo que modifica la estructura de la red polimérica.

Según Kumar *et al.*, (2023), la banda ubicada en el rango de 2928 cm^{-1} se atribuye a las vibraciones de estiramiento del grupo metileno (C–H), característica del esqueleto polimérico del quitosano. De manera similar al comportamiento observado en la banda de 3284 cm^{-1} , se evidenció que la intensidad de este pico aumentó paulatinamente a medida que se incorporaba el aceite esencial, lo que sugiere una mayor interacción entre las cadenas del polímero y los componentes lipofílicos del aceite. Sun *et al.*, (2025)

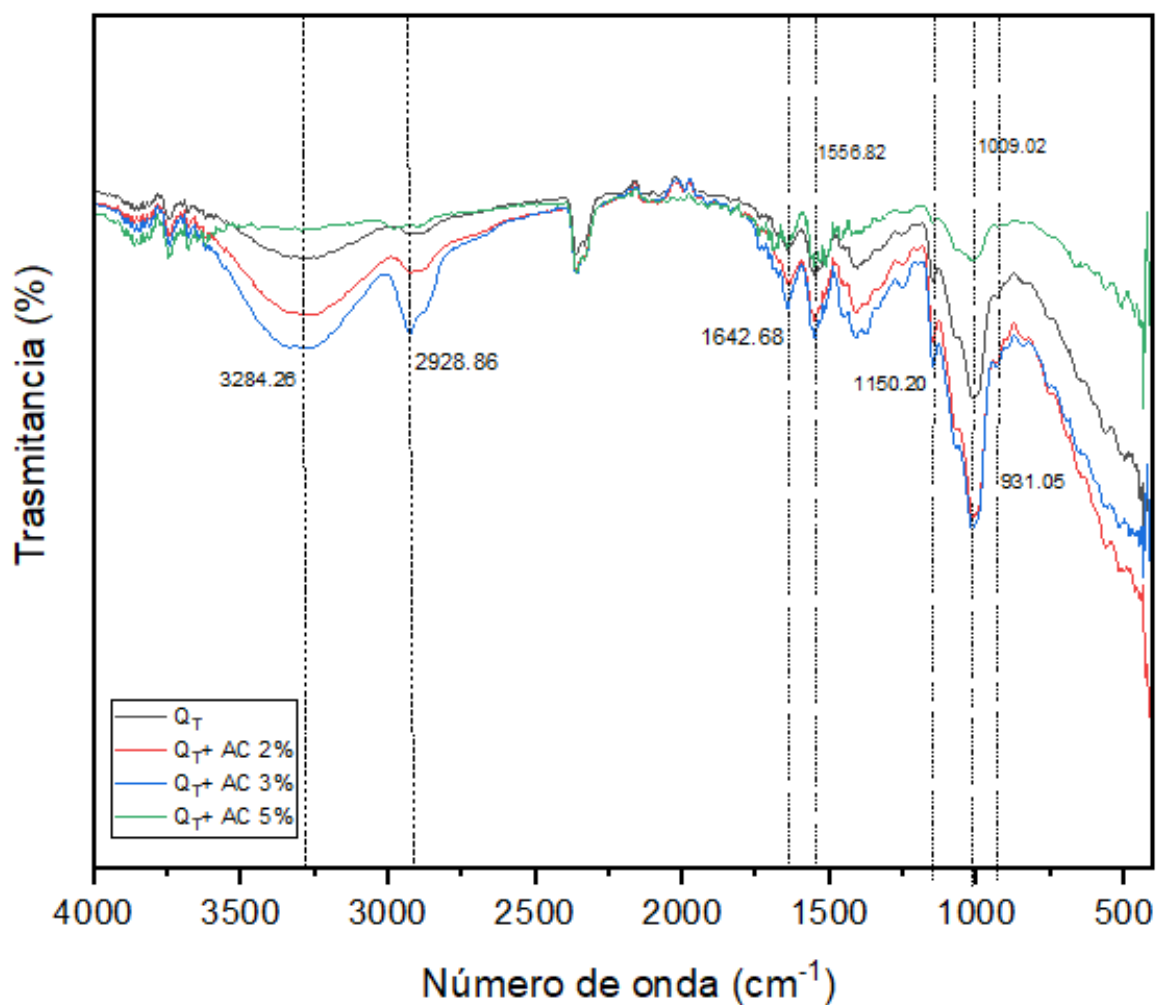
No obstante, en la película con 5% de aceite esencial se observó un aplanamiento del pico, lo cual podría estar asociado a una saturación de las interacciones moleculares o a una disminución en la compatibilidad entre el quitosano y el aceite esencial, hecho reportado en películas con alto contenido de compuestos lipofílicos. (Pereda *et al.*, 2012)

Este comportamiento concuerda con lo reportado por Liu *et al.* (2024), quienes señalaron que la homogeneidad estructural de las películas puede verse afectada por altas concentraciones de

aceites esenciales, ya que estas modifican la organización interna de las cadenas poliméricas.

Figura 7.

Caracterización FTIR de película de quitosano y película quitosano con aceite esencial al 2, 3 y 5%.



4.3.2. Caracterización de películas

4.3.2.1. Solubilidad

Las formulaciones fueron analizadas en estado seco en forma de película, las cuales deben presentar una consistencia física adecuada que permita la conservación de los compuestos activos frente a un incremento de la humedad en el entorno de aplicación.

El tratamiento T1 (quitosano al 2%) presentó el valor más bajo de solubilidad, indicador que garantiza la estabilidad del recubrimiento y su funcionalidad óptima.

En contraste, el tratamiento T8 (quitosano al 2% + aceite esencial al 5% + biocarbón al 0,5%) registró el valor más alto de solubilidad, lo que sugiere una menor capacidad para mantener la integridad estructural y funcional del recubrimiento bajo condiciones de humedad.

Tabla 6.

Análisis de varianza para la solubilidad

ANOVA								
Sources	SS	df	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE	Omega Sq
Between Groups	0.004279133	7	0.000611305	41.695269	4.1991E-09	0.948029486	3.728058876	0.922296622
Within Groups	0.00023458	16	1.46613E-05					
Total	0.004513713	23	0.000196248					

En la prueba de análisis de varianza para la solubilidad, se observa que existe diferencia significativa en el conjunto de tratamientos a un nivel de significancia de 5%.

Tabla 7. Análisis estadístico de comparación Método de Tukey para la solubilidad

Tratamiento	Descripcion	Solubilidad (g)	Tukey (5%)
T1	QUITOSANO	0.0053	b
T2	QUITOSANO + ACEITE 2%	0.0077	b
T3	QUITOSANO + ACEITE 3%	0.0086	b
T4	QUITOSANO + ACEITE 5%	0.0079	b
T5	QUITOSANO + 0.5% Bio-ZnO	0.0192	b
T6	QUITOSANO +0.5 Bio-ZnO+ACEITE 2%	0.0153	b
T7	QUITOSANO +0.5% Bio-ZnO+ACEITE 3%	0.0394	a
T8	QUITOSANO +0.5% Bio-ZnO+ACEITE 5%	0.0404	a

Los tratamientos T7 y T8 mostraron los mayores niveles de solubilidad en comparación con otros tratamientos, según la prueba de Tukey, que se utilizó para el análisis estadístico. Los tratamientos que incluyeron biocarbón (T5, T6, T7 y T8) mostraron una solubilidad mayor en comparación con los que no incluían (T1, T2, T3 y T4).

Esta variación puede deberse a la interacción que existe entre el biocarbón y la matriz de quitosano, puesto que, debido a su gran porosidad y extensa superficie, el biocarbón altera la estructura semicristalina del polímero, lo cual crea zonas amorfas que propician la difusión y el ingreso del agua. Así, la solubilidad y permeabilidad al vapor de agua de las películas aumenta gracias a que su porosidad se eleva. (Sionkowska *et al.*, 2023)

4.3.2.2. Permeabilidad

Se entiende por permeabilidad de vapor a la resistencia al flujo de vapor que presenta el recubrimiento.

Tabla 8. Análisis de varianza para la permeabilidad al vapor

ANOVA								
<i>Sources</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>	<i>Eta-sq</i>	<i>RMSSE</i>	<i>Omega Sq</i>
Between Groups	19.993286	7.0000	2.8562	54.2351345	1.1791E-22	0.87145525	2.60372652	0.85342816
Within Groups	2.94912679	56.0000	0.0527					
Total	22.9424128	63.0000	0.3642					

En la prueba de ANOVA realizada para el análisis de permeabilidad al vapor de agua, se observa que existe diferencia significativa en el grupo de tratamientos en un nivel de significancia de 5%

Tabla 9. Análisis estadístico de comparación Método de Tuckey para la permeabilidad de vapor

Tratamiento	Descripción	Permeabilidad (g)	Tukey (5%)
T1	QUITOSANO	15.5503	
T2	QUITOSANO + ACEITE 2%	16.6399	
T3	QUITOSANO + ACEITE 3%	15.8984	
T4	QUITOSANO + ACEITE 5%	14.5752	
T5	QUITOSANO + 0.5% ZnO	15.8399	
T6	QUITOSANO +0.5 ZnO+ACEITE 2%	15.8621	
T7	QUITOSANO +0.5% ZnO+ACEITE 3%	15.9725	
T8	QUITOSANO +0.5% ZnO+ACEITE 5%	15.9965	

Las pruebas de Tukey, utilizadas en el análisis estadístico, demostraron que los tratamientos T7 y T8 fueron diferentes de manera significativa con respecto a los otros tratamientos. El tratamiento T1 tuvo la permeabilidad más baja al vapor de agua, en tanto que los tratamientos T7 y T8 tuvieron las cifras más elevadas.

No se encontraron contrastes relevantes entre los tratamientos T2, T3 y T4; no obstante, se detectaron valores de permeabilidad menores al comparar estos tratamientos con aquellos que incluían biocarbón (T5, T6, T7 y T8). Una menor permeabilidad fue evidenciada en los tratamientos compuestos exclusivamente por aceite esencial y quitosano al 2%, lo que sugiere una estructura polimérica con menos poros y más compacta.

En cambio, las películas que incluían biocarbón resultaron ser más frágiles, quebradizas y poco maleables; en cambio, las hechas únicamente con aceite esencial y quitosano fueron resistentes al contacto físico, sólidas y maleables.

Por lo tanto, se concluye que la adición de biocarbón aumenta la permeabilidad al vapor de agua, ya que su porosidad es alta y su área superficial vasta. Estas características alteran la estructura de la matriz de quitosano, creando zonas amorfas que propician el flujo del vapor.

4.3.3. Antagonismo frente a hongos de arándano

Se entiende por antagonismo a la actividad inhibidora o limitación de crecimiento de hongos frente a los tratamientos de recubrimientos.

En la prueba de ANOVA realizada para el análisis de antagonismo, se observa que existe diferencia significativa en el grupo de tratamientos en un nivel de significancia de 5%

Tabla 10. Análisis de varianza para el antagonismo de *Alternaria alternata*

ANOVA								
Sources	SS	df	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE	Omega Sq
Between								
Groups	262.371852	7	37.4816931	4.45581945	0.00635408	0.6609504	1.21871783	0.50197897
Within								
Groups	134.58963	16	8.41185185					
Total	396.961481	23	17.2591948					

Tabla 11. Análisis estadístico de comparación Método de Tuckey para el análisis antagonismo *Alternaria alternata*

	Descripcion	Halo de inhibición (mm)	Tukey (5%)
T1	QUITOSANO	0	c
T2	QUITOSANO + ACEITE 2%	3	c
T3	QUITOSANO + ACEITE 3%	3	c
T4	QUITOSANO + ACEITE 5%	4	c
T5	QUITOSANO + 0.5% Bio-ZnO	0	b
T6	QUITOSANO +0.5 Bio-ZnO+ACEITE 2%	3.33	ba
T7	QUITOSANO +0.5% Bio-ZnO+ACEITE 3%	3.63	a
T8	QUITOSANO +0.5% Bio-ZnO+ACEITE 5%	6	a

Los tratamientos que incluían únicamente aceite esencial de palo santo como agente activo produjeron un halo inhibidor del crecimiento de *Alternaria alternata*, el cual guardaba una relación directa con la concentración del aceite en el recubrimiento; esto es, a más concentración de aceite, mayor diámetro del halo inhibidor.

No obstante, se notó que el halo mencionado era visible en el primer día de evaluación, pero en el segundo día empezó a desarrollarse un crecimiento

micelial gradual en la zona que antes estaba inhibida. El halo ya no era perceptible de manera precisa al final del séptimo día, lo que señala un debilitamiento progresivo del efecto antifúngico.

En cambio, los tratamientos que unieron dos elementos activos (aceite esencial de palo santo y biocarbón impregnado con óxido de zinc) produjeron halos de inhibición más grandes que los que se hicieron solo con aceite esencial.

El T8 (quitosano + 0.5% ZnO + aceite 5%), que mostró el diámetro de halo más grande, mantuvo su efecto hasta el séptimo día de evaluación, según lo demostró el análisis estadístico. Esto prueba que tiene la capacidad antifúngica contra *Alternaria alternata*.

Tabla 12. Análisis de varianza para el antagonismo de *Fusarium oxysporum*

ANOVA								
Sources	SS	df	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE	Omega Sq
Between					1.1687E-			
Groups	479.424769	7	68.4892526	90.2053571	11	0.97528719	5.48347083	0.96298795
Within								
Groups	12.1481481	16	0.75925926					
Total	491.572917	23	21.3727355					

En la prueba de ANOVA realizada para el análisis de antagonismo, se observa que existe diferencia significativa en el grupo de tratamientos en un nivel de significancia de 5%

Tabla N° 13: Análisis estadístico de comparación Método de Tuckey para el análisis antagonismo de *Fusarium oxysporum*

	Descripcion	Halo de inhibición (mm)	Tukey (5%)
T1	QUITOSANO	0	c
T2	QUITOSANO + ACEITE 2%	9.5	c
T3	QUITOSANO + ACEITE 3%	9.94	c
T4	QUITOSANO + ACEITE 5%	11.11	c
T5	QUITOSANO + 0.5% ZnO	0	b
T6	QUITOSANO +0.5 ZnO+ACEITE 2%	9.22	b
T7	QUITOSANO +0.5% ZnO+ACEITE 3%	9.28	a
T8	QUITOSANO +0.5% ZnO+ACEITE 5%	11.22	a

Los tratamientos que solo incluían aceite esencial de palo santo como componente activo produjeron un halo que inhibía el crecimiento fúngico, el cual era directamente proporcional a la concentración del aceite en el recubrimiento; esto es, la circunferencia del halo de inhibición aumentaba conforme aumentaba la concentración de aceite.

La disminución de la actividad antifúngica observada en algunos tratamientos puede atribuirse a la alta volatilidad de los aceites esenciales, los cuales tienden a evaporarse en condiciones ambientales. Siendo esta una de las principales limitaciones en la aplicación de aceites esenciales en sistemas alimentarios, afectando su estabilidad y eficacia antimicrobiana (Bakkali et al., 2008; Hyldgaard et al., 2012). No obstante, la incorporación en matrices poliméricas como el quitosano puede retardar su liberación y mejorar su estabilidad, aunque a altas concentraciones pueden presentarse fenómenos de saturación o menor compatibilidad estructural (Sánchez-González et al., 2011).

Por otro lado, los tratamientos que mezclaron dos elementos activos —biocarbón impregnado con óxido de zinc (ZnO) y aceite esencial de palo santo— generaron halos de tamaño notoriamente mayor que los elaborados únicamente con el aceite esencial.

El análisis estadístico mostró diferencias notables entre los tratamientos. El T8 (quitosano + 0.5% ZnO + aceite 5%) fue el que mostró el diámetro de halo más

grande, manteniendo su efecto hasta el séptimo día de evaluación, lo que respalda su efectividad.

Por otro lado,

V. CONCLUSIONES

1. Los recubrimientos elaborados con quitosano, aceite esencial de *Bursera graveolens* y biocarbón impregnado con óxido de zinc demostraron una actividad antifúngica significativa frente *Alternaria alternata* y *Fusarium oxysorum* la cual se comprobó mediante halos de inhibición cuya extensión fue mayor mientras la concentración de aceite era aumentada.
2. Los recubrimientos que contenían quitosano, 0.5% de ZnO y 5% de aceite esencial de palo santo mostraron el mayor efecto inhibitor y persistencia antifúngica, confirmando la existencia de un efecto sinérgico entre el aceite y el ZnO.
3. Las películas que incluyeron biocarbón impregnado con ZnO mostraron una permeabilidad y solubilidad más altas, pero también una textura menos resistente. Esto indica que es necesario optimizar la proporción de plastificantes para mejorar las características mecánicas.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios de toxicidad y análisis sensorial para garantizar la inocuidad del recubrimiento en aplicaciones alimentarias.
2. Ampliar la evaluación de propiedades mecánicas, térmicas y de biodegradabilidad de las películas, a fin de fortalecer su aplicabilidad como material de empaque.
3. Investigar la eficacia del recubrimiento frente a otros patógenos de frutas y hortalizas para validar su espectro antifúngico.
4. Explorar el uso de compuestos activos naturales de biodiversidad local, promoviendo la valorización de recursos regionales y el desarrollo de productos agroindustriales sostenibles.
5. Implementar ensayos de conservación en condiciones reales de almacenamiento y transporte para determinar el comportamiento del recubrimiento en frutas frescas durante su vida útil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, B. F. M. T., Barbosa, L. N., Da Silva Probst, I., & Júnior, A. F. (2013). Antimicrobial activity of essential oils. *The Journal Of Essential Oil Research*, 26(1), 34-40. <https://doi.org/10.1080/10412905.2013.860409>
- Akyuz Yilmaz, B., Aydin, F., Kahve, H. I., Gunay Kamci, K., Bozkurt, S. B., & Akyuz, L. (2025). Innovative bio-based active packaging: Functional composite films reinforced with biochar for meat preservation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies: IFSET: The Official Scientific Journal of the European Federation of Food Science and Technology*, 105(104163), 104163. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.104163>
- Arvanitoyannis, I., Nakayama, A. y Aiba, S. (1998) Películas comestibles elaboradas a partir de almidón hidroxipropílico y gelatina y plastificadas con polioles y agua. *Carbohydrate Polymers*, 36, 105-119. [https://dx.doi.org/10.1016/S0144-8617\(98\)00017-4](https://dx.doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00017-4)
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils--a review. *Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 46(2), 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Basaglia, R. R., Pizato, S., Santiago, N. G., Maciel de Almeida, M. M., Pinedo, R. A., & Cortez-Vega, W. R. (2021). Effect of edible chitosan and cinnamon essential oil coatings on the shelf life of minimally processed pineapple (Smooth cayenne). *Food Bioscience*, 41(100966), 100966. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100966>
- Basumatary, IB, Mukherjee, A., Katiyar, V., Kumar, S. y Dutta, J. (2021). Recubrimiento antimicrobiano a base de quitosano para mejorar la vida útil poscosecha de la piña. *Recubrimientos*, 11 (11), 1366. <https://doi.org/10.3390/coatings11111366>

- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Campos-Requena, V. H., Rivas, B. L., Pérez, M. Á., Figueroa, C. R., & Sanfuentes, E. (2020). Sustainable active packaging of fresh produce: Trends and challenges. *Polymers*, 12(10), 2216. <https://doi.org/10.3390/polym12102216>
- Carrillo Inungaray, M. L., & Reyes Munguía, A. (2014). Vida útil de los alimentos / Lifetime food. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 2(3), 32. <https://doi.org/10.23913/ciba.v2i3.20>
- Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., & Etchevers Barra, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367-382.
- FAO. (2019). *The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>
- FAO, Unión Europea y CIRAD. (2022). *Perfil de sistemas alimentarios: Perú. Catalizar la transformación sostenible e inclusiva de nuestros sistemas alimentarios*. Roma, Bruselas y Montpellier, Francia. <https://doi.org/10.4060/cc2239es>
- Figueroa S, Daniel, Guerrero C, Jaime, & Bensch T, Emma. (2010). Efecto de momento de cosecha y permanencia en huerto sobre la incidencia de hongos de poscosecha en arándano alto (*vaccinium corymbosum l.*), cvs. Berkeley, brigitta y elliott durante la temporada 2005-2006. *Idesia (Arica)*, 28(2), 9-19. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292010000200002>
- González-Locarno, M., Maza Pautt, Y., Albis, A., Florez López, E., & Grande Tovar, C. D. (2020). Assessment of Chitosan-Rue (*Ruta graveolens L.*) Essential Oil-Based Coatings on Refrigerated Cape Gooseberry (*Physalis*

peruviana L.) Quality. *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, 10(8), 2684.
<https://doi.org/10.3390/app10082684>

Higuera-Ciapara, I., Toledo-Guillén, A. R., & Goycoolea, F. M. (2007). Tendencias en propiedad intelectual y orientación de mercado para la quitina y quitosano. In Argüelles-Monal WM, Campana S and Mada A, Proceedings of the IV Iberoamerican Chitin Symposium. Iberoamerican Chitin Society, Natal, Brasil.

Hyldgaard, M., Mygind, T., & Meyer, R. L. (2012). Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in Microbiology*, 3, 12.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00012>

Ilangovan, P., Sakvai, M. S., & Kottur, A. B. (2016). An electrically active methacrylate based polymer reinforced with ZnO – Synthesis, characterization and dielectric properties. *Materials Letters*, 183, 240-243.
<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.07.120>

Ju, J., Xie, Y., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., & Yao, W. (2019). *Application of essential oil as a sustained release preparation in food packaging. Trends in Food Science & Technology*, 92, 22–32.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.009>

Kalemtaş, A., Kocer, H. B., Aydın, A., Terzioğlu, P., & Aydın, G. (2022). Mechanical and antibacterial properties of ZnO/chitosan bio-composite films. *Journal of polymer engineering*. 42(1), 35-47. <https://doi.org/10.1515/polyeng-2021-0143>

Keiluweit, M., Nico, P. S., Johnson, M. G., & Kleber, M. (2010). Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environmental Science & Technology*, 44(4), 1247–1253.
<https://doi.org/10.1021/es9031419>

- Kumar, H., Ahuja, A., Kadam, AA et al. Película antioxidante a base de quitosano y aceite esencial de tulsi para envasado de alimentos. *Food Bioprocess Technol* 16, 342–355 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02938-6>
- Kumirska, J., Czerwicka, M., Kaczyński, Z., Bychowska, A., Brzozowski, K., Thöming, J., & Stepnowski, P. (2010). Application of spectroscopic methods for structural analysis of chitin and chitosan. *Marine drugs*, 8(5), 1567–1636. <https://doi.org/10.3390/md8051567>
- Liu, Y., Zhang, J., Peng, F., Niu, K., Hou, W., Du, B., & Yang, Y. (2024). Development of Chitosan-Based Films Incorporated with Chestnut Flower Essential Oil That Possess Good Anti-Ultraviolet Radiation and Antibacterial Effects for Banana Storage. *Coatings*, 14(5), 548. <https://doi.org/10.3390/coatings14050548>
- López, P., Sánchez, C., Batlle, R., & Nerín, C. (2005). Solid- and Vapor-Phase Antimicrobial Activities of Six Essential Oils: Susceptibility of Selected Foodborne Bacterial and Fungal Strains. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 53(17), 6939-6946. <https://doi.org/10.1021/jf050709v>
- Mendez, A. H. S., Cornejo, C. G. F., Coral, M. F. C., & Arnedo, M. C. A. (2017). Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil of *Bursera graveolens* (Burseraceae) from Perú. *Indian J Pharm Educ Res*, 51(3), S429-S43
- Kumar, H., Ahuja, A., Kadam, A. A., Rastogi, V. K., & Negi, Y. S. (2023). Antioxidant film based on chitosan and Tulsi essential oil for food packaging. *Food and Bioprocess Technology*, 16(2), 342–355. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02938-6>
- Noel Martinez, K. C., & Oviedo Casariego, J. E. (2019). Actividad antimicrobiana “in vitro” del aceite esencial de palo santo (*Bursera Graveolens*) sobre los microorganismos presentes en el pez aguja (*Kajikia audax*). <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/769>

- Ozdemir, M., & Floros, J. D. (2008). Optimization of edible whey protein films containing preservatives for water vapor permeability, water solubility and sensory characteristics. *Journal of Food Engineering*, 86(2), 215-224.
- Puecas, M., Herrera, E., Moscol, J., & Solís, J. (2022). Rendimiento de aceite esencial a partir de madera de *Bursera graveolens*: Aprovechamiento de astillas, viruta y aserrín. Puecas | Manglar.
- Pereda, M., Amica, G., & Marcovich, N. E. (2012). Development and characterization of edible chitosan/olive oil emulsion films. *Carbohydrate Polymers*, 87(2), 1318–1325. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.019>
- Reyes, F., Palou, E., & López, A. (2014). Métodos de evaluación de la actividad antimicrobiana y de determinación de los componentes químicos de los aceites esenciales. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8(1), 68-78.
- Rhim, J.-W., Park, H.-M., & Ha, C.-S. (2013). Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science*, 38(10–11), 1629–1652. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008>
- Riaz, A., Lei, S., Akhtar, H. M. S., Wan, P., Chen, D., Jabbar, S., ... & Zeng, X. (2023). Antimicrobial and antioxidant effects of edible nanoemulsion coating based on chitosan and *Schizonepeta tenuifolia* essential oil in fresh pork. *Journal of Food Processing and Preservation*, 47(2), e15909. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15909>
- Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2011). Use of essential oils in bioactive edible coatings: A review. *Food Engineering Reviews*, 3(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s12393-010-9031-3>
- Saki, M., ValizadehKaji, B., Abbasifar, A., & Shahrjerdi, I. (2019). Effect of chitosan coating combined with thymol essential oil on physicochemical and qualitative properties of fresh fig (*Ficus carica* L.) fruit during cold

storage. *Journal of Food Measurement & Characterization*, 13(2), 1147–1158. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00030-w>

Sionkowska, A., Wisniewski, M., Skopinska, J., Kennedy, C. J., & Wess, T. J. (2004). Molecular interactions in collagen and chitosan blends. *Biomaterials*, 25(5), 795–801. [https://doi.org/10.1016/s0142-9612\(03\)00595-7](https://doi.org/10.1016/s0142-9612(03)00595-7)

Singh, K., Lohchab, RK y Kumari, M. (2022). Impregnación de nanopartículas de óxido de zinc en carbón activado sintetizado a partir de mazorca de maíz para evaluar el potencial de eliminación de la demanda química de oxígeno del lixiviado. *Revista Internacional de Química Analítica Ambiental*, 104 (16), 4209–4232. <https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2100256>

Sun, J., Pan, X., Wang, T., Liu, L., Li, Z., & Wang, X. (2025). Preparation, characterization and application of chitosan/thyme essential oil composite film. *Scientific Reports*, 15(1), 7934. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92267-3>

Tang, Y., Zhang, L., Zhang, R., Yang, J., & Xu, M. (2021). Chitosan-based antimicrobial coating for improving postharvest shelf life of pineapple. *Coatings*, 11(11), 1366. <https://doi.org/10.3390/coatings11111366>

Turek, C., & Stintzing, F. C. (2013). Stability of Essential Oils: A Review. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 12(1), 40-53. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12006>

Veliz Miranda, B. I. (2020). Efecto de la concentración de nanopartículas de quitosano en recubrimiento de quitosano/goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) sobre la conservación de arándano (*Vaccinium myrtillus*). https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNTU_9f39061d829e80232d5f4f85acf5c6fa

ANEXOS

ANEXO 1. Obtención de aceite esencial



FOTO 1.1. Recepción, molienda e hidratación



FOTO 1.2. extracción, centrifugación y almacenamiento



FOTO 1.3. Análisis de densidad

ANEXO 2. Impregnación de Biocarbón



Foto 2.1. Recepción molinda e impregnación sol - gel

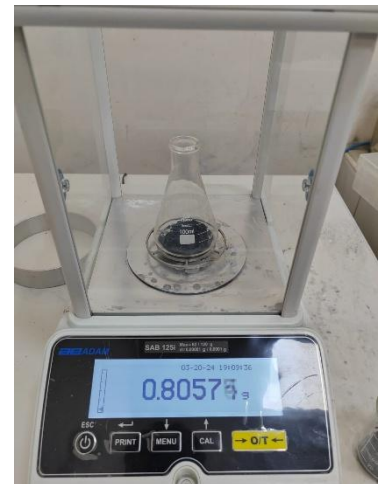
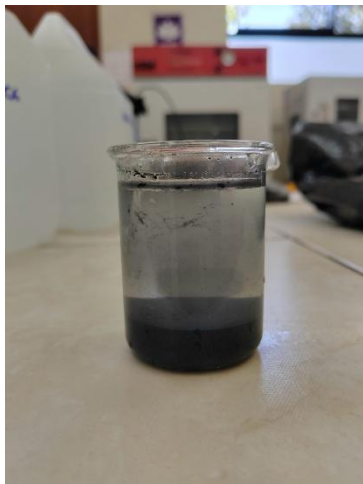


Foto 2.2. Lavado, secado y pesado final

ANEXO 3. Formulación de recubrimientos

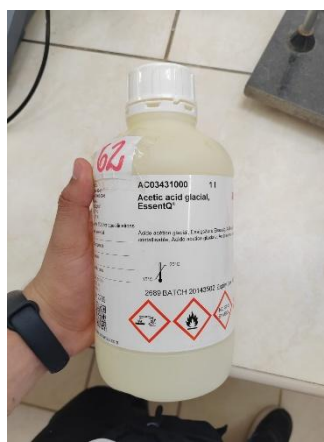
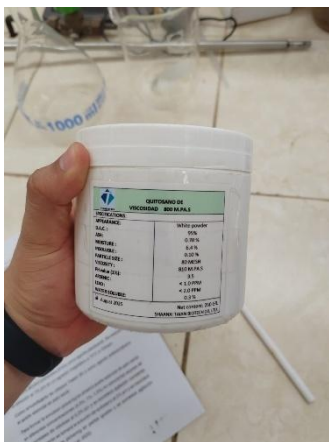


Foto 3.1. Recepción de insumos



Foto 3.2. Elaboración de los recubrimientos y secado



Foto 3.3. Plaqueo de recubrimientos y secado

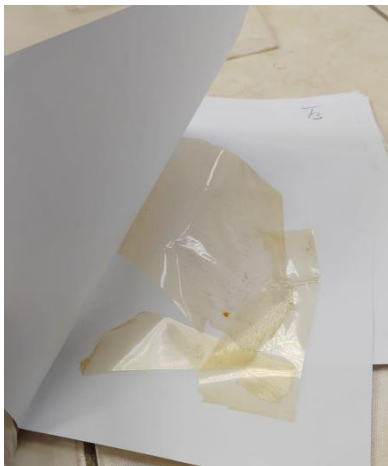


Foto 3.4. Películas de quitosano

Anexo 4. Análisis de solubilidad de películas

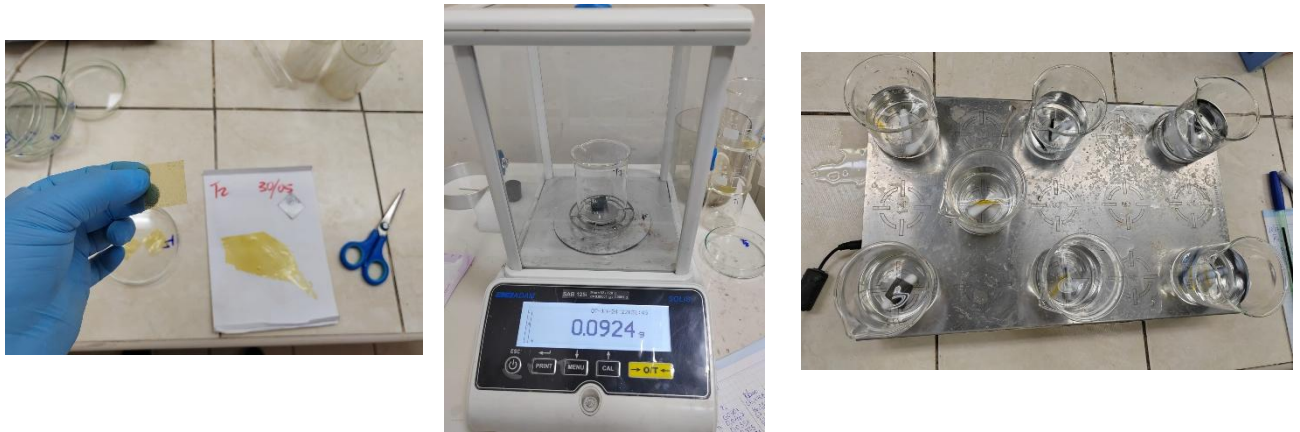


Foto 4.1. Cortado, pesado y agitación de las películas



Foto 4.2. Escurrido, secado y pesado final

Anexo 5. Análisis de permeabilidad de películas



Foto 5.1. Análisis de permeabilidad de la película y pesado inicial



Foto 5.2. Control de humedad y control de peso

ANEXO 6. Activación de Hongos



Foto 6.1. Sembrado y purificación de hongos de arándano

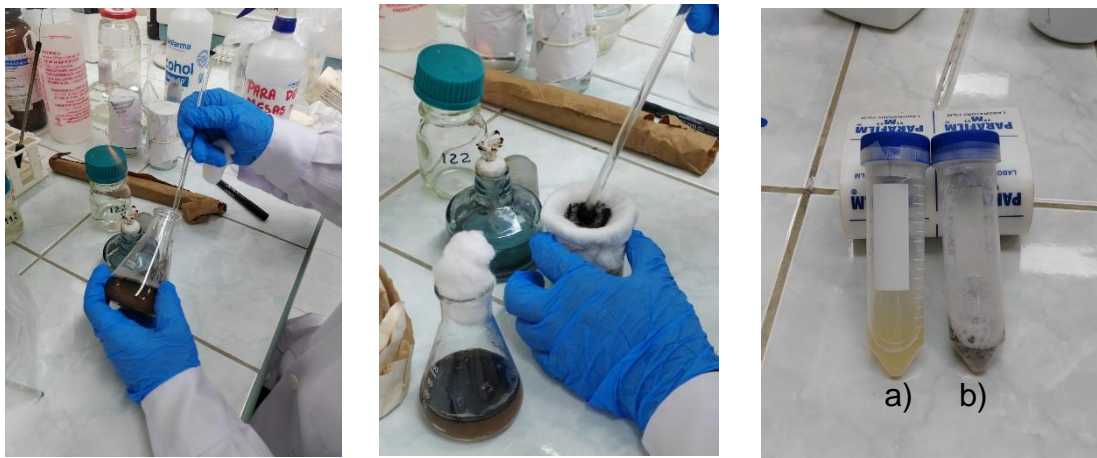


Foto 6.2. Extracción de esporas a) *Fusarium* b) *Alternaria alternata*

Anexo 7. Antagonismo en hongos

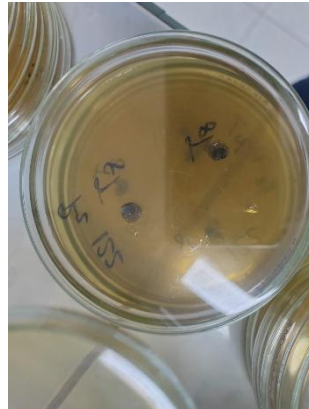


Foto 7.1. Sembrado en placas y colocación de película de quitosano

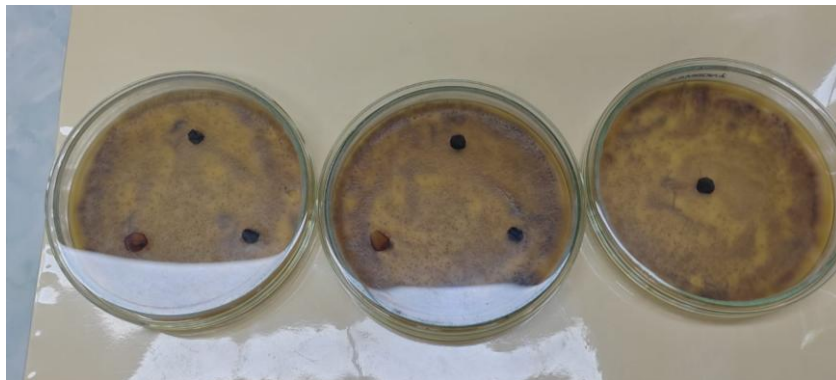
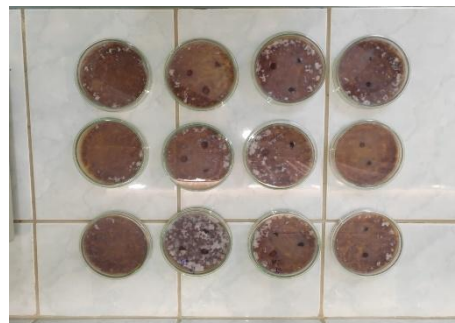


Foto 7.2. identificación de halo y crecimiento del hongo *alternaria alternata* y *Fusarium oxysporum*

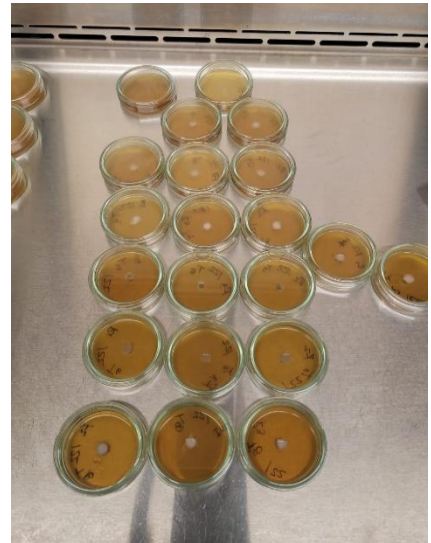
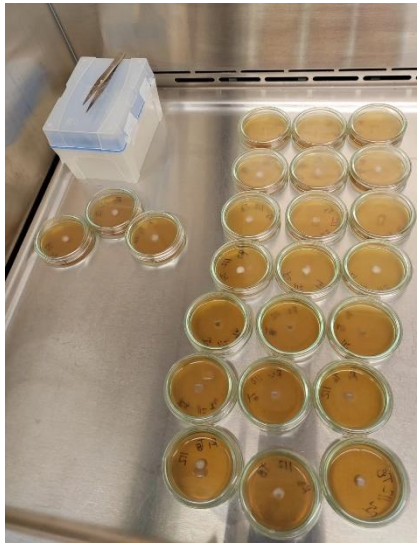


Foto 7.4. Sembrado en placa método dilución y aplicación de recubrimiento en liquido



Foto 7.5. Incubación de placas

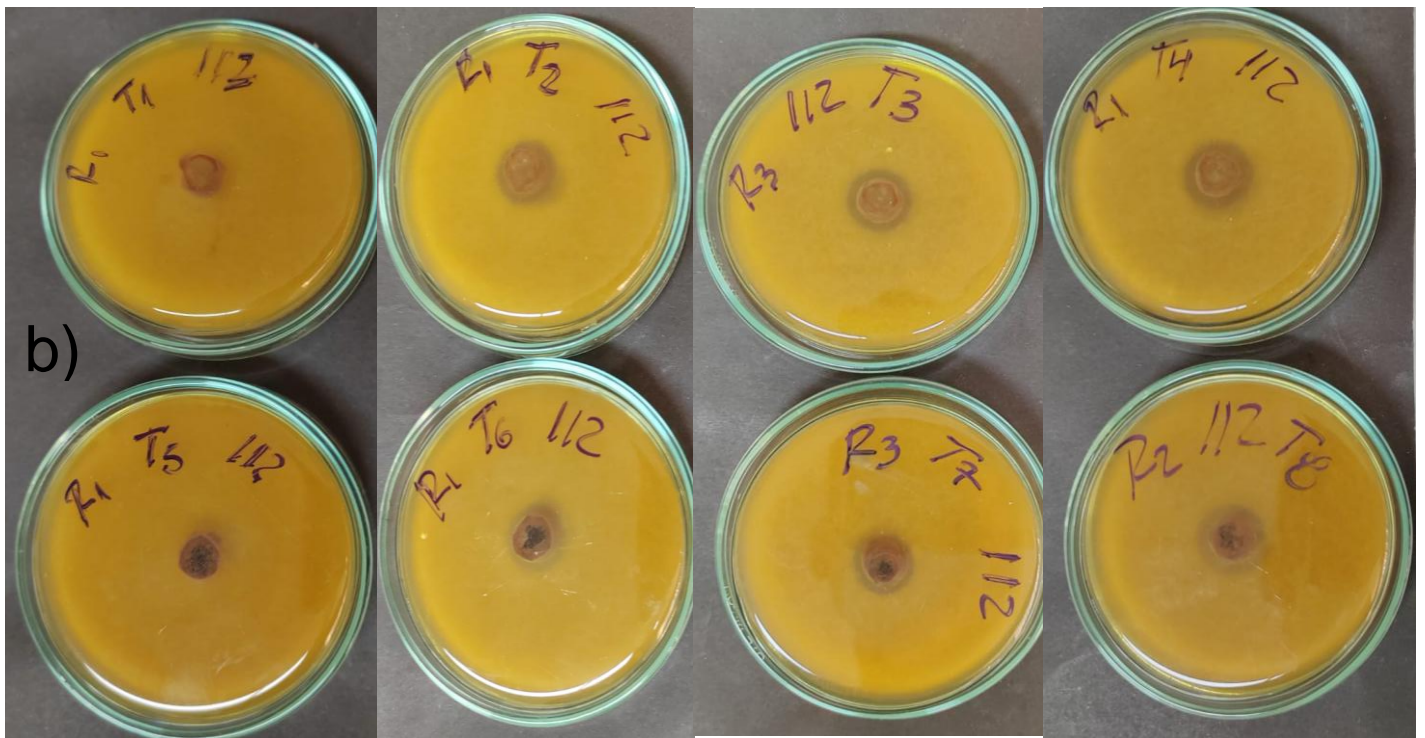
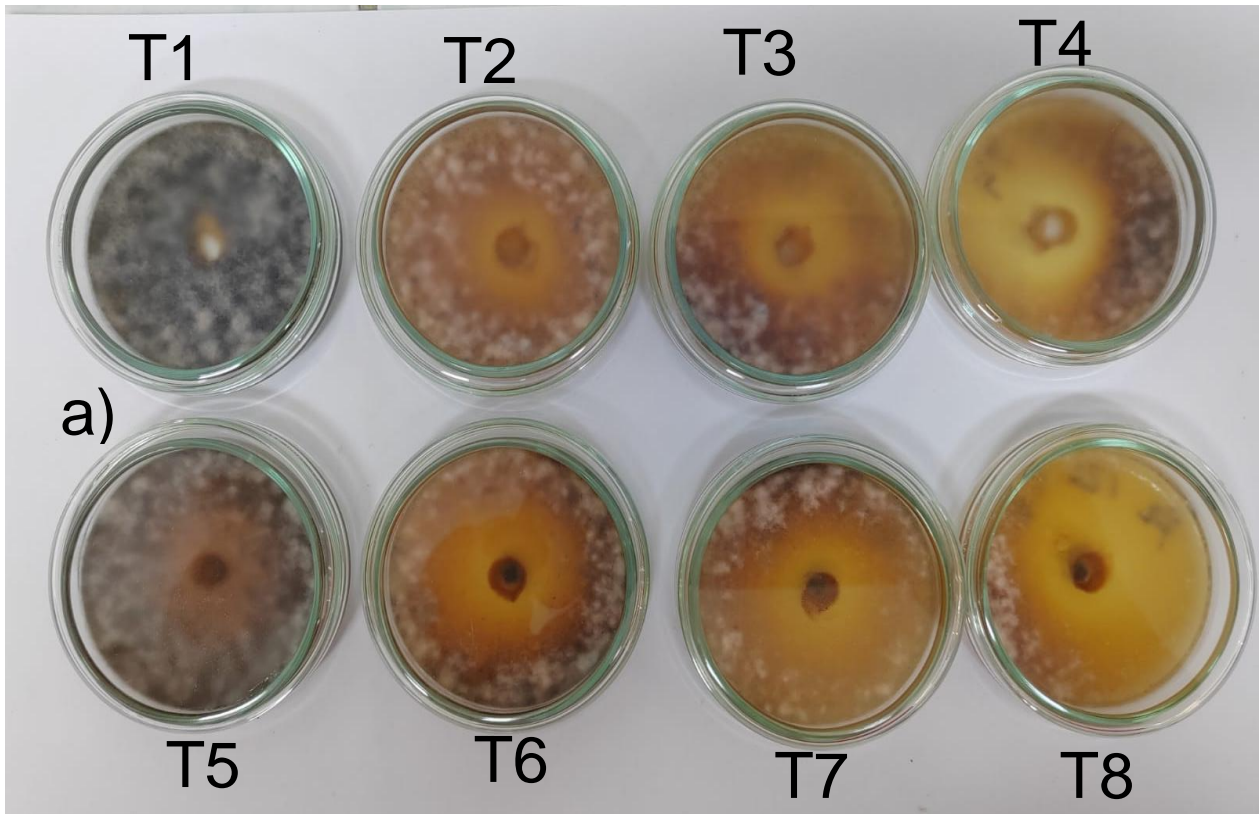


Foto 7.6. Evaluación de hongos Dia 1 a) *Alternaria alternata* b) *Fusarium oxysporum*

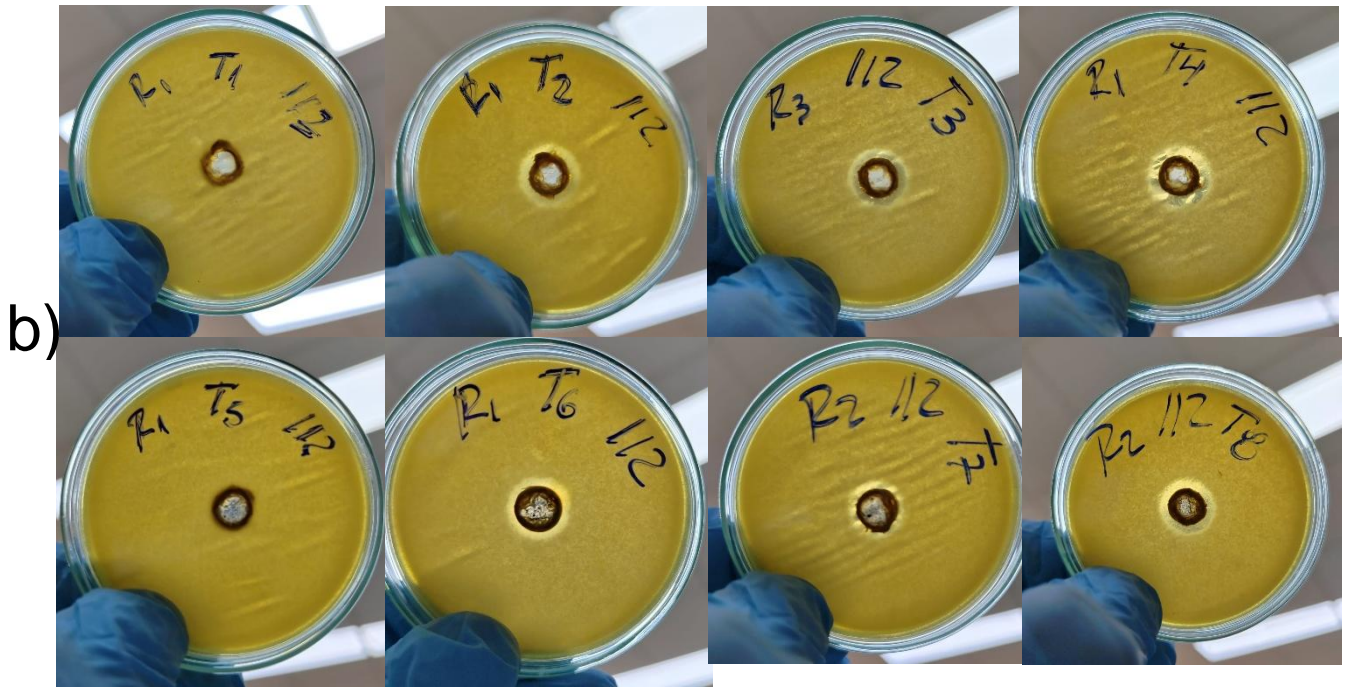
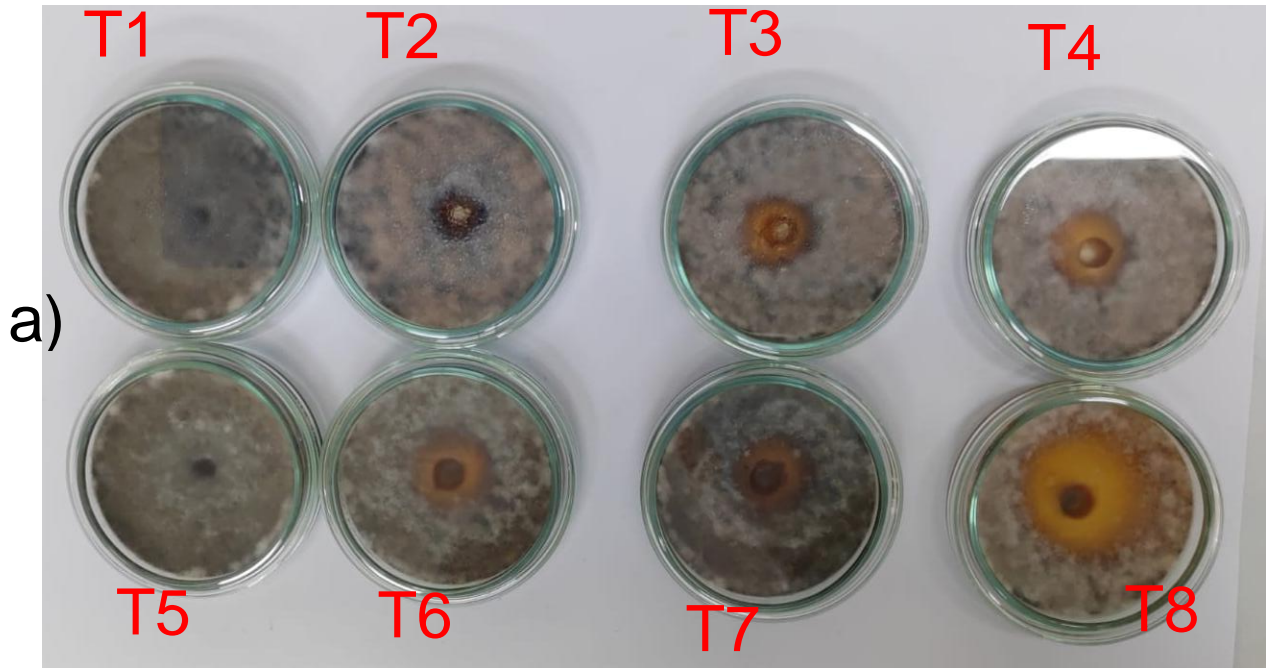


Foto 7.7. Evaluación de hongos Día 3 a) *Alternaria alternata* b) *Fusarium oxysporum*

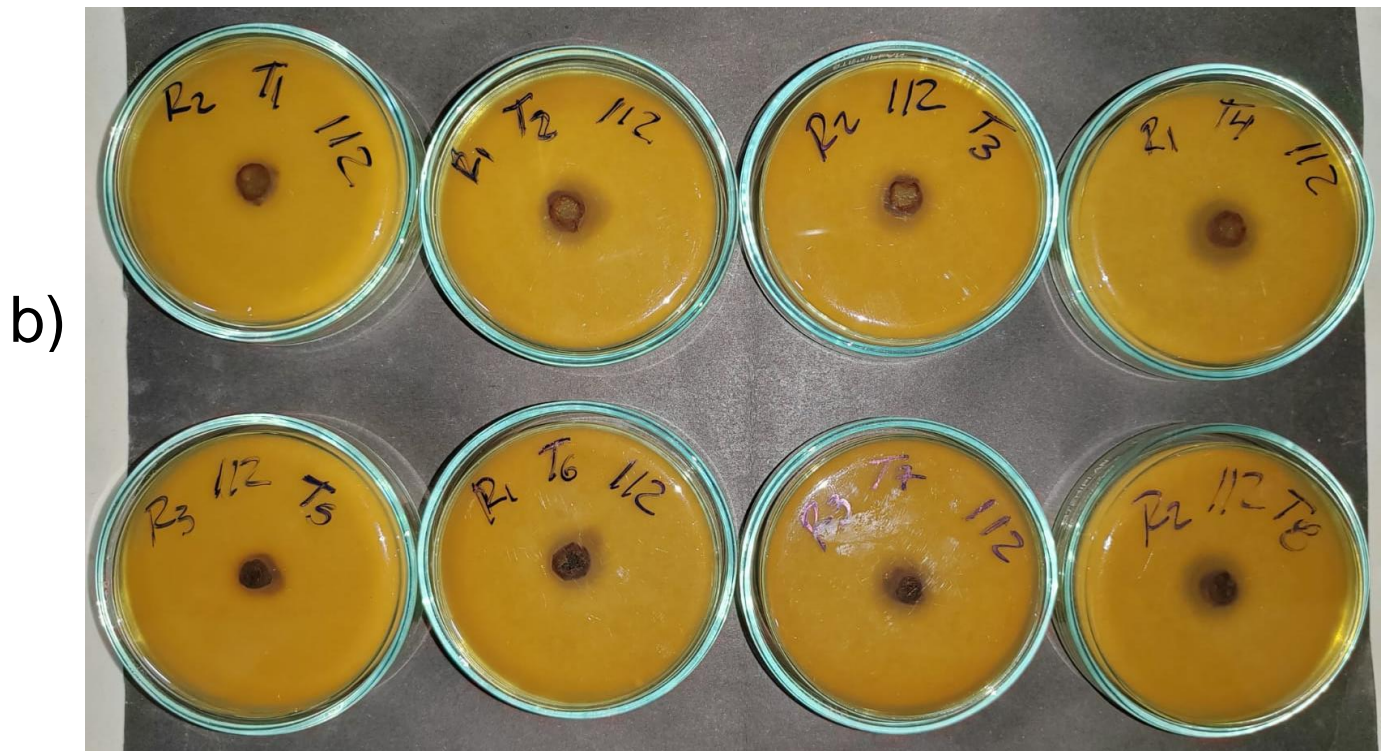
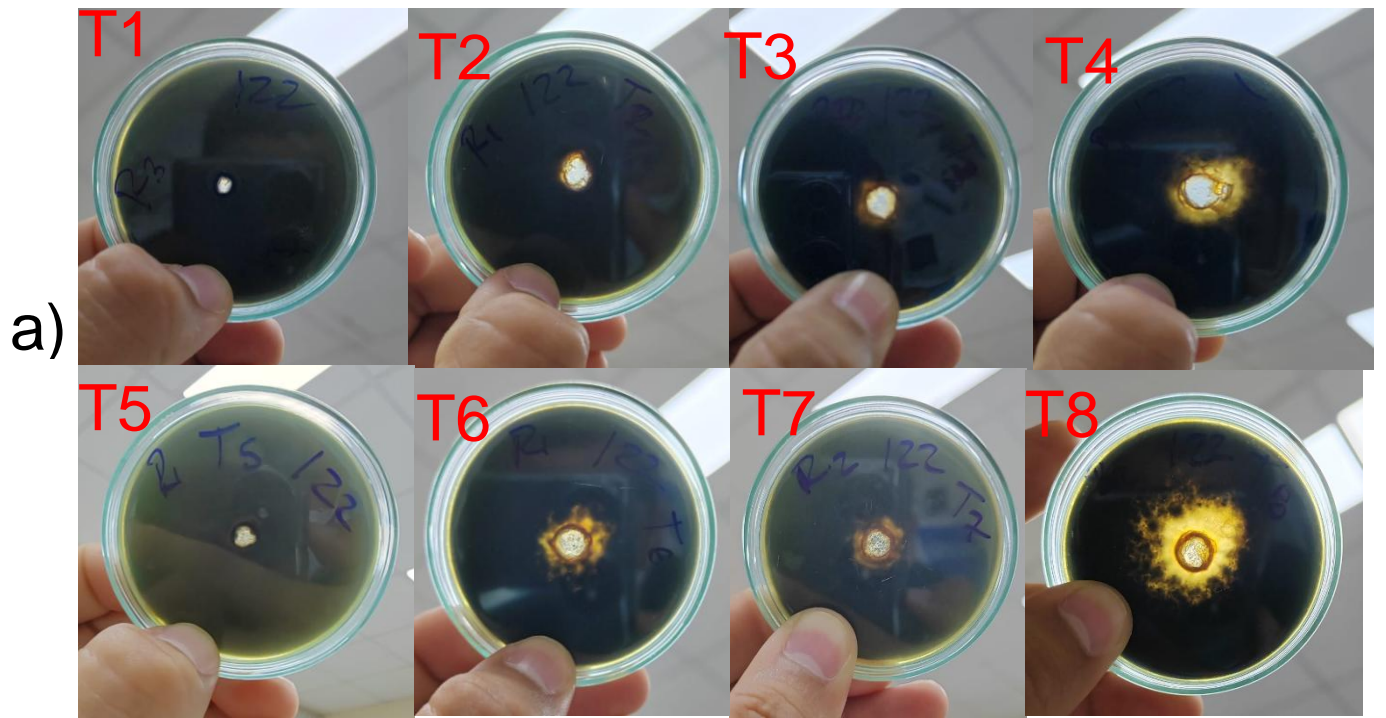


Foto 7.8. Evaluación de hongos Dia 5 a) *Alternaria alternata* b) *Fusarium oxysporum*

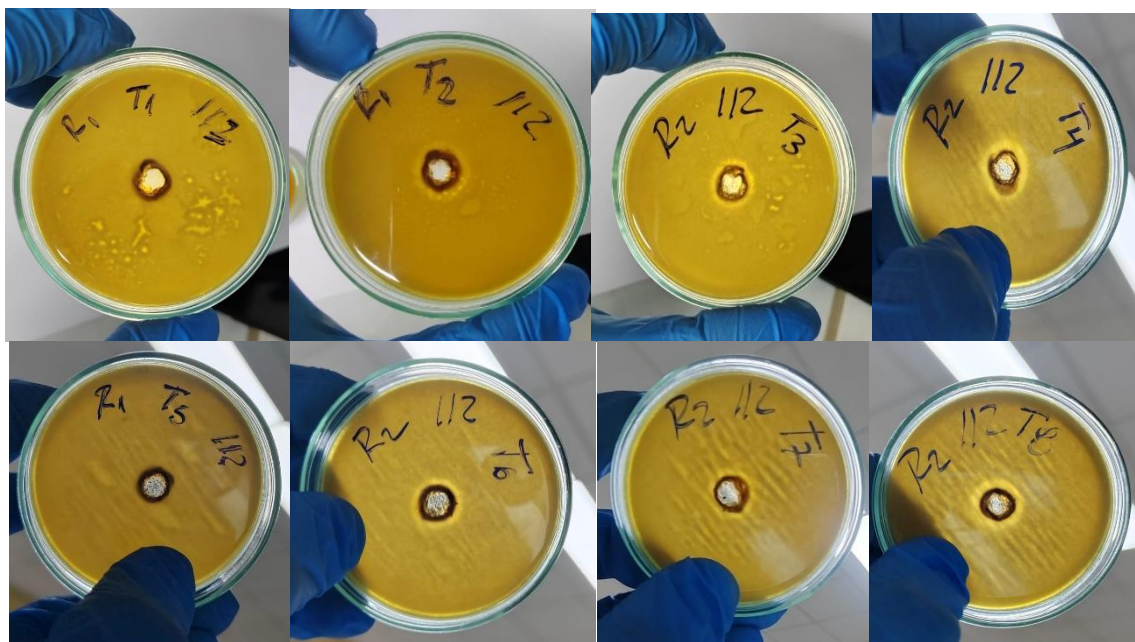
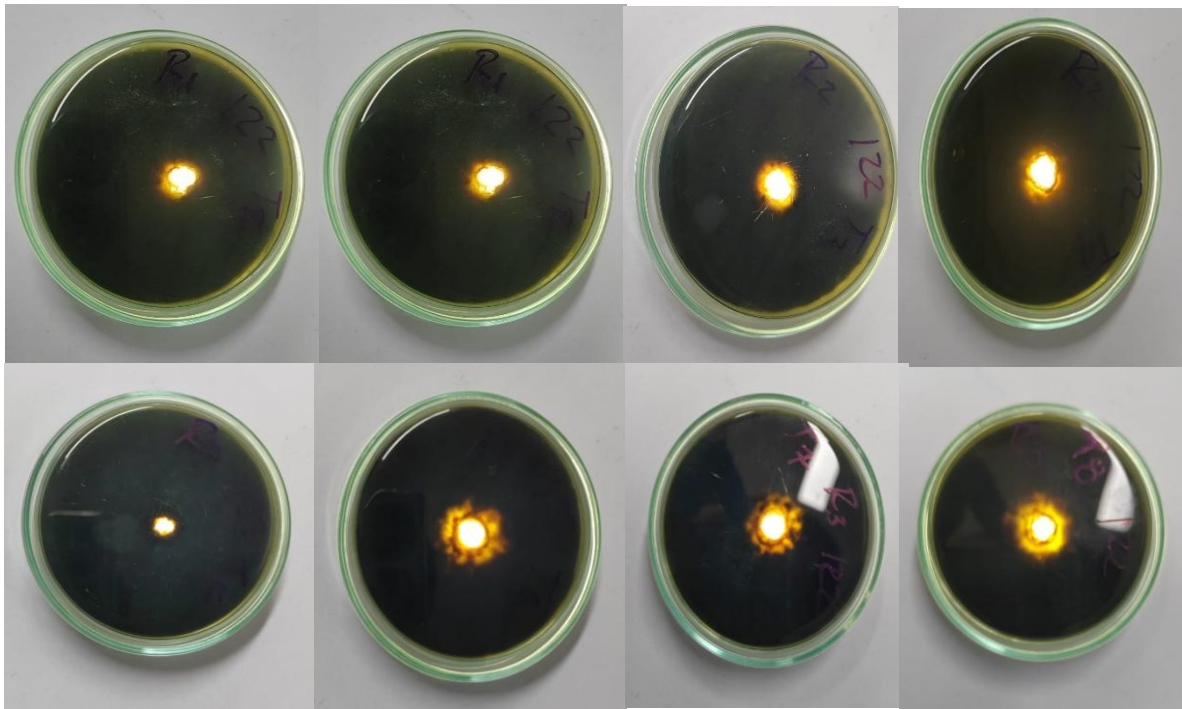


Foto 7.9. Evaluación de hongos Dia 7 a) *Alternaria alternata* b) *Fusarium oxysporum*