

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



**Compositos de quitosano funcionalizados con nanopartículas
de óxido de zinc contra bacterias aisladas de aguas residuales
del procesamiento de langostino**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Forestal Y Del Medio
Ambiente

Autor:

Bach. Jhoxer Wilder Guerra Moran

Tumbes, 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



Compositos de quitosano funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc contra bacterias aisladas de aguas residuales del procesamiento de langostino

Tesis aprobada en forma y en estilo por:

Dr. Eber L. Herrera Palacios (Presidente)

Mg. José A. Silva Chávez (Secretario)

Mg. Dorian Aguirre Campos (Vocal)

Tumbes, 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



Compositos de quitosano funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc contra bacterias aisladas de aguas residuales del procesamiento de langostino

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

Bach. Jhoxer Wilder Guerra Moran (Autor)

Dr. Gerardo J. F. Cruz Cerro (Asesor)

Ing. John Rimaycuna Ramírez (Co-asesor)

MSc. Rosa Liliana Solís Castro (Co-asesor)

Tumbes, 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE
CAMPUS UNIVERSITARIO S/N "LA CRUZ"
SECRETARIA ACADEMICA
TUMBES - PERU



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En Tumbes, a los Ocho (08) días del mes de marzo de dos mil veintidós, se reunieron de manera virtual, a través del siguiente enlace <https://zoom.us/j/95973451802?pwd=K21pSTMrNFIYZ2FXOVFKU0pmV0tNQTO9> los integrantes del jurado designados, según Resolución Decanal N°001-2020/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D (06-01-2020) y con Aprobación del Proyecto de Tesis, según Resolución Decanal N° 014-2021/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D (23-03-2021); con el objetivo de evaluar la sustentación de la tesis denominada: **"COMPOSITOS DE QUITOSANO FUNCIONALIZADOS CON NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC CONTRA BACTERIAS AISLADAS DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESAMIENTO DE LANGOSTINO"**, para optar el Título de Ingeniero Forestal y del Medio Ambiente. Cuyo asesor de la mencionada tesis es el **Dr. GERARDO JUAN FRANCISCO CRUZ CERRO**, y coasesores la **MSc. ROSA LILIANA SOLÍS CASTRO** y el **MSc. JOHN RIMAYCUNA RAMÍREZ**

A las dieciséis horas con 58 minutos y, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el presidente del jurado dio por iniciado el acto.

Luego de la exposición del trabajo, la formulación de preguntas y la deliberación del jurado lo declararon **APROBADO** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **MUY BUENO**

Por lo tanto, el Bachiller, **GUERRA MORAN JHOXER WILDER**, queda apto para que el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Tumbes, le expida el Título Profesional de Ingeniero Forestal y del Medio Ambiente de conformidad con lo estipulado en el Artículo 90 del Estatuto de la Universidad Nacional de Tumbes y a lo normado en el Reglamento de Grados y Títulos.

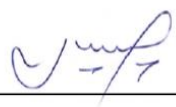
Siendo las **DICISIETE** horas con **CUARENTA Y CUATRO (44)** minutos, el presidente del jurado dio por concluido el presente acto académico y para mayor constancia de lo actuado firman en señal de conformidad todos los integrantes de este jurado, presentes en el acto de sustentación.



Dr. Eber L. Herrera Palacios
DNI N° 42450218
Presidente



Mg. José A. Silva Chávez
DNI N° 41013171
Secretario



Mg. Dorian Y. Aguirre Campos
DNI N° 40442207
Vocal

Dedicatoria

En primera instancia dedicar esta tesis a Dios por permitirme llegar hasta aquí hoy, por otorgarme salud para cumplir mis metas, aspiraciones y para ser un buen profesional.

Y sobre todo a familia por estar ahí siempre conmigo impulsándome y motivándome día tras día para no desfallecer en el camino.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Tumbes por permitirme hacer uso del Laboratorio de Análisis Ambiental (Facultad de Ciencias Agrarias) y el Laboratorio de Biología Molecular (Facultad Ciencias de la Salud).

Al proyecto canon “Nanopartículas y microencapsulados en base a quitosano para mejorar la efectividad de ARN interferente en recipientes de almacenamiento de agua con *Aedes aegypti*” financiado por la Universidad Nacional de Tumbes.

Agradecer al Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro, al Ing. Rimaycuna Ramirez John y a la M.Sc. Solís Castro Rosa Liliana por todo el asesoramiento brindado, y a sus experiencias, conocimientos proporcionados se logró culminar con éxito esta tesis de investigación.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCION.....	14
II.	ESTADO DEL ARTE	15
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	19
	3.1. Tipo de investigación.....	19
	3.2. Preparación de la solución de quitosano	19
	3.3. Síntesis de nanopartículas	19
	3.3.1. Método del sol gel	19
	3.3.2. Preparación de compositos funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (NPs-ZnO)	19
	3.4. Caracterización de los compositos funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (NPs-ZnO).....	20
	3.5. Flujograma del proceso de producción y aplicación de los composito	21
	3.6. Pruebas antimicrobianas	22
	3.6.1. Bacterias	22
	3.6.2. Preparación del inóculo método modificado de Kirby-Bauer .	22
	3.7. Análisis de resultados	23
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	24
	4.1. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) de las nanopartículas de quitosano de pota y compositos de quitosano funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (ZnO).	24
	4.1.1. FTIR de las nanopartículas de quitosano de pota (T0)	24
	4.1.2. FTIR del composito de quitosano con óxido de zinc (T1).....	25
	4.1.3. FTIR del composito de quitosano con óxido de zinc (T2).....	27
	4.1.4. FTIR del composito de quitosano con óxido de zinc (T3).....	28
	4.1.5. FTIR del composito de quitosano con óxido de zinc (T4).....	29
	4.2. Difracción de rayos X (XRD) de las nanopartículas de quitosano de pota y compositos funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (ZnO). 31	
	4.3. Análisis termogravimétrico (TGA).	34

4.3.1.	TGA del composito de quitosano con óxido de zinc (T0)	35
4.3.2.	TGA del composito de quitosano con óxido de zinc (T1)	36
4.3.3.	TGA del composito de quitosano con óxido de zinc (T2)	37
4.3.4.	TGA del composito de quitosano con óxido de zinc (T3)	38
4.3.5.	TGA del composito de quitosano con óxido de zinc (T4)	39
4.4.	Pruebas microbiológicas preliminares para la determinación de las dosis de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO).	40
4.4.1.	Dosis de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) de (30 mg, 60 mg, 90 mg, 120 mg, 150 mg y 200 mg).	40
4.5.	Pruebas de inhibición bacteriana de los compositos.	41
4.5.1.	Prueba de halo inhibición bacteriana de los compositos contra bacterias. 42	
V.	CONCLUSIONES.....	45
VI.	RECOMENDACIONES	46
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
VIII.	ANEXOS.....	57
8.1.	Panel fotográfico de las pruebas microbiológicas de las bacterias Gram Negativas	57
8.2.	Panel fotográfico de las pruebas microbiológicas de las bacterias Gram Positiva	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Codificación de las muestras en estudio.	23
Tabla 2. Intensidades FTIR (cm^{-1}) de los compositos a diferentes concentraciones.....	24
Tabla 3. Resultados del análisis termogravimétrico de las muestras preparadas	34
Tabla 4. Resultados de los diámetros promedios de las dosis de nanopartículas de óxido de zinc	40
Tabla 5. Lista de las bacterias empleadas en estudio	41
Tabla 6. Resultados de promedios de los diámetros en (mm) de los halos de inhibición de las bacterias Gram Negativas.	42
Tabla 7. Resultados de promedios de los diámetros en (mm) de los halos de inhibición de las bacterias Gram Positiva.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh)...	25
Figura 2. Estructura del composito de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T1 = PCh-ZnO(0.03g)).	26
Figura 3. Estructura del composito de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T2 = PCh-ZnO(0.06g)).	28
Figura 4. Estructura del composito de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T3 = PCh-ZnO(0.09g)).	29
Figura 5. Estructura del composito de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T4 = PCh-ZnO(0.12g)).	30
Figura 6. XRD de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh).....	32
Figura 7. XRD del composito de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T1 = PCh-ZnO(0.03g)).	32
Figura 8. XRD del composito de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T2 = PCh-ZnO(0.06g)).	32
Figura 9. XRD del composito de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T3 = PCh-ZnO(0.09g)).	33
Figura 10. XRD del composito de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T4 = PCh-ZnO(0.12g)).	33
Figura 11. TGA de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh).....	35
Figura 12. TGA del composito de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T1 = PCh-ZnO(0.03g)).	36
Figura 13. TGA del composito de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T2 = PCh-ZnO(0.06g)).	37
Figura 14. TGA del composito de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T3 = PCh-ZnO(0.09g)).	38
Figura 15. TGA del composito de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T4 = PCh-ZnO(0.12g)).	39
Figura 16. Dosis de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) de: a) 30 mg NPs- ZnO, b) 60 mg NPs-ZnO, c) 90 mg NPs-ZnO, d) 120 mg NPs-ZnO, e) 150 mg NPs-ZnO, f) 180 mg NPs-ZnO.	41
Figura 17. Pruebas microbiológicas de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh) y compositos: (T1) PCH-ZnO(0,03g), (T2) PCH-ZnO(0,06g),	

(T3) PCH-ZnO(0,09g) y (T4) PCH-ZnO(0,12g) contra (<i>Escherichia coli</i> strain ASE42) -DS21.....	57
Figura 18. Pruebas microbiológicas de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh) y compositos: (T1) PCH-ZnO(0,03g), (T2) PCH-ZnO(0,06g), (T3) PCH-ZnO(0,09g) y (T4) PCH-ZnO(0,12g) contra (<i>Citrobacter freundii</i>) – 15-AR.....	57
Figura 19. Pruebas microbiológicas de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh) y compositos: (T1) PCh-ZnO(0,03g), (T2) PCh-ZnO(0,06g), (T3) PCh-ZnO(0,09g) y (T4) PCh-ZnO(0,12g) contra (<i>Citrobacter freundii</i>) – 15-AR.	58
Figura 20. Pruebas microbiológicas de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh) y compositos: (T1) PCH-ZnO(0,03g), (T2) PCH-ZnO(0,06g), (T3) PCH-ZnO(0,09g) y (T4) PCH-ZnO(0,12g) contra (<i>Proteus vulgaris</i>) - 09-AGUA.	58
Figura 21. Pruebas microbiológicas de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh) y compositos: (T1) PCH-ZnO(0,03g), (T2) PCH-ZnO(0,06g), (T3) PCH-ZnO(0,09g) y (T4) PCH-ZnO(0,12g) contra (<i>Bacillus firmus</i> strain SML_M40) – DS-29.....	59

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la capacidad de inhibición de bacterias procedentes de las aguas residuales del procesamiento de langostino empleando compositos de quitosano funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (ZnO). Los compositos se elaboraron en el laboratorio de análisis ambiental de la universidad nacional de Tumbes.

Se caracterizaron los compositos obteniendo resultados de Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) que evidencian la presencia leve de la funcionalidad del quitosano-ZnO en sus bandas; la difracción de rayos X (XRD) demostró picos característicos de la estructura amorfa de los compositos elaborados y el análisis termogravimétrico (TGA) demostró que al aumentar las cantidades de NPs-ZnO el porcentaje de masa residual aumenta.

Se realizaron pruebas antimicrobianas donde se demostró una capacidad de inhibición en bacterias Gram positivas donde los compositos más eficientes fueron T1 = (PCh-ZnO(0,03g) y T2 = (PCh-ZnO(0,06g) obteniendo halos de inhibición promedio de 2,7 mm, a diferencia de las bacterias Gram negativas presentaron resistencia hacia el efecto antimicrobiano de los compositos funcionalizados con NPs-ZnO. Además, se demostró que el quitosano por sí solo no presentó ninguna capacidad antimicrobiana.

Palabras claves: Quitosano, óxido de Zinc, bacterias, capacidad de inhibición.

Abstract

The objective of this research was to determine the inhibition capacity of bacteria from shrimp processing wastewater using functionalized chitosan compounds with zinc oxide (ZnO) nanoparticles. The composites were made in the environmental analysis laboratory of the National University of Tumbes.

The composites were characterized, obtaining Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) results that show the slight presence of chitosan-ZnO functionality in their bands; X-ray diffraction (XRD) showed characteristic peaks of the amorphous structure of the elaborated composites and thermogravimetric analysis (TGA) showed that increasing the amounts of NPs-ZnO increases the percentage of residual mass.

Antimicrobial tests were carried out where an inhibition capacity was demonstrated in Gram positive bacteria where the most efficient compounds were T1 = (PCh-ZnO(0.03g) and T2 = (PCh-ZnO(0.06g) obtaining average inhibition halos of 2.7 mm, unlike Gram-negative bacteria, showed resistance to the antimicrobial effect of the functionalized composites with NPs-ZnO Furthermore, it was shown that chitosan by itself did not show any antimicrobial capacity.

Keywords: Chitosan, Zinc oxide, bacteria, antimicrobial inhibition capacity.

I. INTRODUCCION

Globalmente las industrias de procesamiento de langostino presentan un rápido crecimiento en los últimos años debido al incremento de su demanda (Bostock et al., 2010; Kannan et al., 2017), generándose una enorme cantidad de desechos (sólidos y líquidos) siendo un gran motivo de preocupación (Kannan et al., 2017), estas sustancias se encuentran cargadas de contaminantes procedentes de distintas actividades como “agricultura” (Bermejo & Cruz, 2007), “cultivo de langostino” (PÁez-Osuna, 2001; Saldarriaga, 2007), “minería y la industria pesquera, también del servicio domiciliario y vivienda de los pobladores de la región” (Rodríguez-valencia et al., 2010).

Generalmente estos efluentes se descargan directamente sin tratamiento a los ecosistemas acuáticos, provocando daños no solo a la flora y fauna, también generando focos infecciosos de enfermedades (Arias-hoyos et al., 2017; Cardoso-Mohedano et al., 2016), constantemente el mar Tumbesino acoge descargas de efluentes “del río Tumbes, río Zarumilla, y en épocas del fenómeno El Niño, de las quebradas de Puyango, Corrales, Bocapán, entre otras” (Morán & Hidalgo, 2016).

En las aguas residuales del procesamiento de langostino se han logrado identificar bacterias como *Aeromonas spp.*, *Citrobacter spp.*, *Flavobacterium spp.*, etc, (Akinbowale et al., 2006; Ríos-Tobón et al., 2017), perjudiciales para la salud humana en tal sentido se propone realizar la presente investigación dada la situación actual de las aguas residuales procedentes de la planta de procesamiento de langostino en Tumbes con el fin de inhibir las bacterias existentes en las aguas residuales de dicho proceso y también mejorando su calidad para disponerla en cuerpos de aguas receptores empleando Compositos de quitosano funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (NPs-ZnO).

II. ESTADO DEL ARTE

El quitosano es un polisacárido lineal (poli- (b-1/4) -2-amino-2-desoxi-D-glucosa) obtenido de la desacetilación de la quitina (Jahangeer et al., 2019; Rinaudo, 2006). Ha ganado gran importancia por su no toxicidad, biocompatibilidad, biodegradabilidad y propiedades antioxidantes (Jahangeer et al., 2019). Se puede procesar y utilizar en muchas formas, como gel, cápsula, micro y nanopartículas, y también se puede aplicar como aditivo en las industrias farmacéutica, alimentaria, agrícola, textil y cosmética (Rinaudo, 2006). Además, se ha confirmado que el quitosano tiene propiedades antimicrobianas hacia un amplio espectro de bacterias Gram-positivas y Gram-negativas (Helander et al., 2001; Ravi Kumar, 2000; Sarwar et al., 2014).

Hoy en día, el desarrollo de nanomateriales y nanocompuestos basados en quitosano es de gran alcance para explotar las propiedades únicas de los nano adsorbentes para fines de purificación de agua (Kalia & Avérous, 2011; Li et al., 2008; Liu et al., 2013; Mahgoub & Samaras, 2014; Perera & Rajapakse, 2014; Sharma et al., 2009; Vakili et al., 2014). El quitosano en forma de partículas a nanoescala (nanopartículas de quitosano) ha ganado atracción como un nuevo agente antibacteriano, que se atribuye en parte a su alta superficie y densidad de carga (Hajipour et al., 2012; Whitesides, 2005). Estudios anteriores han demostrado que la propiedad antibacteriana de las nanopartículas de quitosano en términos de su concentración inhibitoria mínima contra bacterias Gram negativas varía de menos de 1 a 120 µg/ml (Du et al., 2008; Katas et al., 2011; Qi et al., 2004b; Sarwar et al., 2014). Para las bacterias Gram-positivas, la concentración inhibitoria mínima varía de 0,1 a 15 µg/ml (Chen et al., 2010; Katas et al., 2011; Sarwar et al., 2014). El valor de la concentración mínima inhibitoria de las nanopartículas de quitosano depende de varios factores, como el tamaño de partícula y la potencial zeta, la cepa bacteriana probada y el pH del entorno de prueba (Sarwar et al., 2014).

Las nanopartículas de quitosano se pueden preparar a través de una variedad de métodos de micro-emulsión, coalescencia de gotas de emulsión, extracción de solvente de emulsión y auto ensamblaje de

quitosano modificado hidrofóbicamente (Peniche & Peniche, 2011). ZnO se describe como un material inorgánico funcional, estratégico, promotor y versátil con una amplia gama de aplicaciones. Se conoce como semiconductor (Neumark et al., 2006) ya que Zn y O se clasifican en los grupos dos y seis en la tabla periódica, respectivamente. ZnO posee propiedades ópticas, de detección química, semiconductoras, de conductividad eléctrica y piezoeléctricas (Fan & Lu, 2005). Las propiedades intrínsecas de los NP metálicos como el óxido de zinc (ZnO), TiO₂ y plata se caracterizan principalmente por su tamaño, composición, cristalinidad y morfología. Reducir el tamaño a nanoescala puede modificar sus propiedades químicas, mecánicas, eléctricas, estructurales, morfológicas y ópticas. Estas características modificadas permiten que las NP interactúen de una manera única con las biomoléculas celulares y, por lo tanto, facilitan la transferencia física de las NP a las estructuras celulares internas (Rasmussen et al., 2010).

Existen diferentes estudios donde se obtuvieron nanopartículas de quitosano para activarlo con ácido pentasódico (DTPA) y acoplarlo al cloruro de gadolinio (GaCl). Por ello, la investigación se enfocó en la influencia del pH y de la relación quitosano/tripolifosfato pentasódico (Q/sTPP). Aplicando el método de gelación iónica. Obteniendo resultados de la dispersión de luz dinámica (DLS) donde revelaron que los diámetros promedios de las nanopartículas aumentan conforme disminuye la relación Q/sTPP y aumentan el diámetro promedio conforme el sTPP aumenta. Cuando el pH aumenta el diámetro promedio también (Cruz & Aquiles, 2019). Así mismo De & Humana (2019) desarrollaron “un material a base de nanopartículas de hierro cerovalente y quitosano, capaz de remover cadmio de soluciones acuosas. Se obtiene siguiendo el método de reducción de Fe⁺³ a Fe⁰ sobre un gel de quitosano con un agente fuertemente reductor. Los resultados indican que la mayor adsorción se logra con 0,100 g del material adsorbente a pH 6 y con 4 horas de agitación”. También Barros et al. (2016) produjeron nanopartículas de quitosano modificadas con alginato de sodio (QA) siendo sintetizadas por el método de gelación iónica. En los resultados se observó una capacidad

de encapsulamiento del 52 % y valores de autonomía de la molécula trazadora del 36 % (pH 7,4) y 46 % (pH 1,2), proponiendo así el potencial de estas nanopartículas para estudios biomédicos.

Herrera et al. (2017) sintetizaron nanopartículas de ácido poliláctico cargadas con ofloxacina y vancomicina, y determinar su actividad antibacteriana frente a *Escherichia coli* O157:H7 y *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (SARM). Las nanopartículas se obtuvieron utilizando el método de emulsión y evaporación de solvente. Se obtuvieron nanopartículas poliméricas con tamaños menores a 379 nm y carga superficial positiva de hasta 21 mV. Las nanopartículas cargadas con ofloxacina revelaron una concentración inhibitoria mínima (CIM50) de 0,001 µg/ml frente a *E. coli* O157:H7, valor 40 veces menor que la concentración de antibiótico libre necesaria para lograr el mismo efecto (CIM50=0,04 µg/ml). Para SARM, las nanopartículas mejoraron la potencia farmacológica in vitro de la vancomicina al exhibir una MIC50 de 0,005 µg/ml, comparada con la de 0,5 µg/ml del antibiótico libre. Morón Atencio (2018) determinó la actividad antifúngica de nanopartículas poliméricas de quitosano cargadas con el donador de NO, el ácido s-nitrosomercaptosuccínico (MSA-NO) sobre las cepas clínicas *Candida albicans* y *Candida glabrata*. Para la síntesis de nanopartículas se empleó el método de gelación ionotrópica, obteniendo resultados en relación a la actividad antifúngica, los datos obtenidos del CMI de las cepas clínicas *Candida glabrata* y *Candida albicans* fueron 0,28 mg/mL y 2,25 mg/mL, respectivamente. Así mismo (Yusof et al., 2019) en su investigación tuvo como objetivo determinar la actividad antibacteriana de las nanopartículas de ZnO contra la bacteria Gram-positiva *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) y la bacteria Gram-negativa *Escherichia coli* (*E. coli*). Las nanopartículas de ZnO se sintetizaron con éxito mediante calentamiento por microondas utilizando quitosano como agente estabilizador y se caracterizaron por UV-vis, FTIR, XRD y FESEM-EDX. Los datos obtenidos demostraron que existen inhibición por parte de las nanopartículas de ZnO de 16 y 13 nm contra *S. aureus* y *E. coli* respectivamente. Donde las bacterias

gramnegativas son más resistentes en comparación a las bacterias grampositivas.

En la investigación de Madhan et al. (2021) se sintetizó un nanocompuesto de quitosano/óxido de zinc (CS/ZnO) usando *Sida acuta* y se evaluaron sus propiedades antibacterianas y fotocatalíticas. El material se caracterizó mediante la espectroscopia UV-visible, XRD, FE-SEM y TEM. Obteniendo como resultado que el nanomaterial CS/ZnO demostró una notable inhibición bacteriana contra *B. subtilis* y *E. coli* con una zona de inhibición de $22 \pm 0,3$ y $16,5 \pm 0,5$ mm. La presente investigación de Zhang et al. (2021) tuvo como objetivo elaborar películas compuestas de quitosano incorporando diferentes tamaños de partículas de óxido de zinc de 5 μ m, 100 nm y 50 nm. El material se caracterizó mediante microscopía electrónica de barrido, difracción de rayos X, espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier y análisis mecánico. Obteniendo como resultado que la película que contenía 0,3 % de partículas de óxido de zinc de 50 nm mostró la mejor tasa de inhibición, lo que sugiere que los tamaños más pequeños de partículas de nano-ZnO tienen una mejor actividad bacteriostática y una potente aplicación como ingrediente aditivo antibacteriano. También en el estudio de Nguyen et al. (2021) las NP de ZnO se obtuvieron mediante un proceso ecológico utilizando extracto de piel de naranja como agente reductor. Los nanocompuestos de CS/ZnO se obtuvieron químicamente con diferentes proporciones en peso de CS/ZnO. Obteniendo como resultado una fuerte actividad antimicrobiana frente a bacterias Gram-negativas (*Escherichia coli*) y bacterias Gram-positivas (*Staphylococcus aureus*) en ausencia de luz ultravioleta en todas las relaciones CS/ZnO investigadas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es del tipo aplicada y se ajusta a un diseño de investigación de carácter experimental con el propósito de resolver la problemática respecto a las bacterias de las aguas residuales de la planta de procesamiento de langostino.

3.2. Preparación de la solución de quitosano

Se preparó una solución de ácido acético CH_3COOH al 2 % v/v. Seguidamente se pesó 15 g de quitosano y se disolvió en la solución de ácido acético sometiéndolo a agitación constante con una temperatura de 50 °C hasta formar una solución viscosa.

3.3. Síntesis de nanopartículas

3.3.1. Método del sol gel

Para la síntesis de nanopartículas de óxido de zinc se utilizó como agente precursor nitrato de zinc $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ e hidróxido de sodio en solución en proporción de 1:1 (v/v). Se preparó soluciones de hidróxido de sodio NaOH y nitrato de zinc $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ en concentración de 0,5 M. Luego se colocó la solución de hidróxido de sodio NaOH en agitación constante hasta alcanzar una temperatura de 60 °C, donde se comenzó con la titulación del nitrato de zinc $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$. Se somete a homogenización constante por 30 min con una temperatura de 80 °C. Luego se decantó y se eliminó el sobrenadante y se colocó en estufa por 18 h a una temperatura de 70 °C.

3.3.2. Preparación de compositos funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (NPs-ZnO)

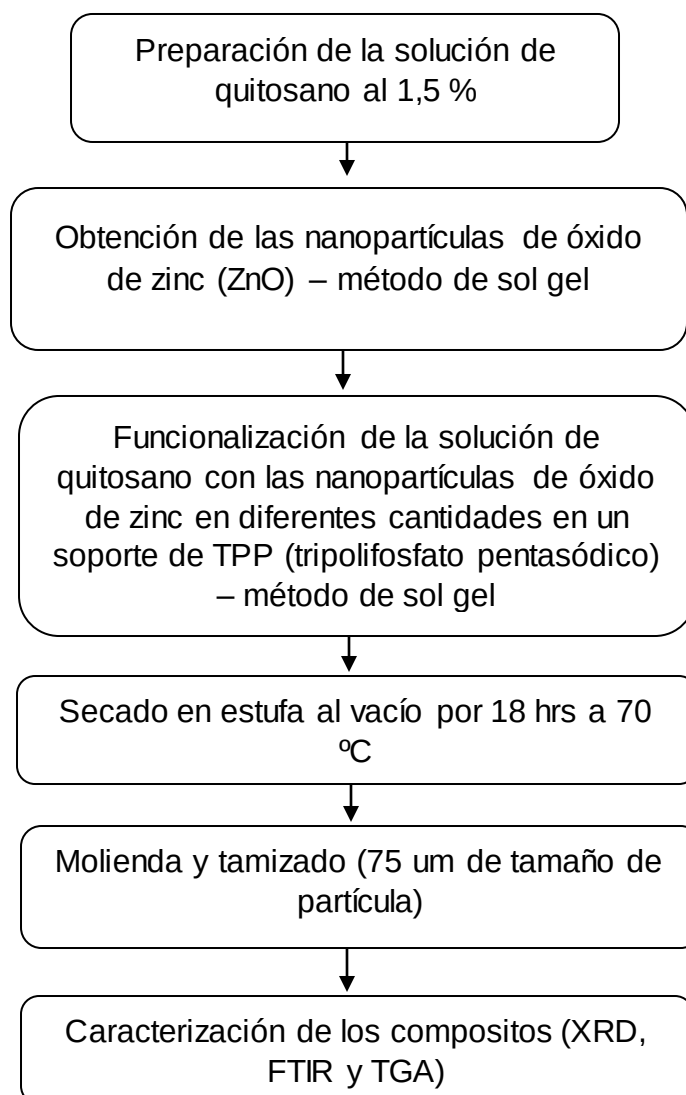
Las concentraciones de las NPs-ZnO fueron de 0; 0,03; 0,06; 0,09; 0,12 g (m/v), los pesos de las concentraciones fueron vertidas en la solución de quitosano. Según Çınar et al. (2017). Para la preparación de compositos de quitosano funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (NPs-

ZnO), se preparó una solución de quitosano al 1,5 % v/v, y una solución de TPP (tripolifosfato pentasódico) al 1,5 % m/v. Se midió 60 ml de la solución de quitosano y se sometió a agitación constante por el periodo de 5 h, después se procede a titular con la solución de TPP (tripolifosfato pentasódico). Finalmente se somete a homogenización constante por 12 h. después de la homogenización se lavó con abundante agua destilada, retirando el sobrenadante para someterlo en estufa a 70 °C por 15 hrs.

3.4. Caracterización de los compositos funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (NPs-ZnO)

Según la metodología de Çınar et al. (2017) El análisis infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) se realizó en un escaneo BX de espectro de Perkin Elmer de 4000 a 400 cm^{-1} a temperatura ambiente. Se realizaron experimentos TG / DTA simultáneos en un STA 449C Jupiter (Netzsch) en condiciones experimentales constantes para todas las muestras: templado a 30 ° C durante 30 min, calentamiento de 30 ° C a 800 ° C a una velocidad de 5 ° C min⁻¹, los datos obtenidos se evaluaron utilizando el software Netzsch Proteus, Thermal Analysis 6.1.0. Los patrones de difracción de rayos X (XRD) de los compositos se registraron con un Difractómetro Rigaku SmartLab con un Rango de medición - 5 - 90 ° 2theta.

3.5. Flujograma del proceso de producción y aplicación de los compositos



3.6. Pruebas antimicrobianas

3.6.1. Bacterias

Para las pruebas antimicrobianas se usaron bacterias aisladas de aguas residuales de la planta de procesamiento de langostino. Estas bacterias se extrajeron e identificaron dentro del proyecto “Servicio de aislamiento, reconocimiento de bacterias residuales de procesamiento de langostino con propiedades descomponedores de materia orgánica” mediante secuenciamiento utilizando el gen 16S RNA. Fueron seleccionadas 5 cepas bacterianas, denominadas: *Escherichia coli strain ASE42*, *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus firmus strain SML_M40* y *Proteus vulgaris*.

3.6.2. Preparación del inóculo método modificado de Kirby-Bauer

El método de Kirby-Bauer se modificó con el propósito de establecer una distribución homogénea de compositos en un área circular (Román et al., 2016). Se reactivaron las cepas bacterianas en Trypticase Soy Broth (TSB) alicuotado en micro tubos estériles hasta lograr alcanzar una turbidez óptica, luego de alcanzar la turbidez óptica se procede a centrifugar por 15 min, se retira el sobrenadante del pelex y se diluye en 3 ml de una solución salina para luego medir su absorbancia en el espectrofotómetro UV- Vis. Las pruebas antimicrobianas se realizarán en placas Petri con Trypti Soy Agar (TSA) donde las bacterias se esparcirán con un hisopo estéril para una mejor distribución por toda la placa para así colocar en el centro 0,08 g de compositos de quitosano funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc con ayuda de un cilindro de plástico estéril (diámetro interno 15 mm). Posteriormente se retira el cilindro, invirtiendo la placa y colocándola a incubación de 24 a 37 °C. Se realizarán 4

tratamientos y por cada tratamiento se realizarán 3 repeticiones por cada cepa bacteriana en estudio.

3.7. Análisis de resultados

Para el análisis de datos se midieron los halos de inhibición de cada uno de los compositos en estudio para determinar su efectividad. Teniendo en cuenta 5 tratamientos (T0, T1, T2, T3, T4) que vendrían a ser las concentraciones de los compositos de quitosano funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc, cada uno de dichos tratamientos se someterá a pruebas con 5 cepas bacterianas (Bac. 1 = *Escherichia coli* strain ASE42, Bac. 2 = *Citrobacter freundii*, Bac. 3 = *Klebsiella pneumoniae*, Bac. 4 = *Bacillus firmus* strain SML_M40 y Bac. 5 = *Proteus vulgaris*) y por cada cepa se realizaron 3 repeticiones.

Donde:

Tabla 1. Codificación de las muestras en estudio.

ÍTEM	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
T0	PCh	QUITOSANO DE POTA
T1	PCh-ZnO 0,03 g	QUITOSANO DE POTA + ZnO (0,03 g)
T2	PCh-ZnO 0,06 g	QUITOSANO DE POTA + ZnO (0,06 g)
T3	PCh-ZnO 0,09 g	QUITOSANO DE POTA + ZnO (0,09 g)
T4	PCh-ZnO 0,12 g	QUITOSANO DE POTA + ZnO (0,12 g)

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) de las nanopartículas de quitosano de pota y compositos de quitosano funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (ZnO).

Se muestran los números de onda de cada una de las bandas de espectroscopia infrarroja de las nanopartículas de quitosano y los compositos de quitosano funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (ZnO), donde se aprecia que la variación mínima de los números de onda altos hacia números de onda menores demuestra la interacción mínima u débil de enlaces en la síntesis de nanopartículas de quitosano (Choudhary, Kumari, et al., 2019; Saharan et al., 2013).

Tabla 2. Intensidades FTIR (cm^{-1}) de los compositos a diferentes concentraciones.

T0	T1	T2	T3	T4	GRUPO FUNCIONAL
3345	3339	3343	3341	3158	Vibración de tensión -OH, -NH ₂
2926	2934	2940	2936	2930	Estiramiento asimétrico CH ₃
2877	2885	2876	2877	2877	Estiramiento asimétrico CH ₂
1629	1625	1624	1627	1625	Grupo amida I (CONH ₂)
1535	1534	1535	1535	1535	Funcionalidad del grupo amida II (NH ₂)
1420	1420	1420	1420	1420	Vibración de deformación (CH)
1322	1321	1320	1320	1320	Estiramiento (CN) amida II
1258	1250	1252	1254	1256	Estiramiento (COC)
1031	1026	1023	1058	1054	Estiramiento (C-O-C)
968	-	-	-	-	Estiramiento C-O del alcohol primario (-C-OH)
898	898	901	898	896	Tensión C-H de los grupos anoméricos
-	508	512	516	518	Formación de PCH-ZnO

4.1.1. FTIR de las nanopartículas de quitosano de pota (T0)

La banda de la **Figura 1.** presenta un pico de 3345 cm^{-1} se encuentra dentro del rango que corresponde a los picos combinados de las vibraciones de estiramiento del grupo NH₂ y OH en el quitosano y las nanopartículas de quitosano (Deshpande et al., 2017). Los picos en $2926 \text{ y } 2877 \text{ cm}^{-1}$ corresponden al estiramiento asimétrico de CH₃ y CH₂ (Ali et

al., 2018; Balde et al., 2020). Los picos en 1629 cm^{-1} y 1535 cm^{-1} corresponde al grupo amida I ($-\text{CONH}_2$) y a la funcionalidad amida II (NH_2) en el polímero de quitosano (Qi et al., 2004a; Wijesena et al., 2015). El pico en 1420 cm^{-1} se presentan (vibraciones de deformación de CH) (Zegarra Urquia, 2015). El pico 1322 cm^{-1} se atribuye al (estiramiento de CN en amida II) (Balde et al., 2020). El pico en 1258 cm^{-1} corresponde al estiramiento de COC (Ilk et al., 2017). El pico en 1031 cm^{-1} se atribuye al (estiramiento $\text{C}-\text{O}-\text{C}$) (Balde et al., 2020). En el pico 968 cm^{-1} se atribuye al estiramiento C-O del alcohol primario ($-\text{C-OH}$) (Zegarra Urquia, 2015). El pico a 898 cm^{-1} se le atribuye (tensión C-H de los grupos anoméricos) (Valenzuela Chamorro, 2006).

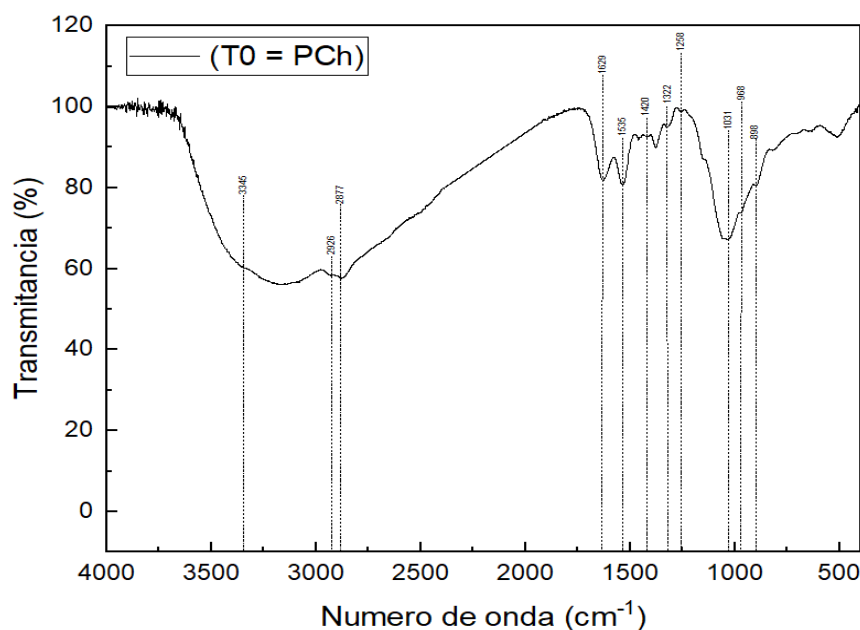


Figura 1. Estructura de las nanopartículas de quitosano de pota ($\text{T0} = \text{PCh}$).

4.1.2. FTIR del compuesto de quitosano con óxido de zinc (T1)

Los picos que se muestran en la banda sufrieron modificaciones en comparación a la banda de la **Figura 1**. esto demuestra una leve interacción entre el grupo amino del quitosano, ion metálico (zinc) (Deshpande et al., 2017). En la banda de la **Figura 2**. el pico en 3339 cm^{-1} corresponde a los picos combinados de las vibraciones de estiramiento del

grupo NH_2 y OH (Deshpande et al., 2017). Los picos en 2934 y 2885 cm^{-1} , corresponden al estiramiento asimétrico de CH_3 y CH_2 (Deshpande et al., 2017). Los picos en 1625 y 1534 cm^{-1} corresponde al grupo amida I ($-\text{CONH}_2$) y a la funcionalidad amida II (NH_2) (Deshpande et al., 2017). El pico en 1420 cm^{-1} se presentan (vibraciones de deformación de CH) (Zegarra Urquia, 2015). El pico en El pico 1321 cm^{-1} se atribuye al (estiramiento de CN en amida II) (Choudhary, Kumaraswamy, et al., 2019; Choudhary, Kumari, et al., 2019). El pico en 1250 cm^{-1} corresponde al estiramiento de (COC) (Choudhary, Kumaraswamy, et al., 2019). El pico en 1026 cm^{-1} se atribuye al (estiramiento $\text{C} - \text{O} - \text{C}$) (Choudhary, Kumaraswamy, et al., 2019). El pico a 898 cm^{-1} se le atribuye (tensión C-H de los grupos anoméricos) (Valenzuela Chamorro, 2006). Aparece un débil pico en 508 cm^{-1} atribuyéndosele a la débil interacción del quitosano y ZnO (Haldorai & Shim, 2013; Mujeeb Rahman et al., 2018; Prokhorov et al., 2020).

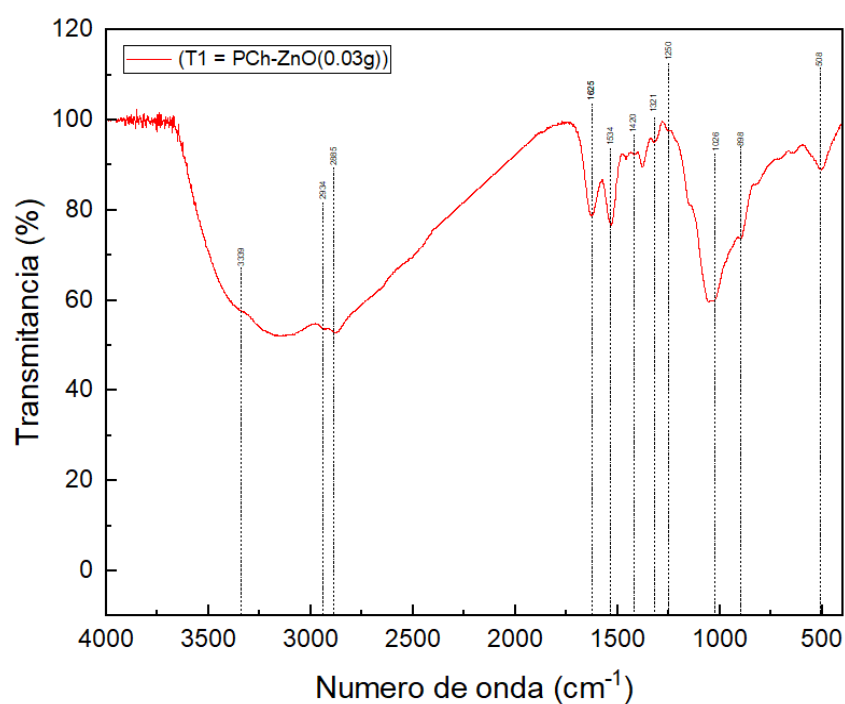


Figura 2. Estructura del compuesto de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T1 = PCh-ZnO(0.03g)).

4.1.3. FTIR del compuesto de quitosano con óxido de zinc (T2)

Los picos que se muestran en la banda sufrieron modificaciones en comparación a la banda **Figura 1**. esto demuestra una leve interacción entre el grupo amino del quitosano, ion metálico (zinc) (Deshpande et al., 2017). En la banda de la **Figura 3**. el pico en 3343 cm^{-1} corresponde a los picos combinados de las vibraciones de estiramiento del grupo NH_2 y OH (Deshpande et al., 2017). Los picos en 2940 y 2876 cm^{-1} , corresponden al estiramiento asimétrico de CH_3 y CH_2 (Deshpande et al., 2017). Los picos en 1624 y 1535 cm^{-1} corresponde al grupo amida I ($-\text{CONH}_2$) y a la funcionalidad amida II (NH_2) (Deshpande et al., 2017). El pico en 1420 cm^{-1} se presentan (vibraciones de deformación de CH) (Zegarra Urquia, 2015). El pico en El pico 1320 cm^{-1} se atribuye al (estiramiento de CN en amida II) (Choudhary, Kumaraswamy, et al., 2019; Choudhary, Kumari, et al., 2019). El pico en 1252 cm^{-1} corresponde al estiramiento de (COC) (Choudhary, Kumaraswamy, et al., 2019). El pico en 1023 cm^{-1} se atribuye al (estiramiento $\text{C} - \text{O} - \text{C}$) (Choudhary, Kumaraswamy, et al., 2019). El pico a 901 cm^{-1} se le atribuye (tensión C-H de los grupos anoméricos) (Valenzuela Chamorro, 2006). Aparece un pico menos intenso en 512 cm^{-1} atribuyéndosele a la débil interacción del quitosano y ZnO a medida que aumentan las cantidades de ZnO sufren modificación de ensanchamiento (Haldorai & Shim, 2013; Mujeeb Rahman et al., 2018; Prokhorov et al., 2020).

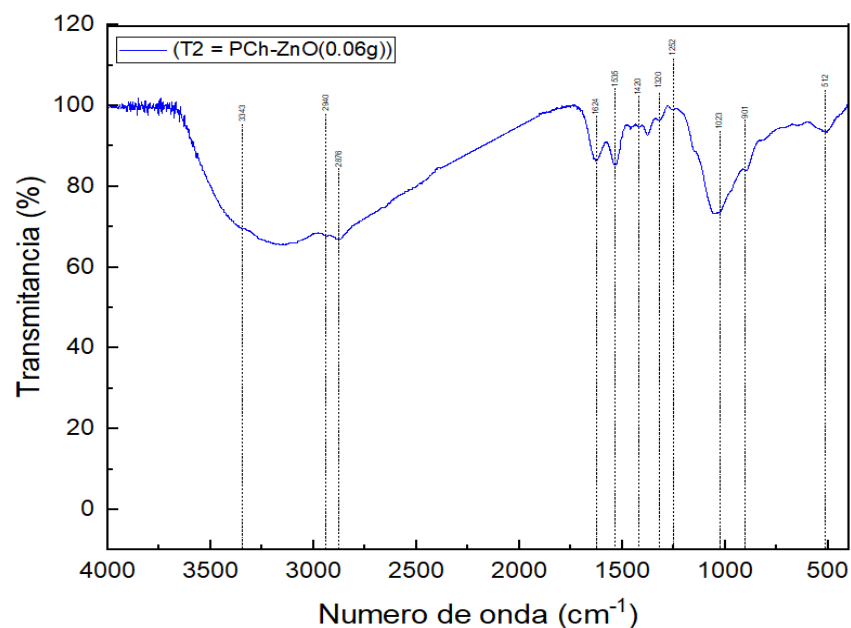


Figura 3. Estructura del compuesto de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T2 = PCh-ZnO(0.06g)).

4.1.4. FTIR del compuesto de quitosano con óxido de zinc (T3)

Los picos que se muestran en la banda sufrieron modificaciones en comparación a la banda de la **Figura 1**. esto demuestra una leve interacción entre el grupo amino del quitosano, ion metálico (zinc) (Deshpande et al., 2017). En la banda de la **Figura 4**. el pico en 3341 cm^{-1} corresponde a los picos combinados de las vibraciones de estiramiento del grupo NH_2 y OH (Deshpande et al., 2017). Los picos en 2936 y 2877 cm^{-1} , corresponden al estiramiento asimétrico de CH_3 y CH_2 (Deshpande et al., 2017). Los picos en 1627 y 1535 cm^{-1} corresponde al grupo amida I ($-\text{CONH}_2$) y a la funcionalidad amida II (NH_2) (Deshpande et al., 2017). El pico en 1420 cm^{-1} se presentan (vibraciones de deformación de CH) (Zegarra Urquia, 2015). El pico en El pico 1320 cm^{-1} se atribuye al (estiramiento de CN en amida II) (Choudhary, Kumaraswamy, et al., 2019; Choudhary, Kumari, et al., 2019). El pico en 1254 cm^{-1} corresponde al estiramiento de COC (Choudhary, Kumaraswamy, et al., 2019). El pico en 1058 cm^{-1} se atribuye al (estiramiento $\text{C} - \text{O} - \text{C}$) (Choudhary, Kumaraswamy, et al., 2019). El pico a 898 cm^{-1}

se le atribuye (tensión C-H de los grupos anoméricos) (Valenzuela Chamorro, 2006). Aparece un pico donde por su contenido de ZnO sufre ensanchamiento en 516 cm^{-1} atribuyéndosele a la débil interacción del quitosano y ZnO (Haldorai & Shim, 2013; Mujeeb Rahman et al., 2018; Prokhorov et al., 2020).

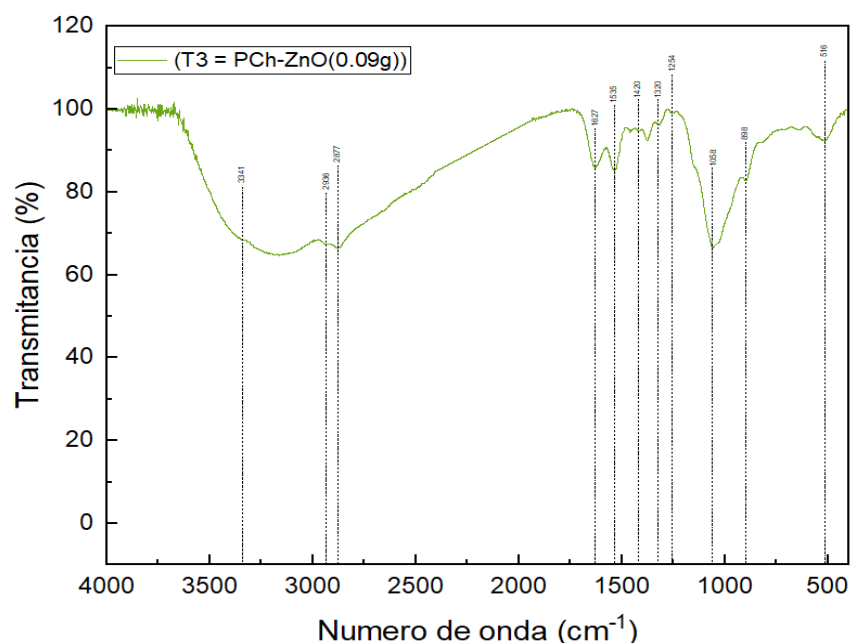


Figura 4. Estructura del compuesto de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T3 = PCh-ZnO(0.09g)).

4.1.5. FTIR del compuesto de quitosano con óxido de zinc (T4)

Los picos que se muestran en la banda sufrieron modificaciones en comparación a la banda de la **Figura 1**. esto demuestra una leve interacción entre el grupo amino del quitosano, ion metálico (zinc) (Deshpande et al., 2017). En la banda de la **Figura 5**. el pico en 3158 cm^{-1} corresponde a los picos combinados de las vibraciones de estiramiento del grupo NH_2 y OH (Deshpande et al., 2017). Los picos en 2930 y 2877 cm^{-1} , corresponden al estiramiento asimétrico de CH_3 y CH_2 (Deshpande et al., 2017). Los picos en 1625 y 1535 cm^{-1} corresponde al grupo amida I ($-\text{CONH}_2$) y a la funcionalidad amida II (NH_2) (Deshpande et al., 2017). El pico en 1420 cm^{-1} se presentan (vibraciones de deformación de CH) (Zegarra Urquia, 2015). El pico en El pico 1320 cm^{-1}

¹ se atribuye al (estiramiento de CN en amida II) (Choudhary, Kumaraswamy, et al., 2019; Choudhary, Kumari, et al., 2019). El pico en 1256 cm^{-1} corresponde al estiramiento de (COC) (Choudhary, Kumaraswamy, et al., 2019). El pico en 1054 cm^{-1} se atribuye al (estiramiento C - O - C) (Choudhary, Kumaraswamy, et al., 2019). El pico a 896 cm^{-1} se le atribuye (tensión C-H de los grupos anoméricos) (Valenzuela Chamorro, 2006). Aparece un pico ensanchado en 518 cm^{-1} atribuyéndosele a la débil interacción del quitosano y ZnO (Haldorai & Shim, 2013; Mujeeb Rahman et al., 2018; Prokhorov et al., 2020).

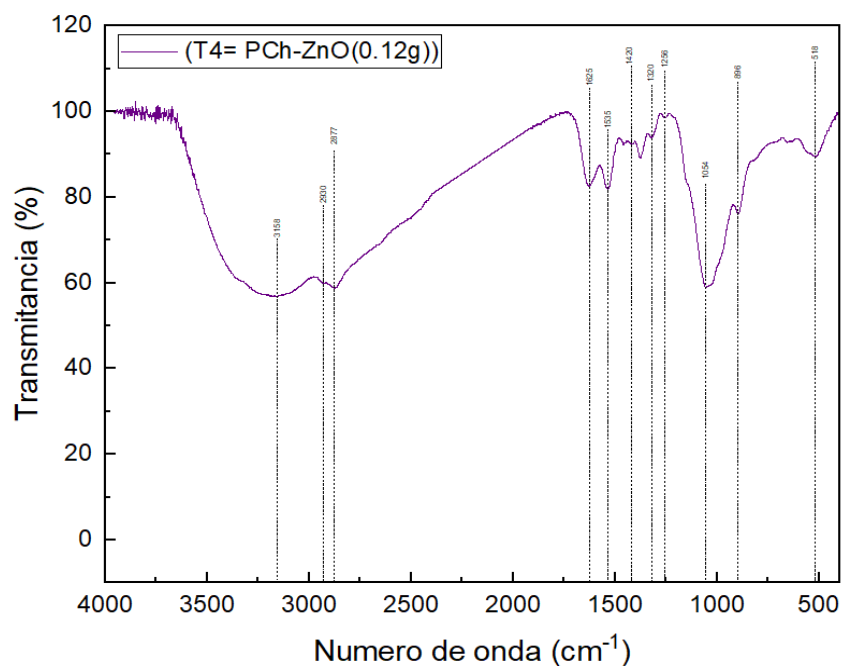


Figura 5. Estructura del compuesto de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T4 = PCh-ZnO(0.12g)).

4.2. Difracción de rayos X (XRD) de las nanopartículas de quitosano de pota y compositos funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (ZnO).

En la Figura 2. Se muestra el análisis XRD de las nanopartículas de quitosano y los compositos de quitosano funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (ZnO). El difractograma de la **Figura 6**. (T0 = PCh) demuestra un pico ancho en 2θ a 23,30 indicando la naturaleza amorfa de las nanopartículas de quitosano (Deshpande et al., 2017). Así mismo para los compositos de quitosano funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc sufrieron una modificación en el número de onda como se aprecian en las bandas (T1, T2, T3 y T4) siendo para el difractograma (T1 = PCh-ZnO(0,03g)) de la **Figura 7**. presenta un pico a 2θ a 23,70; en el difractograma (T2 = PCh-ZnO(0,06g)) de la **Figura 8**. presenta un pico a 2θ a 23,90; en el difractograma (T3 = PCh-ZnO(0,09g)) de la **Figura 9**. presenta un pico a 2θ a 23,88 y en el difractograma (T4 = PCh-ZnO(0,12g)) de la **figura 10**. presenta un pico a 2θ a 23,70. Estos resultados demuestran que los picos obtenidos son característicos del quitosano y también a medida que aumenta la concentración en peso de ZnO estos picos se van ensanchando, así mismo se aprecia que no se encuentran picos característicos del ZnO debido a que estas concentraciones son considerablemente bajas para que sea detectado por el difractometro, donde estudios como (Flores, 2018; Sanchez, 2019) demuestran que el difractometro detecta concentraciones de (ZnO, Fe, Ce, etc.) mayores al 1 %. Por otra parte la interacción del quitosano y el TPP cumple un rol importante ya que configura o destruye la estructura cristalina del material (Jingou et al., 2011; Rokhade et al., 2006).

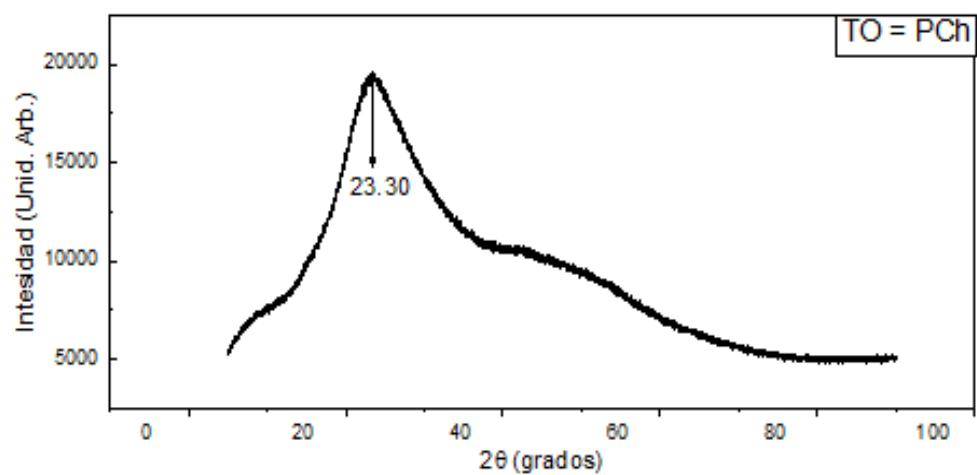


Figura 6. XRD de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh)

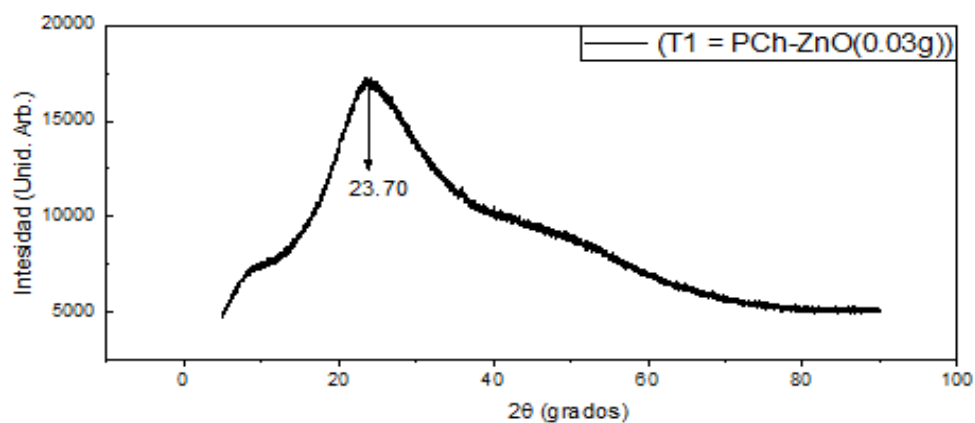


Figura 7. XRD del compuesto de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T1 = PCh-ZnO(0.03g)).

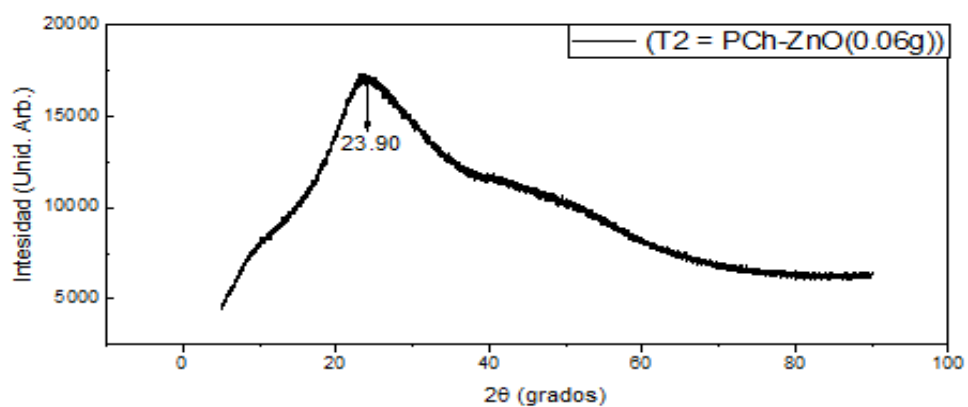


Figura 8. XRD del compuesto de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T2 = PCh-ZnO(0.06g)).

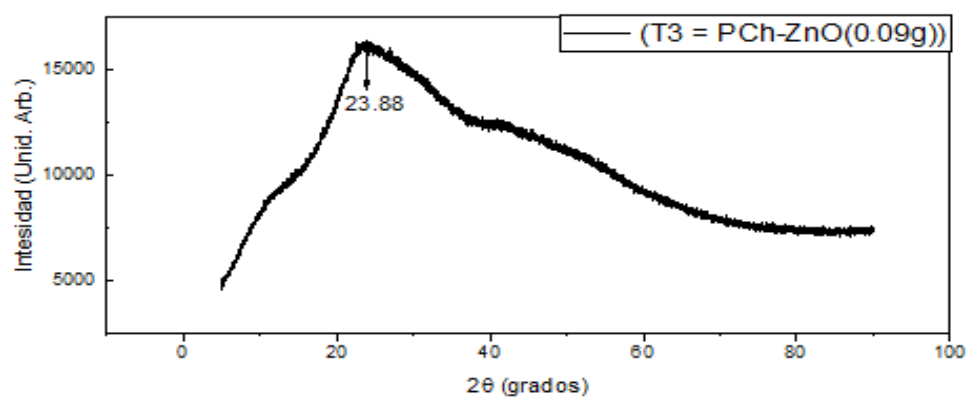


Figura 9. XRD del compuesto de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T3 = PCh-ZnO(0.09g)).

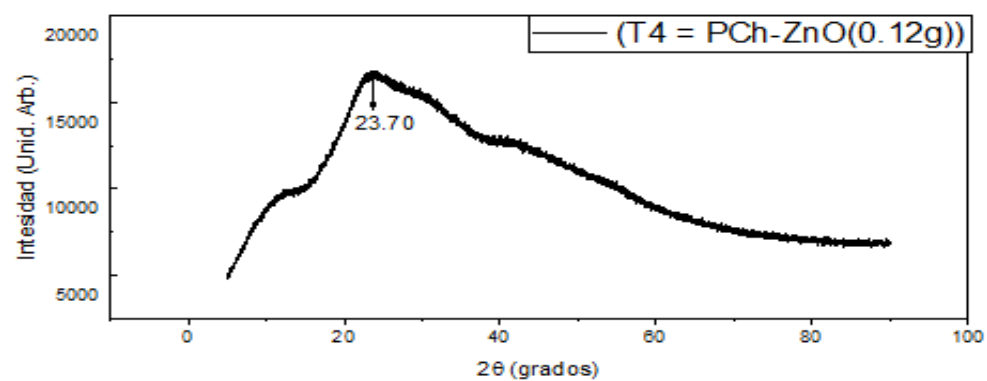


Figura 10. XRD del compuesto de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T4 = PCh-ZnO(0.12g))

4.3. Análisis termogravimétrico (TGA).

En la **Tabla 3** se muestra que el análisis termogravimétrico de las nanopartículas de quitosano de pota y los compositos funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) demuestran 3 etapas en la pérdida de peso del material.

Tabla 3. Resultados del análisis termogravimétrico de las muestras preparadas.

Código	Muestra	Temperatura inicial (T _i) °C	Temperatura final (T _f) °C	Pérdida de peso entre (T _i y T _f) %	Pérdida de peso total (%)	Masa residual total (%)
T0	PCH	27,97	182,40	10,28	54,55	43,51
		182,40	384,71	34,13		
		384,71	797,98	10,14		
T1	PCH-ZnO 0,03 g	27,97	181,76	10,36	53,81	44,25
		181,76	394,24	33,35		
		394,24	792,78	10,10		
T2	PCH-ZnO 0,06 g	27,97	180,67	10,14	54,31	43,75
		180,67	386,44	33,65		
		386,44	792,78	10,52		
T3	PCH-ZnO 0,09 g	27,97	185,44	10,10	54,86	43,2
		185,44	390,56	33,81		
		390,56	792,56	10,95		
T4	PCH-ZnO 0,12 g	27,97	180,46	10,40	53,42	44,64
		180,46	396,19	33,27		
		396,19	797,98	9,75		

Según Darwish et al. (2021) y Kannusamy & Thambidurai (2013) elaboro nano materiales a diferentes concentraciones entre ellas (CS-ZnO) donde el análisis TGA con una atmosfera de nitrógeno (N₂) expreso 3 etapas donde la primera etapa de 25 – 200 °C se debe a la eliminación de agua en peso. La segunda etapa observada de 230 a 400 °C se debe a la degradación del quitosano, vaporización y eliminación de sustancias volátiles. La tercera etapa se observa de 230 a 800 °C se debe a la degradación de la cadena del polímero y obteniendo una pérdida de peso constante.

4.3.1. TGA del compuesto de quitosano con óxido de zinc (T0)

Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 3**. Donde en la **Figura 11**. se observan los valores de la pérdida de peso en las 3 diferentes etapas del (PCh) comprenden la etapa 1 de 10,28 % de pérdida de agua del material, etapa 2 de 34,13 % de la degradación del quitosano y material volátil y la etapa 3 de 10,14 % resultando con una pérdida de peso total de 54.55 % y una masa residual de 43,51 % donde la presente investigación se asemejan a lo reportado por Darwish et al., (2021), Kannusamy & Thambidurai (2013) obteniendo una masa residual mayor al 40% en 3 determinadas etapas.

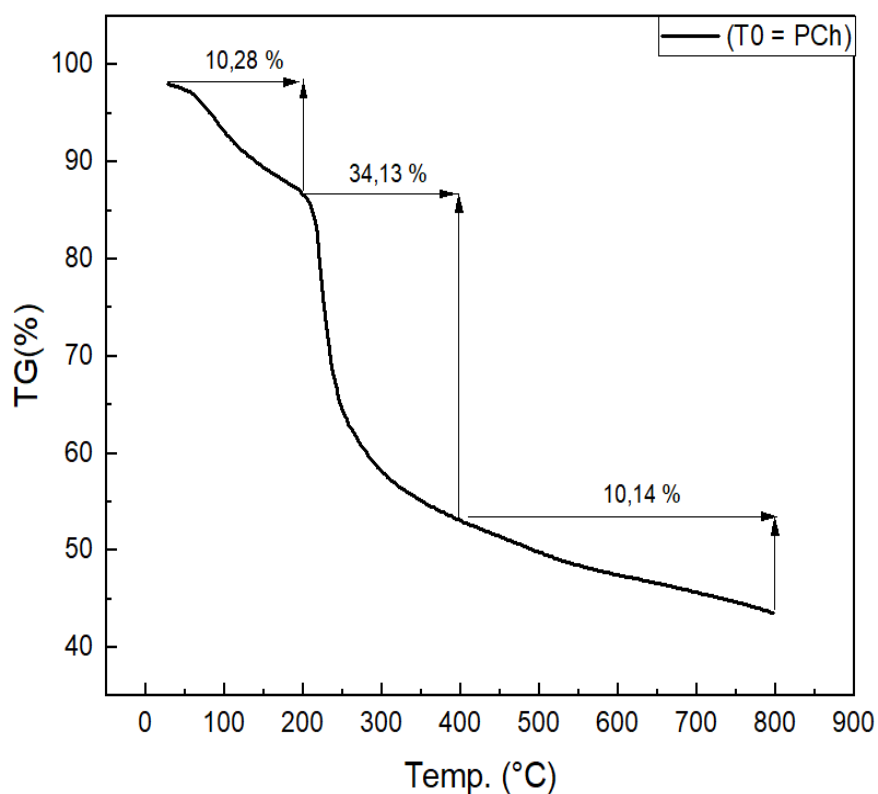


Figura 11. TGA de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh)

4.3.2. TGA del compuesto de quitosano con óxido de zinc (T1)

Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 3**. Donde en la **Figura 12**. se observan los valores de la pérdida de peso en las 3 diferentes etapas del (PCh-ZnO(0,03g)) comprenden la etapa 1 de 10,36 % de pérdida de agua del material, etapa 2 de 33,35 % de la degradación del quitosano y material volátil y la etapa 3 de 10,10% resultando con una pérdida de peso total de 53,81 % y una masa residual de 44,25 % donde la presente investigación se asemeja a lo reportado por Darwish et al. (2021), Kannusamy & Thambidurai (2013) obteniendo una masa residual mayor al 40% en 3 determinadas etapas.

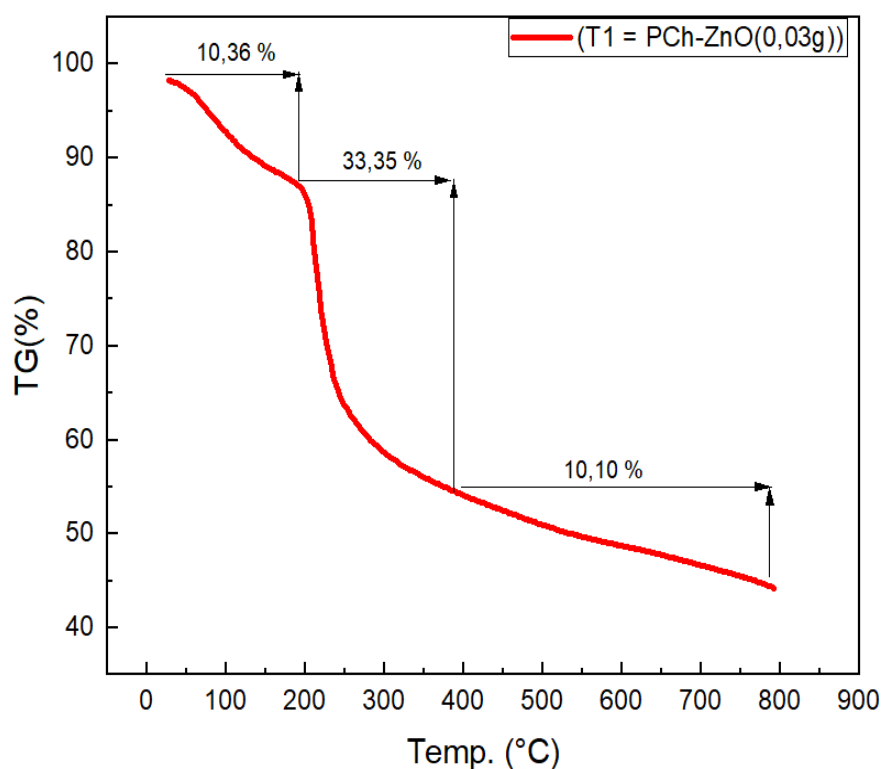


Figura 12. TGA del compuesto de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T1 = PCh-ZnO(0.03g))

4.3.3. TGA del compuesto de quitosano con óxido de zinc (T2)

Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 3**. Donde en la **Figura 13**, se observan los valores de la pérdida de peso en las 3 diferentes etapas del (PCh-ZnO(0,06g)) comprenden la etapa 1 de 10,14 % de pérdida de agua del material, etapa 2 de 33,65 % de la degradación del quitosano y material volátil y la etapa 3 de 10,14 % resultando con una pérdida de peso total de 54,31 % y una masa residual de 43,75 % donde la presente investigación se asemeja a lo reportado por Darwish et al. (2021) y Kannusamy & Thambidurai (2013) obteniendo una masa residual mayor al 40% en 3 determinadas etapas.

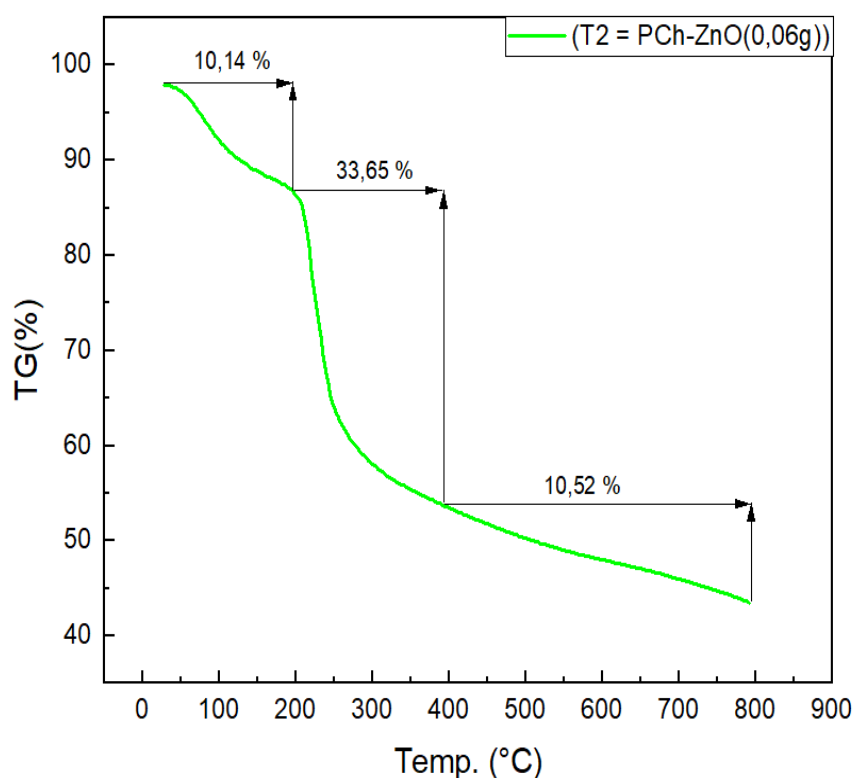


Figura 13. TGA del compuesto de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T2 = PCh-ZnO(0.06g))

4.3.4. TGA del compuesto de quitosano con óxido de zinc (T3)

Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 3**. Donde en la **Figura 14**, se observan los valores de la pérdida de peso en las 3 diferentes etapas del (PCh-ZnO(0,09g)) comprenden la etapa 1 de 10,10 % de pérdida de agua del material, etapa 2 de 33,81 % de la degradación del quitosano y material volátil y la etapa 3 de 10,95 % resultando con una pérdida de peso total de 54,86 % y una masa residual de 43,2 % donde la presente investigación se asemeja a lo reportado por Darwish et al. (2021) y Kannusamy & Thambidurai (2013) obteniendo una masa residual mayor al 40% en 3 determinadas etapas.

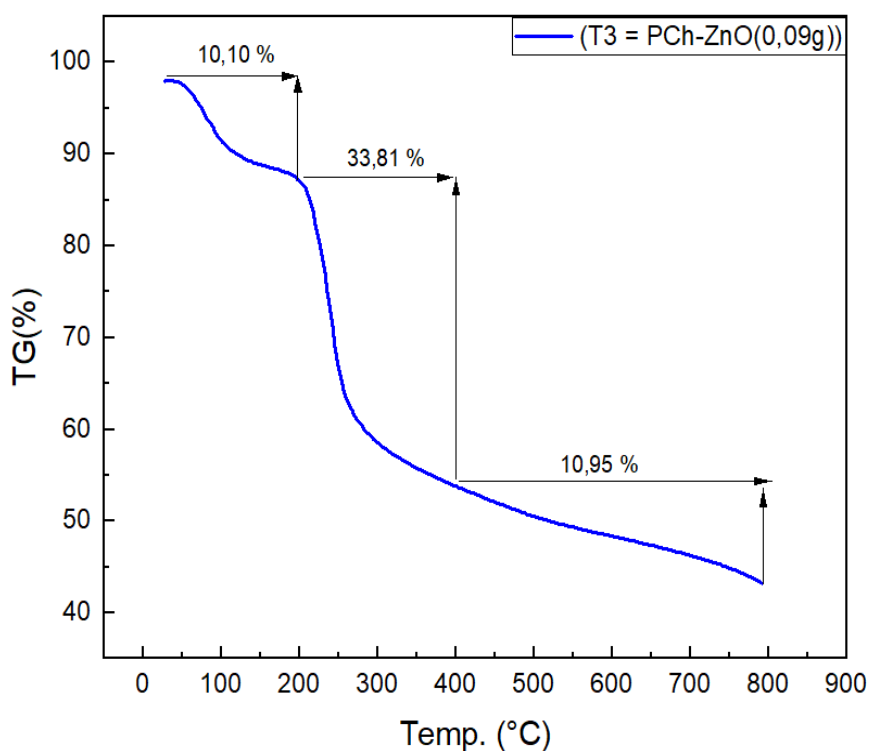


Figura 14. TGA del compuesto de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T3 = PCh-ZnO(0.09g))

4.3.5. TGA del compuesto de quitosano con óxido de zinc (T4)

Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 3**. Donde en la **Figura 15**, se observan los valores de la pérdida de peso en las 3 diferentes etapas del (PCh-ZnO(0,06g)) comprenden la etapa 1 de 10,40 % de pérdida de agua del material, etapa 2 de 33,27 % de la degradación del quitosano y material volátil y la etapa 3 de 9,75 % resultando con una pérdida de peso total de 53,42 % y una masa residual de 44,64 % observando que a pesar de las concentraciones bajas de NPs-ZnO en los compositos al aumentar el % en peso las NPs-ZnO se obtiene porcentajes mayores de masa residual debido a la presencia de NPs-ZnO esto reduce la capacidad de absorción de agua (Mostafa et al., 2020; Prokhorov et al., 2020). Los datos obtenidos se asemejan a lo reportado por Darwish et al. (2021) y Kannusamy & Thambidurai (2013) obteniendo una masa residual mayor al 40% en 3 determinadas etapas.

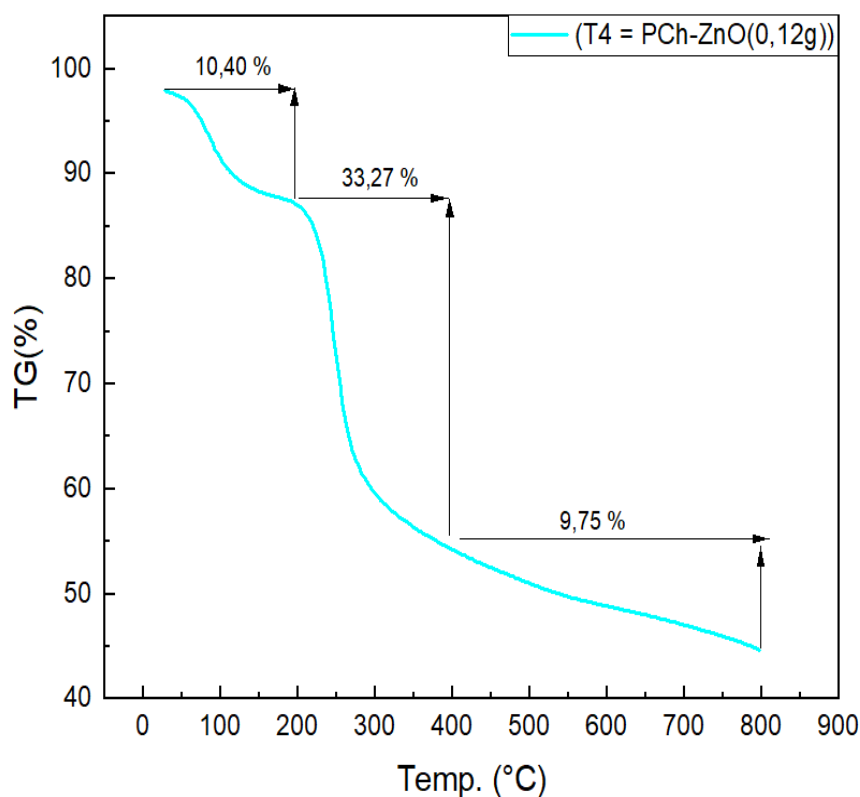


Figura 15. TGA del compuesto de quitosano de pota y nanopartículas de óxido de zinc (T4 = PCh-ZnO(0,12g))

4.4. Pruebas microbiológicas preliminares para la determinación de las dosis de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO).

Se empleó la bacteria (*Escherichia coli* strain ASE42). Esta fue cultivada en caldo Tripticasa soya e inoculada (D.O = 0,101 Abs) en placas conteniendo Agar Tripticasa Soya (TSA). La bacteria se sembró con un hisopo estéril para una mejor distribución por toda la placa. En el centro de la placa se colocó, con ayuda de un cilindro de plástico estéril (diámetro interno 15 mm), las diferentes cantidades de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) que comprenden (30 mg, 60 mg, 90 mg, 120 mg, 150 mg y 200 mg).

4.4.1. Dosis de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) de (30 mg, 60 mg, 90 mg, 120 mg, 150 mg y 200 mg).

En la **Figura 4.** se puede evidenciar que las nanopartículas de óxido de zinc tienen capacidad de inhibición obteniendo diámetros promedios de:

Tabla 4. Resultados de los diámetros promedios de las dosis de nanopartículas de óxido de zinc

Dosis de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO)						
	30 mg	60 mg	90 mg	120 mg	150 mg	180 mg
Diámetro (mm)	4,3	4,3	5,7	4,3	5,7	5,7

Comparando los resultados de determino que presentan halos de inhibición desde su menor dosis y a medida que aumenta la dosis de nanopartículas se obtiene mayor capacidad de inhibición, para ello se determinó emplear dosis a partir de 30, 60, 90 y 120 mg respectivamente en la ejecución esta investigación.

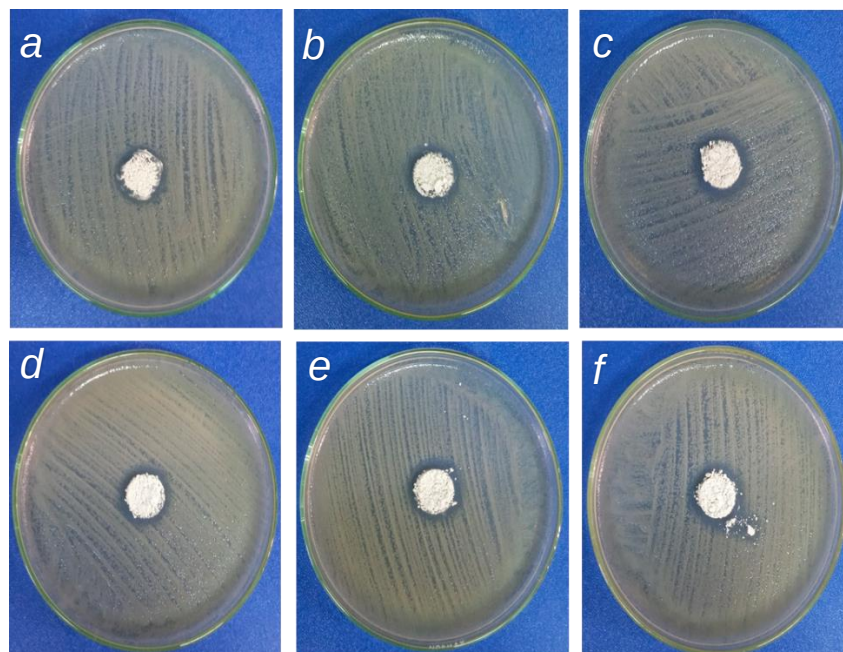


Figura 16. Dosis de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) de: **a)** 30 mg NPs-ZnO, **b)** 60 mg NPs-ZnO, **c)** 90 mg NPs-ZnO, **d)** 120 mg NPs-ZnO, **e)** 150 mg NPs-ZnO, **f)** 180 mg NPs-ZnO.

4.5. Pruebas de inhibición bacteriana de los compositos.

Para la siguiente prueba se emplearon 5 bacterias presentadas en la Tabla 5.

Tabla 5. Lista de las bacterias empleadas en estudio

Código	DS-21.1	15-AR	DS-13	DS-29	A9-AGUA
Bacteria	<i>Escherichia coli</i> strain ASE42	<i>Citrobacter freundii</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i> strain F89-1	<i>Bacillus firmus</i> strain SML_M 40	<i>Proteus vulgaris</i>
Característica tintorial	Gram negativa	Gram negativa	Gram negativa	Gram positiva	Gram negativa
Morfología	Bacilos				

4.5.1. Prueba de halo inhibición bacteriana de los compositos contra bacterias.

Tabla 6. Resultados de promedios de los diámetros en (mm) de los halos de inhibición de las bacterias Gram Negativas.

Compositos de quitosano funcionalizados con (ZnO) a diferentes concentraciones					
Bacteria	T0	T1	T2	T3	T4
<i>(Escherichia coli strain ASE42) -DS21</i>	0	0	0	0	0
<i>(Citrobacter freundii) – 15-AR.</i>	0	0	0	0	0
<i>(Klebsiella pneumoniae strain F89-1) - DS-13</i>	0	0	0	0	0
<i>(Proteus vulgaris) - 09-AGUA</i>	0	0	0	0	0

En la **Tabla 6**. Se puede observar que los promedios de las nanopartículas de quitosano de pota (T0) no presenta capacidad inhibitoria (Halo de inhibición) contra bacterias Gram Negativas concordando con Madhan et al. (2021) y Malini et al. (2015) quienes elaboraron nanocompuestos (quitosano y quitosano-ZnO), mostrando que el (quitosano) no presentó capacidad inhibitoria contra bacterias Gram negativas y Gram positivas. Asimismo, Maldonado-Lara et al. (2017) señala que el quitosano no tiene capacidad inhibitoria por sí solo. Sin embargo, el material (quitosano-ZnO) elaborado por Madhan et al. (2021) y Malini et al. (2015) mostró capacidad inhibitoria para las bacterias Gram negativas y Gram positivas debido a que las concentraciones de ZnO son mayores a las empleadas en la presente investigación, por ello se difiere por completo en los resultados obtenidos de los compositos (T1, T2, T3, T4) donde no se apreció capacidad inhibitoria. Esto se debe a que al funcionalizar el quitosano con las nanopartículas de óxido

de zinc, al ser diluidas disminuyen su concentración inicial y por ende su capacidad inhibitoria, y teniendo en cuenta que las bacterias presentan peptidoglicano, membrana externa (Gram negativas) y otros componentes como ácidos lipoteicoicos (Gram positivas) lo cual obstaculiza el ingreso de sustancias inhibitoras hacia el citoplasma celular (Jones et al., 2008; Xie et al., 2011). En base a los resultados obtenidos se deduce que las bacterias Gram negativas presentan mayor resistencia a los compositos funcionalizados con NPs-ZnO concordando con Premanathan et al. (2011).

Tabla 7. Resultados de promedios de los diámetros en (mm) de los halos de inhibición de las bacterias Gram Positiva.

Compositos de quitosano funcionalizados con (ZnO) a diferentes concentraciones					
Bacteria	T0	T1	T2	T3	T4
<i>(Bacillus firmus strain SML_M40) – DS-29</i>	0	0	0	0	0
	0	4	4	0	0
	0	4	4	0	0
Promedio	0	2,7	2,7	0	0

En la **Tabla 7**. Se observa que los promedios de las nanopartículas de quitosano de pota (T0) no presenta capacidad antimicrobiana (Halo de inhibición) contra bacterias Gram positivas como lo reporta Madhan et al. (2021) y Malini et al. (2015). Así mismo, Maldonado-Lara et al. (2017) señalan que, el quitosano no tiene capacidad inhibitoria por sí solo. A diferencia de los compositos funcionalizados con NPs-ZnO siendo que T1 = PCh-ZnO(0,03g) y T2 = PCh-ZnO(0,06g) presentaron halos promedios de inhibición de 2.7 y 2.7 mm, respectivamente, siendo las concentraciones en peso más bajas de NPs-ZnO. Los compositos con mayor concentración en peso de NPs-ZnO (T3 = PCh-ZnO(0,09g)) y (T4 = PCh-ZnO(0,12g)) no demostraron tener capacidad de inhibición; demostrando que las bacterias Gram positivas ante el compuesto PCh-ZnO inhiben su crecimiento bacteriano

concordando con Madhan et al. (2021) y Malini et al. (2015). La actividad antimicrobiana (halo de inhibición) se atribuye únicamente a la presencia de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO). Los resultados obtenidos concuerdan con Malini et al. (2015), los cuales expresan que una mínima cantidad de NPs-ZnO en los compositos es suficiente para que exista capacidad de inhibitoria de los patógenos Gram positivos debido a que el peptidoglicano delgado que cumple el rol de barrera se puede solubilizar con facilidad, permitiendo el ingreso a las sustancias inhibitoras (Jones et al., 2008; Xie et al., 2011).

V. CONCLUSIONES

- ❖ Se logró producir satisfactoriamente los compositos de quitosano de pota funcionalizados con nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) a diferentes concentraciones en peso a través del método de gelación iónica donde los resultados FTIR, XRD y TGA demostraron una leve interacción entre el Quitosano y el ZnO.
- ❖ Los compositos elaborados demostraron capacidad de inhibición en bacterias Gram positivas, donde los compositos más eficientes fueron T1 = (PCh-ZnO(0,03g) y T2 = (PCh-ZnO(0,06g) obteniendo halos de inhibición promedio de 2,7 mm, a diferencia de las bacterias Gram negativas que presentaron resistencia hacia el efecto antimicrobiano de los compositos funcionalizados con NPs-ZnO. Además, el quitosano por sí solo no presentó ninguna capacidad antimicrobiana.

VI. RECOMENDACIONES

- ❖ Elaborar composites de quitosano de pota funcionalizados con cantidades mayores en peso de nanopartículas óxido de zinc (ZnO) con la finalidad de mejorar la eficacia antimicrobiana de los composites.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akinbowale, O. L., Peng, H., & Barton, M. D. (2006). Antimicrobial resistance in bacteria isolated from aquaculture sources in Australia. *Journal of Applied Microbiology*, 100(5), 1103–1113. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02812.x>
- Ali, M. E. A., Aboelfadl, M. M. S., Selim, A. M., Khalil, H. F., & Elkady, G. M. (2018). Chitosan nanoparticles extracted from shrimp shells, application for removal of Fe(II) and Mn(II) from aqueous phases. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 53(18), 2870–2881. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1489845>
- Arias-hoyos, A., Hernandez-medina, jose luis, Valencia, andres fernando C., & Peña, N. efredis sanchez. (2017). Waswater treatment from saughter house: using powder of *M. oleífera* as a natural coagulant. *Bioteconología Del Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 1(1), 29–39. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(edición especial\)29-39](https://doi.org/10.18684/bsaa(edición especial)29-39)
- Balde, A., Hasan, A., Joshi, I., & Nazeer, R. A. (2020). Preparation and optimization of chitosan nanoparticles from discarded squilla (*Carinosquilla multicaudata*) shells for the delivery of anti-inflammatory drug: Diclofenac. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 70(12), 1227–1235. <https://doi.org/10.1080/10962247.2020.1727588>
- Barros, A., Morantes, M., ... M. H.-R., & 2016, U. (2016). Preparación De Nanopartículas De Quitosano Modificadas Con Alginato De Sodio Con Potencial Para La Liberación Controlada De Medicamentos. *Revista EIA*, 3(12), 75–83. <https://doi.org/10.24050/reia.v12i2.965>
- Bermejo, L., & Cruz, G. (2007). *Determinación del contenido de metales pesados en los suelos cultivados con Arroz – Margen izquierda del río Tumbes*.
- Bostock, J., McAndrew, B., Richards, R., Jauncey, K., Telfer, T., Lorenzen, K., Little, D., Ross, L., Handisyde, N., Gatward, I., & Corner, R. (2010). Aquaculture: Global status and trends. *Philosophical Transactions of*

the Royal Society B: Biological Sciences, 365(1554), 2897–2912.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0170>

Cardoso-Mohedano, J. G., Bernardello, R., Sanchez-Cabeza, J. A., Páez-Osuna, F., Ruiz-Fernández, A. C., Molino-Minero-Re, E., & Cruzado, A. (2016). Reducing nutrient impacts from shrimp effluents in a subtropical coastal lagoon. *Science of the Total Environment*, 571, 388–397. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.140>

Chen, L. C., Kung, S. K., Chen, H. H., & Lin, S. Bin. (2010). Evaluation of zeta potential difference as an indicator for antibacterial strength of low molecular weight chitosan. *Carbohydrate Polymers*, 82(3), 913–919. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.06.017>

Choudhary, R. C., Kumaraswamy, R. V., Kumari, S., Sharma, S. S., Pal, A., Raliya, R., Biswas, P., & Saharan, V. (2019). Zinc encapsulated chitosan nanoparticle to promote maize crop yield. *International Journal of Biological Macromolecules*, 127, 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.274>

Choudhary, R. C., Kumari, S., Kumaraswamy, R. V., Pal, A., Raliya, R., Biswas, P., & Saharan, V. (2019). Characterization Methods for Chitosan-Based Nanomaterials. In *Nanotechnology in the Life Sciences* (pp. 103–116). Springer Science and Business Media B.V. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12496-0_5

Çınar, S., Kaynar, Ü. H., Aydemir, T., Çam Kaynar, S., & Ayvacıklı, M. (2017). An efficient removal of RB5 from aqueous solution by adsorption onto nano-ZnO/Chitosan composite beads. *International Journal of Biological Macromolecules*, 96, 459–465. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.12.021>

Cruz, T., & Aquiles, G. (2019). *Influencia del pH y de la relación quitosano/tripolifosfato en la morfología y polidispersidad de las nanopartículas de quitosano de grado farmacéutico*.

Darwish, M. S. A., Mostafa, M. H., Hussein, L. I., Abdaleem, A. H., & Elsayy, M. A. (2021). Preparation, characterization, mechanical and

- biodegradation behavior of polypropylene - chitosan/ZnO nanocomposite. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 60(15), 1630–1640. <https://doi.org/10.1080/25740881.2021.1924200>
- De, E. A. P., & Humana, M. (2019). Universidad Nacional Mayor De San Marcos Facultad De Medicina. In *Remoción de cadmio en soluciones acuosas usando nanopartículas de hierro cerivalente sobre una matriz de quitosano*.
- Deshpande, P., Dapkekar, A., Oak, M. D., Paknikar, K. M., & Rajwade, J. M. (2017). Zinc complexed chitosan/TPP nanoparticles: A promising micronutrient nanocarrier suited for foliar application. *Carbohydrate Polymers*, 165, 394–401. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.02.061>
- Du, W. L., Xu, Y. L., Xu, Z. R., & Fan, C. L. (2008). Preparation, characterization and antibacterial properties against E. coli K88 of chitosan nanoparticle loaded copper ions. *Nanotechnology*, 19(8), 085707. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/19/8/085707>
- Fan, Z., & Lu, J. G. (2005). Zinc Oxide Nanostructures: Synthesis and Properties. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 5(10), 1561–1573. <https://doi.org/10.1166/jnn.2005.182>
- Flores, R. (2018). *Influencia del método de síntesis en las propiedades*. <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/6813>
- Hajipour, M. J., Fromm, K. M., Akbar Ashkarran, A., Jimenez de Aberasturi, D., Larramendi, I. R. de, Rojo, T., Serpooshan, V., Parak, W. J., & Mahmoudi, M. (2012). Antibacterial properties of nanoparticles. *Trends in Biotechnology*, 30(10), 499–511. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.06.004>
- Haldorai, Y., & Shim, J. J. (2013). Chitosan-Zinc Oxide hybrid composite for enhanced dye degradation and antibacterial activity. *Composite Interfaces*, 20(5), 365–377. <https://doi.org/10.1080/15685543.2013.806124>
- Helander, I. M., Nurmiäho-Lassila, E. L., Ahvenainen, R., Rhoades, J., &

- Roller, S. (2001). Chitosan disrupts the barrier properties of the outer membrane of Gram-negative bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 71(2–3), 235–244. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00609-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00609-2)
- Herrera, M. T., Artunduaga, J. J., Ortiz, C. C., & Torres, R. G. (2017). Síntesis de nanopartículas de ácido poliláctico cargadas con antibióticos y su actividad antibacteriana contra *Escherichia coli* O157:H7 y *Staphylococcus aureus* resistente a meticilina. *Biomedica*, 37(1), 11–21. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v37i1.2995>
- Ilk, S., Sağlam, N., Özgen, M., & Korkusuz, F. (2017). Chitosan nanoparticles enhances the anti-quorum sensing activity of kaempferol. *International Journal of Biological Macromolecules*, 94, 653–662. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.10.068>
- Jahangeer, M., Ahmad Qamar, S., Mahmood, Z., Asgher, M., & Qamar, S. A. (2019). Life Science Journal of Pakistan <http://www.lifesciencejournal.pk> Applications and Perspectives of Chitosan as Functional Biopolymer; An Extended Review. In *Life Sci J Pak* (Vol. 1, Issue 02).
- Jingou, J., Shilei, H., Weiqi, L., Danjun, W., Tengfei, W., & Yi, X. (2011). Preparation, characterization of hydrophilic and hydrophobic drug in combine loaded chitosan/cyclodextrin nanoparticles and in vitro release study. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 83(1), 103–107. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2010.11.005>
- Jones, N., Ray, B., Ranjit, K. T., & Manna, A. C. (2008). Antibacterial activity of ZnO nanoparticle suspensions on a broad spectrum of microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, 279(1), 71–76. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2007.01012.x>
- Kalia, S., & Avérous, L. (2011). Biopolymers: Biomedical and Environmental Applications. In S. Kalia & L. Avérous (Eds.), *Biopolymers: Biomedical and Environmental Applications*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118164792>

- Kannan, S., Gariepy, Y., & Raghavan, G. S. V. (2017). Optimization and Characterization of Hydrochar Derived from Shrimp Waste. *Energy and Fuels*, 31(4), 4068–4077. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b00093>
- Kannusamy, P., & Thambidurai, S. (2013). Chitosan-ZnO/polyaniline hybrid composites: Polymerization of aniline with chitosan-ZnO for better thermal and electrical property. *Polymer Degradation and Stability*, 98(5), 988–996. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.02.015>
- Katas, H., Mohamad, A., & Zin, N. M. (2011). Physicochemical effects of chitosan-tripolyphosphate nanoparticles on antibacterial activity against gram-positive and gram-negative bacteria. *Journal of Medical Sciences*, 11(4), 192–197. <https://doi.org/10.3923/jms.2011.192.197>
- Li, Q., Mahendra, S., Lyon, D. Y., Brunet, L., Liga, M. V., Li, D., & Alvarez, P. J. J. (2008). Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: Potential applications and implications. *Water Research*, 42(18), 4591–4602. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.08.015>
- Liu, B., Wang, D., Yu, G., & Meng, X. (2013). Adsorption of heavy metal ions, dyes and proteins by chitosan composites and derivatives - A review. *Journal of Ocean University of China*, 12(3), 500–508. <https://doi.org/10.1007/s11802-013-2113-0>
- Madhan, G., Begam, A. A., Varsha, L. V., Ranjithkumar, R., & Bharathi, D. (2021). Facile synthesis and characterization of chitosan/zinc oxide nanocomposite for enhanced antibacterial and photocatalytic activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 259–269. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.100>
- Mahgoub, S., & Samaras, P. (2014). *Nanoparticles from biowastes and microbes : Focus on role in water purification and food preservation*. 1–39.
- Maldonado-Lara, K., Luna-Bárcenas, G., Luna-Hernández, E., Padilla-

- Vaca, F., Hernández-Sánchez, E., Betancourt-Galindo, R., Menchaca-Arredondo, J. L., & España-Sánchez, B. L. (2017). Preparación y caracterización de nanocompositos quitosano-cobre con actividad antibacteriana para aplicaciones en ingeniería de tejidos. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica*, 38(1), 306–313. <https://doi.org/10.17488/RMIB.38.1.26>
- Malini, M., Thirumavalavan, M., Yang, W. Y., Lee, J. F., & Annadurai, G. (2015). A versatile chitosan/ZnO nanocomposite with enhanced antimicrobial properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 80, 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.06.036>
- Morán, B. A., & Hidalgo, A. M. (2016). Contaminantes en la bahía Puerto Pizarro Pollutants in the Puerto Pizarro Bay. In *Manglar* (Vol. 13, Issue 2).
- Morón Atencio, G. J. (2018). Determinación de la actividad antifúngica de nanopartículas poliméricas de quitosano cargadas con ácido S-Nitrosomercaptosuccínico sobre *Candida albicans* y *Candida glabrata*. *Instacron:UPCH*.
- Mostafa, M. H., Elsayy, M. A., Darwish, M. S. A., Hussein, L. I., & Abdaleem, A. H. (2020). Microwave-Assisted preparation of Chitosan/ZnO nanocomposite and its application in dye removal. *Materials Chemistry and Physics*, 248, 122914. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.122914>
- Mujeeb Rahman, P., Abdul Mujeeb, V. M., Muraleedharan, K., & Thomas, S. K. (2018). Chitosan/nano ZnO composite films: Enhanced mechanical, antimicrobial and dielectric properties. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(1), 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.09.008>
- Neumark, G., Gong, Y., & Kuskovsky, I. (2006). Doping Aspects of Zn-Based Wide-Band-Gap Semiconductors. In *Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials* (pp. 843–854). Springer US.

https://doi.org/10.1007/978-0-387-29185-7_35

- Nguyen, K. T., Mai, D. X. N., Doan, U. T. T., Nguyen, T. T., Dang, Y. T., Ta, H. K. T., Phan, T. B., & Pham, N. K. (2021). The chitosan/ZnO bio-nanocomposites with selective antibacterial efficiency. *Journal of Materials Research*, 36(2), 508–517. <https://doi.org/10.1557/s43578-020-00011-6>
- PÁez-Osuna, F. (2001). The environmental impact of shrimp aquaculture: Causes, effects, and mitigating alternatives. In *Environmental Management* (Vol. 28, Issue 1, pp. 131–140). <https://doi.org/10.1007/s002670010212>
- Peniche, H., & Peniche, C. (2011). Chitosan nanoparticles: A contribution to nanomedicine. *Polymer International*, 60(6), 883–889. <https://doi.org/10.1002/pi.3056>
- Perera, U. M. S. P., & Rajapakse, N. (2014). Chitosan nanoparticles: Preparation, characterization, and applications. In *Seafood Processing By-Products: Trends and Applications* (Vol. 9781461495, pp. 371–387). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9590-1_18
- Premanathan, M., Karthikeyan, K., Jeyasubramanian, K., & Manivannan, G. (2011). Selective toxicity of ZnO nanoparticles toward Gram-positive bacteria and cancer cells by apoptosis through lipid peroxidation. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 7(2), 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2010.10.001>
- Prokhorov, E., Luna-Bárcenas, G., Limón, J. M. Y., Sánchez, A. G., & Kovalenko, Y. (2020). Chitosan-zno nanocomposites assessed by dielectric, mechanical, and piezoelectric properties. *Polymers*, 12(9), 1–14. <https://doi.org/10.3390/polym12091991>
- Qi, L., Xu, Z., Jiang, X., Hu, C., & Zou, X. (2004a). Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. *Carbohydrate Research*, 339(16), 2693–2700. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2004.09.007>

- Qi, L., Xu, Z., Jiang, X., Hu, C., & Zou, X. (2004b). Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. *Carbohydrate Research*, 339(16), 2693–2700. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2004.09.007>
- Rasmussen, J. W., Martinez, E., Louka, P., & Wingett, D. G. (2010). Zinc oxide nanoparticles for selective destruction of tumor cells and potential for drug delivery applications. *Expert Opinion on Drug Delivery*, 7(9), 1063–1077. <https://doi.org/10.1517/17425247.2010.502560>
- Ravi Kumar, M. N. V. (2000). A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and Functional Polymers*, 46(1), 1–27. [https://doi.org/10.1016/S1381-5148\(00\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S1381-5148(00)00038-9)
- Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 31(7), 603–632. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001>
- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadauid, R. M., & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236–247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Rodríguez-valencia, J. A., Crespo, D., & López-Camacho, M. (2010). La camaronicultura y la sustentabilidad del Golfo de California. *WWF-México*, 13.
- Rokhade, A. P., Agnihotri, S. A., Patil, S. A., Mallikarjuna, N. N., Kulkarni, P. V., & Aminabhavi, T. M. (2006). Semi-interpenetrating polymer network microspheres of gelatin and sodium carboxymethyl cellulose for controlled release of ketorolac tromethamine. *Carbohydrate Polymers*, 65(3), 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.01.013>
- Román, L. E., Maurtua, D., Paraguay-Delgado, F., Solís, J. L., & Gómez, M. M. (2016). Green Synthesis of ZnO₂ Nanoparticles and Their Annealing Transformation Into ZnO Nanoparticles:

- Characterization and Antimicrobial Activity. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 16(9), 9889–9895. <https://doi.org/10.1166/jnn.2016.12399>
- Saldarriaga, D. (2007). *Impacto de los efluentes del cultivo de langostino Penaeus vannamei en el ecosistema de manglares de Tumbes, Universidad Nacional de Tumbes.*
- Sanchez, J. M. (2019). Efecto de la concentración de Fe en las tensiones residuales de las películas delgadas de ZnO crecidas por rociado pirolítico. *Revista CIENCIA Y TECNOLOGÍA*, 15(3), 125–130. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15076>
- Sarwar, A., Katas, H., & Zin, N. M. (2014). Antibacterial effects of chitosan-tripolyphosphate nanoparticles: Impact of particle size molecular weight. *Journal of Nanoparticle Research*, 16(7), 2517. <https://doi.org/10.1007/s11051-014-2517-9>
- Sharma, Y. C., Srivastava, V., Singh, V. K., Kaul, S. N., & Weng, C. H. (2009). Nano-adsorbents for the removal of metallic pollutants from water and wastewater. *Environmental Technology*, 30(6), 583–609. <https://doi.org/10.1080/09593330902838080>
- Vakili, M., Rafatullah, M., Salamatinia, B., Abdullah, A. Z., Ibrahim, M. H., Tan, K. B., Gholami, Z., & Amouzgar, P. (2014). Application of chitosan and its derivatives as adsorbents for dye removal from water and wastewater: A review. In *Carbohydrate Polymers* (Vol. 113, pp. 115–130). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.07.007>
- Valenzuela Chamorro, C. L. (2006). *Obtención de quitosano de pota (Dosidicus gigas) empleando altas dosis de radiación gamma.* 126. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/2113>
- Whitesides, G. M. (2005). Nanoscience, nanotechnology, and chemistry. *Small*, 1(2), 172–179. <https://doi.org/10.1002/sml.200400130>
- Wijesena, R. N., Tissera, N., Kannangara, Y. Y., Lin, Y., Amaratunga, G. A. J., & De Silva, K. M. N. (2015). A method for top down preparation of chitosan nanoparticles and nanofibers. *Carbohydrate Polymers*, 117,

731–738. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.10.055>

Xie, Y., He, Y., Irwin, P. L., Jin, T., & Shi, X. (2011). Antibacterial activity and mechanism of action of zinc oxide nanoparticles against *Campylobacter jejuni*. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(7), 2325–2331. <https://doi.org/10.1128/AEM.02149-10>

Yusof, N. A. A., Zain, N. M., & Pauzi, N. (2019). Synthesis of ZnO nanoparticles with chitosan as stabilizing agent and their antibacterial properties against Gram-positive and Gram-negative bacteria. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124, 1132–1136. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.228>

Zegarra Urquia, C. L. (2015). Síntesis y caracterización de nanopartículas de quitosano - poliácido aspártico conteniendo isoniazida para el tratamiento de tuberculosis. In *Repositorio de Tesis - UNMSM*. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/4162>

Zhang, X., Zhang, Z., Wu, W., Yang, J., & Yang, Q. (2021). Preparation and characterization of chitosan/Nano-ZnO composite film with antimicrobial activity. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 44(6), 1193–1199. <https://doi.org/10.1007/s00449-021-02521-x>

VIII. ANEXOS

8.1. Panel fotográfico de las pruebas microbiológicas de las bacterias Gram Negativas

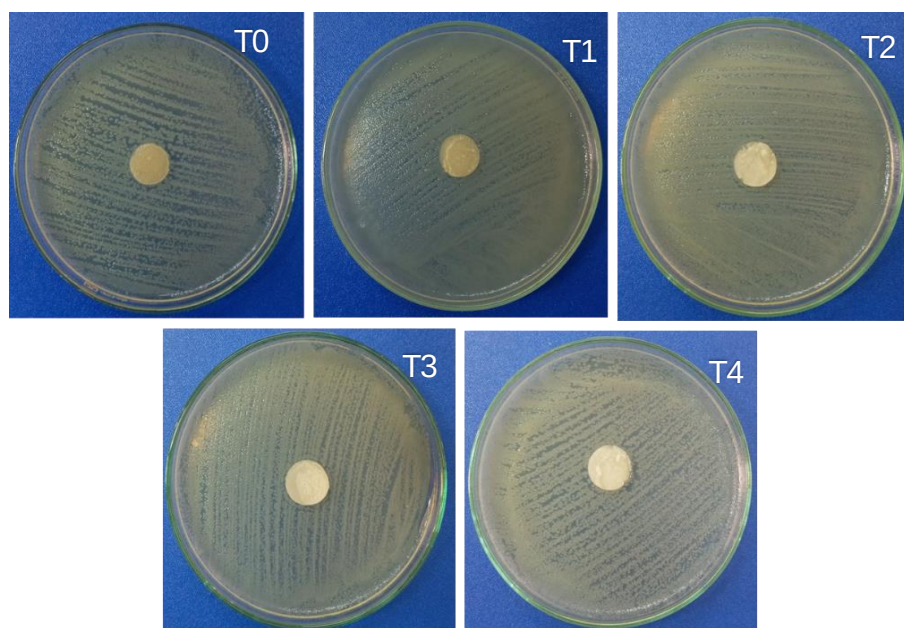


Figura 17. Pruebas microbiológicas de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh) y composites: (T1) PCH-ZnO(0,03g), (T2) PCH-ZnO(0,06g), (T3) PCH-ZnO(0,09g) y (T4) PCH-ZnO(0,12g) contra (*Escherichia coli* strain ASE42) -DS21.

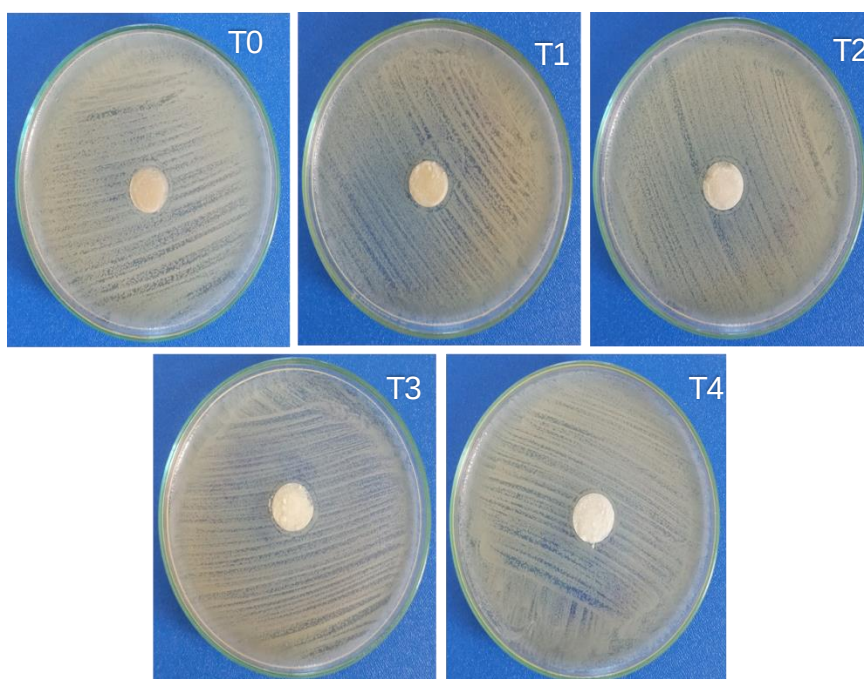


Figura 18. Pruebas microbiológicas de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh) y composites: (T1) PCH-ZnO(0,03g), (T2) PCH-ZnO(0,06g), (T3) PCH-ZnO(0,09g) y (T4) PCH-ZnO(0,12g) contra (*Citrobacter freundii*) – 15-AR

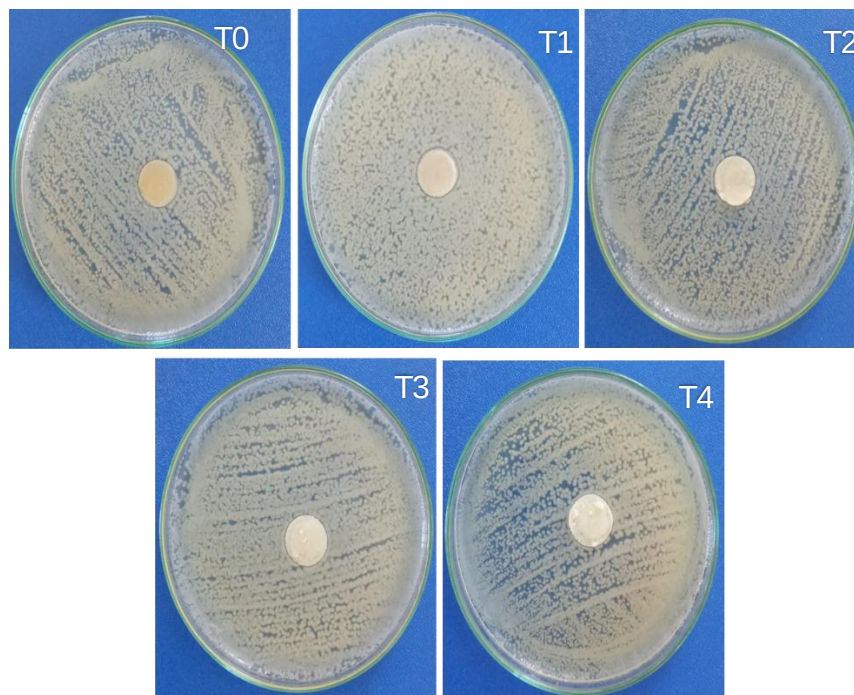


Figura 19. Pruebas microbiológicas de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh) y compositos: (T1) PCh-ZnO(0,03g), (T2) PCh-ZnO(0,06g), (T3) PCh-ZnO(0,09g) y (T4) PCh-ZnO(0,12g) contra (*Citrobacter freundii*) – 15-AR.

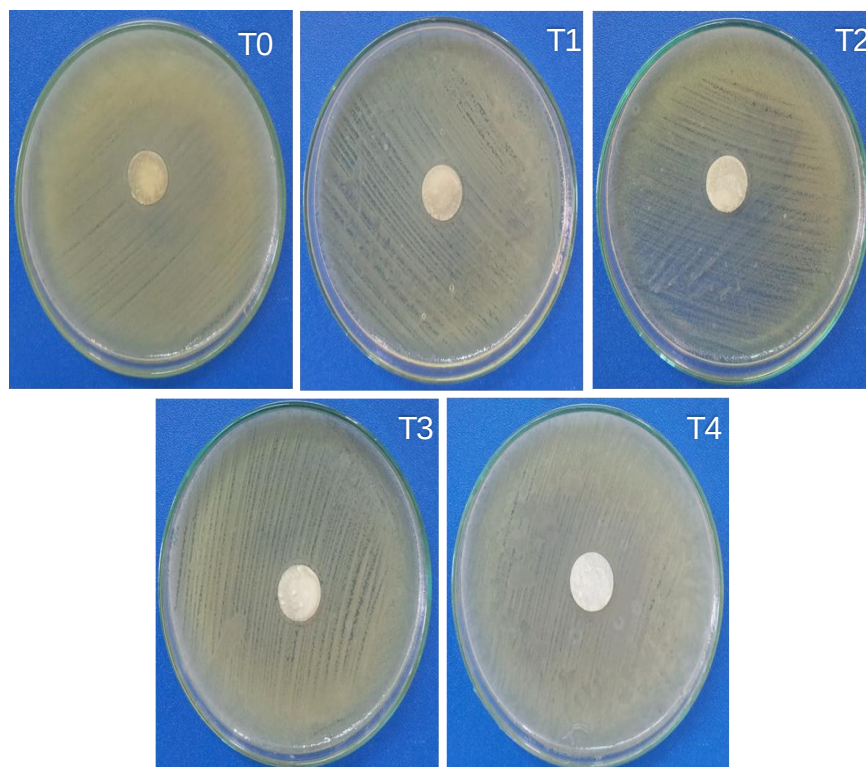


Figura 20. Pruebas microbiológicas de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh) y compositos: (T1) PCH-ZnO(0,03g), (T2) PCH-ZnO(0,06g), (T3) PCH-ZnO(0,09g) y (T4) PCH-ZnO(0,12g) contra (*Proteus vulgaris*) - 09-AGUA.

8.2. Panel fotográfico de las pruebas microbiológicas de las bacterias Gram Positiva

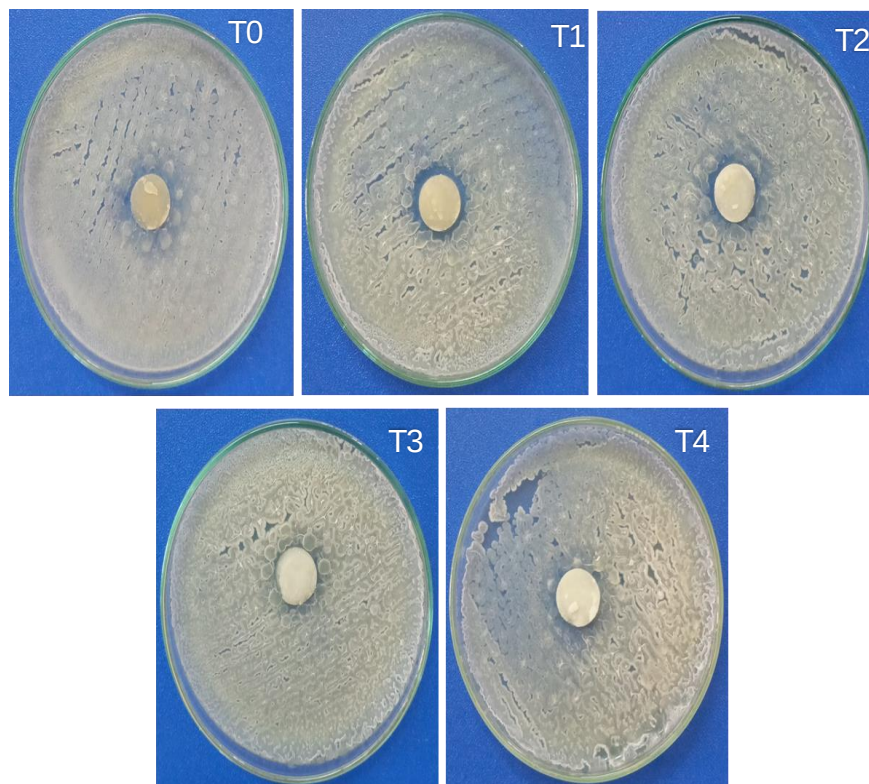


Figura 21. Pruebas microbiológicas de las nanopartículas de quitosano de pota (T0 = PCh) y compositos: (T1) PCH-ZnO(0,03g), (T2) PCH-ZnO(0,06g), (T3) PCH-ZnO(0,09g) y (T4) PCH-ZnO(0,12 g) contra (*Bacillus firmus* strain SML_M40) – DS-29.



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jhoxer Guerra Moran
Título del ejercicio: Jhoxer Guerra Moran
Título de la entrega: Informe Final (18-03-22)
Nombre del archivo: Informe_de_tesis_jhoxer-_FINAL_2.docx
Tamaño del archivo: 12.69M
Total páginas: 59
Total de palabras: 10,486
Total de caracteres: 59,268
Fecha de entrega: 18-mar.-2022 10:54a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 1787194257

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



Compositos de quitosano funcionalizados con nanopartículas
de óxido de zinc contra bacterias aisladas de aguas residuales
del procesamiento de langostino

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Forestal Y Del Medio
Ambiente

Autor:

Bach. Jhoxer Wilder Guerra Moran

Tumbes, 2022

1

Informe Final (18-03-22)

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	17%	10%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	erecursos.uacj.mx	2%
	Fuente de Internet	
2	pesquisa.bvsalud.org	1%
	Fuente de Internet	
3	eprints.uanl.mx	1%
	Fuente de Internet	
4	cybertesis.unmsm.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.untumbes.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
7	link.springer.com	1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.upch.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
9	Jorge Mauricio Fuentes Fuentes. "Estudio y diseño de materiales de impresión 3d que	1%