



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA QUÍMICA

**SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA A PARTIR DE
PLACAS RADIOGRÁFICAS Y SU APLICACIÓN COMO
BACTERICIDA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

QUÍMICO

AUTOR:

GIAN FRANCO SALGADO LÓPEZ

Riobamba-Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA QUÍMICA

**SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA A PARTIR DE
PLACAS RADIOGRÁFICAS Y SU APLICACIÓN COMO
BACTERICIDA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

QUÍMICO

AUTOR: GIAN FRANCO SALGADO LÓPEZ

DIRECTOR: ING. CARLOS ALCIVAR MEDINA SERRANO

Riobamba-Ecuador

2024

© 2024, Gian Franco Salgado López

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Gian Franco Salgado López, declaro el presente Trabajo de Integración curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de mayo de 2024



Gian Franco Salgado López

172798831-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, “**SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA A PARTIR DE PLACAS RADIOGRÁFICAS Y SU APLICACIÓN COMO BACTERICIDA**”, realizado por el señor: **SALGADO LÓPEZ GIAN FRANCO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Jorge Efrén Silva Yumi PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-05-30
Ing. Carlos Alcívar Medina Serrano DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-30
Dra. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-30

DEDICATORIA

Toda mi dedicación, esfuerzo y sacrificio durante toda mi vida académica y esta investigación es para los 4 pilares de mi vida, a mi mamá, Shakelina; la memoria mi abuela, María; a mis hermanos, Fernando y Gerardo y a mi familia.

Gian

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y al Divino Niño Jesús por permitirme completar mis metas y objetivos. A mi tutor Ing. Carlos Medina por sus conocimientos y apoyo incondicional brindado no solo en esta investigación sino durante toda mi estancia universitaria y ser una inspiración por su dedicación en el desarrollo académico e investigativo. Al Dr. Jorge Silva Yumi por aconsejarme y guiarme cuando no tenía respuesta a las interrogantes planteadas durante toda esta investigación. A la Dra. Magdy Echeverría por sus correcciones y la ayuda constante durante la realización de mi trabajo de titulación. Al Dr. Mauricio Álvarez, por la ayuda y generosidad brindada durante mi estancia en el laboratorio, sus consejos y guía durante gran parte de los experimentos realizados en esta investigación. A la Bq. Yolanda Buenaño por enseñarme, de manera desinteresada, lo bonita que es la microbiología y aprender en el camino a pesar de mi poco gran conocimiento sobre el tema de actividad bactericida a cuál decidí aventurarme. A todos los docentes y técnicos de laboratorio que me tendieron la mano y su ayuda en la investigación. A los amigos y formé antes y durante a mi vida universitaria y que han estado en mis buenos y malos momentos. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo formarme como persona y profesional todos estos años. Y por último a Silvestre, que se fue pronto de esta vida y Felicia que me acompañaron en las largas noches de penumbra que tenía. Gracias infinito a todos quienes confían en mí.

Gian

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE ILUTRACIONES	XII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIV
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación del problema (Incógnita)	3
1.3 Objetivos de la investigación	3
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.4 Justificación	4
1.5 Hipótesis	4
1.5.1 <i>Hipótesis nula (H₀)</i>	4
1.5.2 <i>Hipótesis alternativa (H_a)</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO REFENCIAL	6
2.1 Antecedentes	6
2.2 Bases teóricas	7
2.2.1 <i>Placas radiográficas</i>	7
2.2.1.1 <i>¿Cómo funcionan una placa radiográfica?</i>	8
2.2.1.2 <i>Nanociencia</i>	9
2.2.1.2.1 <i>Nanotecnología</i>	12
2.2.1.2.2 <i>Nanomateriales</i>	14
2.2.1.3 <i>Nanopartículas de plata</i>	18
2.2.1.4 <i>Síntesis de nanopartículas de plata</i>	18
2.2.1.4.1 <i>Reducción Química</i>	18
2.2.1.4.2 <i>Síntesis Verde</i>	19

2.1.5	<i>Caracterización de nanopartículas de plata</i>	20
2.1.5.1	<i>Espectroscopía UV-Vis</i>	20
2.1.5.2	<i>Microscopía electrónica de barrido (SEM)</i>	20
2.1.6	<i>Efectos bactericidas de las nanopartículas de plata</i>	21
2.1.7	<i>Pseudomona Aeruginosa</i>	21
2.1.8	<i>Agave americana</i>	22

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	23
3.1	Área de estudio	23
3.2	Tipo de investigación	23
3.2.1	<i>Por el método de investigación: Cuantitativa</i>	23
3.2.2	<i>Según el objetivo: Aplicada</i>	24
3.2.3	<i>Según el nivel de profundización en el objetivo de estudio: Explicativa</i>	24
3.2.4	<i>Según la manipulación de variables: Experimental</i>	24
3.2.5	<i>Según el tipo de estudio: Laboratorio</i>	24
3.2.6	<i>Según el tipo de inferencia: Deductiva</i>	24
3.2.7	<i>Según el periodo temporal: Transversal</i>	24
3.3	Población de estudio	25
3.4	Tamaño de muestra	25
3.5	Diseño experimental	25
3.6	Modelo estadístico	26
3.6.1	<i>Análisis estadístico inferencial</i>	26
3.6.1.1	<i>Modelo estadístico del diseño factorial</i>	26
3.6.1.2	<i>Hipótesis del modelo</i>	27
3.6.1.3	<i>Análisis de varianza – Tabla ANOVA</i>	27
3.6.1.4	<i>Comparación de medias</i>	28
3.6.1.4.1	<i>Método de diferencia mínima significativa (LSD)</i>	28
3.6.1.5	<i>Verificación de supuestos</i>	30
3.6.1.5.1	<i>Prueba de Shapiro-Wilks para normalidad</i>	30
3.6.1.5.2	<i>Homogeneidad de varianzas</i>	31
3.6.1.5.3	<i>Independencia</i>	31
3.7	Materiales, equipos y reactivos	31
3.7.1	<i>Materiales</i>	31
3.7.2	<i>Equipos</i>	32
3.7.3	<i>Reactivos</i>	35

3.8	Metodología	36
3.8.1	<i>Indicaciones generales</i>	36
3.8.2	<i>Obtención de fibra de cabuya (Agave Americana)</i>	36
3.8.2.1	<i>Análisis proximal de la fibra</i>	37
3.8.2.1.1	Humedad.....	37
3.8.2.1.2	Ceniza	38
3.8.2.2	<i>Hidrólisis de fibra</i>	39
3.8.3	<i>Recuperación de plata</i>	40
3.8.4	<i>Síntesis de nanopartículas e impregnación</i>	41
3.8.4.1	<i>Solución de nitrato de plata</i>	41
3.8.4.2	<i>Síntesis de nanopartículas</i>	42
3.8.4.2.1	Caracterización de nanopartículas	43
3.8.4.3	<i>Impregnación de nanopartículas</i>	43
3.8.4.4	<i>Caracterización de nanocompuesto</i>	44
3.8.4.4.1	Microscopía Electrónica de Barrido	44
3.8.4.4.2	Espectroscopia IR.....	44
3.8.5	<i>Actividad Bactericida</i>	45
3.8.5.1	<i>Preparación de dosis</i>	45
3.8.5.2	<i>Activación de bacteria (Pseudomona aeruginosa)</i>	46
3.8.5.3	<i>Dilución a escala McFarland</i>	47
3.8.5.4	<i>Evaluación Bactericida</i>	47
3.8.5.5	<i>Conteo de CFU/mL</i>	48

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1	Obtención de plata	50
4.2	Síntesis de nanopartículas de plata	50
4.2.1	<i>Caracterización de nanopartículas de plata</i>	51
4.3	Síntesis de nanocompuesto	52
4.3.1	<i>Caracterización de nanocompuesto</i>	54
4.3.1.1	<i>Espectroscopía IR</i>	55
4.3.1.2	<i>Microscopio electrónico de barrido SEM</i>	56
4.3.1.3	<i>Espectroscopia de rayos X de energía dispersa (EDS o EDX)</i>	57
4.4	Actividad bactericida	58
4.5	Diseño factorial	61
4.5.1	<i>Análisis de varianza</i>	62

4.5.2	<i>Comparación de medias</i>	62
4.5.2.1	<i>Método de diferencia mínima significativa (LSD)</i>	62
4.5.3	<i>Verificación de supuestos</i>	63
4.5.3.1	<i>Prueba de Shapiro-Wilks para normalidad</i>	63
4.5.3.2	<i>Homogeneidad de varianzas</i>	64
4.5.3.3	<i>Independencia</i>	65

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
5.1	Conclusiones	67
5.2	Recomendaciones	69

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Forma general del modelo factorial 3x3	26
Tabla 3-2: ANOVA para el diseño factorial $a \times b$	27
Tabla 3-3: Pares de hipótesis para comparar medias del factor A.....	28
Tabla 3-4: Pares de hipótesis para comparar medias del factor B.....	29
Tabla 3-5: Pares de hipótesis para comparar medias de la interacción AB.....	29
Tabla 3-6: Equipos	33
Tabla 4-1: Pico de absorbancia	52
Tabla 4-2: Picos de % Transmitancia de fibra de <i>Agave americana</i> normal.....	55
Tabla 4-3: Actividad bactericida en <i>Pseudomona aeruginosa</i> . Replica 1	59
Tabla 4-4: Actividad bactericida en <i>Pseudomona aeruginosa</i> . Replica 2	60
Tabla 4-5: Datos para modelo factorial 3x3 con dos réplicas	62
Tabla 4-6: ANOVA para la actividad bactericida de nanocompuesto	62
Tabla 4-7: Prueba de diferencia mínima significativa (LSD) a tiempo de contacto	63

ÍNDICE DE ILUTRACIONES

Ilustración 2-1: Primera radiografía realizada por Wilhelm Conrad Röntgen.....	7
Ilustración 2-2: Composición de la placa radiográfica.....	8
Ilustración 2-3: Composición de la emulsión fotográfica	8
Ilustración 2-4: Diagrama de la clasificación de la nanociencia (nanomateriales y nanotecnología).....	10
Ilustración 2-5: Variación del área superficial con el radio de la nanopartícula.....	11
Ilustración 2-6: Soluciones de nanopartículas de CdSe a diferente tamaño.....	11
Ilustración 2-7: Nanotubo de carbono (NTC)	12
Ilustración 2-8: Procesos químico físico en la producción de nanopartículas.....	13
Ilustración 2-9: Proceso de molienda para obtener nanopartículas	14
Ilustración 2-10: Clasificación de los nanomateriales.....	15
Ilustración 2-11: Clasificación de las nanopartículas	16
Ilustración 2-12: Interacción de la luz con las nanopartículas.....	17
Ilustración 2-13: Representación de un nanocompuesto	18
Ilustración 2-14: Mecanismo de síntesis de nanopartículas de plata.....	19
Ilustración 2-15: Proceso de síntesis verde de nanopartículas de plata.....	20
Ilustración 2-16: Mecanismo de acción de los iones Ag^+	21
Ilustración 2-17: <i>Agave americana</i> L.....	22
Ilustración 3-1: Ubicación de la Facultad de Ciencias ESPOCH.....	23
Ilustración 3-2: Selección y obtención de hojas de pencas <i>Agave Americana</i>	36
Ilustración 3-3: Obtención de fibras de cabuya a partir de hojas de <i>Agave americana</i>	37
Ilustración 3-4: Determinación de humedad en Termobalanza	38
Ilustración 3-5: Determinación de cenizas	39
Ilustración 3-6: Hidrólisis básica de fibra de <i>Agave americana</i>	40
Ilustración 3-7: Proceso de extracción de plata de placas radiográficas	41
Ilustración 3-8: Solución de nitrato de plata y su filtrado	42
Ilustración 3-9: Solución de nanopartículas sintetizado a partir de plata recuperada de placas radiográficas.....	42
Ilustración 3-10: Espectroscopía UV-Vis de nanopartículas de plata.....	43
Ilustración 3-11: Impregnación de nanopartículas de plata en fibra de cabuya (<i>Agave Americana</i>)	44
Ilustración 3-12: Espectroscopía de nanocomposito	45
Ilustración 3-13: Dosis de nanocompuesto.....	46
Ilustración 3-14: Bacteria <i>Pseudomona aeruginosa</i> en glicerina.....	46

Ilustración 3-15: Estándar 0,5 McFarland.....	47
Ilustración 3-16: Actividad bactericida	48
Ilustración 3-17: Dosis de nanocompuesto y solución de bacteria.....	48
Ilustración 3-18: Conteo de colonias.....	49
Ilustración 4-1: Peras de plata recuperada de placas radiográficas	50
Ilustración 4-2: Solución de nanopartículas sintetizadas.....	51
Ilustración 4-3: Espectro de absorción UV-Vis de nanopartículas de plata en solución	52
Ilustración 4-4: Fibra de <i>Agave Americana</i> sin tratamiento	53
Ilustración 4-5: Fibra de <i>Agave americana</i> hidrolizada	53
Ilustración 4-6: Fibra hidrolizada e impregnada de nanopartículas de plata	54
Ilustración 4-7: Espectros IR de fibra de <i>Agave americana</i> durante los procesos de hidrólisis e impregnación de nanopartículas de plata.....	55
Ilustración 4-8: Microscopía electrónica de barrido (SEM) de nanocompuesto	57
Ilustración 4-9: Resultados de espectroscopia de rayos X de energía dispersa (EDS o EDX).58	
Ilustración 4-10: Actividad bactericida de nanocompuesto frente a <i>Pseudomona aeruginosa</i> , réplica 1	59
Ilustración 4-11: Actividad bactericida de nanocompuesto frente a <i>Pseudomona aeruginosa</i> , réplica 2	61
Ilustración 4-12: Prueba de Shapiro-Wilks para normalidad generado por SPSS.....	63
Ilustración 4-13: Gráfica de normalidad generado por SPSS.....	64
Ilustración 4-14: Prueba de homogeneidad de varianza generado por SPSS	64
Ilustración 4-15: Grafica de homogeneidad de varianza generado por SPSS	65
Ilustración 4-16: Grafica de independencia generado por SPSS.....	65

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CÁLCULOS

ANEXO B: COMPARACIÓN DE FIBRAS DURANTE LOS TRATAMIENTOS

ANEXO C: INFORME ESPECTROSCOPIA UV-VIS

ANEXO D: INFORME MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO SEM

ANEXO E: CONTEO DE BACTERIAS

RESUMEN

Las placas radiográficas luego de un diagnóstico médico son desechadas sin un tratamiento previo, estos desechos radiográficos contienen en su estructura cristales de haluro de plata que llega a efluentes y suelos generando contaminación. El objetivo del trabajo de investigación fue sintetizar nanopartículas de plata a partir de placas radiográficas y evaluar su aplicación como agente bactericida para la reducción de unidades formadoras de colonias (CFU) de *Pseudomona aeruginosa*. La recuperación de plata se realizó sumergiendo placas radiográficas en una solución de ácido oxálico; la plata recuperada se reaccionó con ácido nítrico formando la sal de nitrato de plata que sirve como precursor para síntesis de nanopartículas; se redujo los iones plata a nanopartículas utilizando borohidruro de sodio e impregnando nanopartículas de plata en fibra de *Agave americana*. Las nanopartículas y nanocomposito se caracterizó empleado técnicas como espectroscopia UV-Vis, espectroscopía IR, microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de rayos X de energía dispersa (EDS o EDX), donde se obtuvieron nanopartículas de plata en solución con un tamaño superior a 20 nm y observando nanopartículas impregnadas a la fibra de cabuya de forma esférica con un diámetro entre los 50 y 100 nm. Se evaluó la actividad bactericida del nanocompuesto en *Pseudomona aeruginosa*, en la dosis 1 (5 %) eliminó el 99,62% de las CFU/mL en el transcurso de las 6 horas de contacto, mientras que la dosis 3 (1 %) redujo un 82,96 % las CFU/mL, el análisis de varianza demostró que el tiempo de contacto que tiene el nanocompuesto con la solución de bacteria influye significativamente en la reducción de CFU/mL. Las nanopartículas de plata sintetizadas a partir de placas radiográficas presentan una actividad bactericida prometedora en *Pseudomona aeruginosa*.

Palabras clave: <PLACAS RADIOGRÁFICAS>, <NANOPARTÍCULAS DE PLATA>, <Agave Americana>, <AGENTE BACTERICIDA>, <Pseudomona Aeruginosa>

0780-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

The radiographic plates after a medical diagnosis were discarded without prior treatment, these radiographic wastes contain silver halide crystals in their structure that reaches effluents and soils generating contamination. The objective of the research work was to synthesize silver nanoparticles from radiographic plates and evaluate their application as a bactericidal agent for the reduction of colony-forming units (CFUs) of *Pseudomonas aeruginosa*. Silver recovery was performed by immersing radiographic plates in an oxalic acid solution; the recovered silver was treated with nitric acid forming the silver nitrate salt that serves as a precursor for nanoparticle synthesis; silver ions were reduced to nanoparticles using sodium borohydride and the impregnated silver nanoparticles in *Agave americana* fiber. The nanoparticles and nanocomposite were characterized using techniques such as UV-Vis's spectroscopy, IR spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM) and dispersed energy X-ray spectroscopy (EDS or EDX), where nanoparticles impregnated with the agave fiber in a spherical shape with a diameter between 50 and 100 nm were obtained. The bactericidal activity of the nanocomposite in *Pseudomonas aeruginosa* was evaluated, in dose 1 (5%) it eliminated 99.62% of the CFU/mL in the 6 hours of contact, while dose 3 (1%) reduced the CFU/mL by 82.96%, the analysis of variance showed that the contact time that the nanocomposite has with the bacterial solution significantly influences the reduction of CFU/mL. Silver nanoparticles synthesized from radiographic plates show promising bactericidal activity in *Pseudomonas aeruginosa*.

Keywords: <RADIOGRAPHIC PLATES>, <SILVER NANOPARTICLES>, <*Agave Americana*>, <BACTERICIDAL AGENT>, <*Pseudomona Aeruginosa*>



Lic. Edison Renato Ruiz López

C.I. 060395704-4

INTRODUCCIÓN

Los residuos radiológicos que son causados por los departamentos médicos y laboratorios de imagenología tan solo en España se reportan más de 40 millones (45 % solo de radiografías) por año, según la Sociedad Española de Radiología Médica (SERAM, 2022), lo que genera materiales que son desechados y no tienen una utilidad previa a un diagnóstico médico. Los componentes que estos contienen haluros de plata (bromuros y yoduros) que terminan en el suelo y efluentes, siendo estas sales perjudiciales para los organismo, en la salud humana al entrar en contacto con zonas donde ocurra gran cantidad de estos desechos; dependiendo de su concentración los síntomas pueden ser como la pigmentación de la piel a un fallo del sistema biológico (Meléndez Balbuena, 2022; Bahar et al., 2023).

La búsqueda de aprovechar esos residuos evitando su desperdicio y generando problemas medio ambientales severos ha sido el paso de placas radiográficas físicas a radiografías digitales (Mayo Clinic, 2022) disminuyendo así la cantidad de placas radiográficas, aunque aún se sigue dando placas en físico. Se ha investigado nuevas alternativas para la recuperación de la plata como metal precioso y poder utilizarlo en otras complicaciones como es en la joyería, electrónica, entre otras industrias (Bahar et al., 2023); entre estas alternativas tenemos su recuperación mediante agentes reductores naturales, es decir, extractos naturales de plantas y vegetales (Meléndez Balbuena, 2022), usando agentes reductores químicos como es el ácido oxálico (Urriquia et al., 2020; Balela et al., 2020); con agentes lixiviantes (Adie et al., 2022; Abd El Gawad et al., 2023); electro deposición (Satyanarayana, Ramesh, 2020); extracción enzimática (Engidayehu, Sahu, 2020); y muchas otras técnicas de reparación de plata a partir de placas radiográficas residuales.

A partir de la plata recuperada es posible sintetizar nanopartículas de plata (AgNPs) empleando métodos químicos. Las AgNPs tiene un tamaño entre los 1 a 100 nm poseen varias propiedades, siendo el principal y la más investigada es su aplicación antimicrobiana al tener efecto bactericida, bacteriostáticos y fungicida (Esquivel Figueredo, Mas Diego, 2021), esto permite aplicar las nanopartículas de plata en diversas áreas de la salud como es por ejemplo en insumos médicos (herramientas quirúrgicas, vendas, catéteres, entre otros), estas partículas atacan a los microorganismos al tener diferentes formas y tamaño, lo cual le permite eliminar a una diversidad de bacterias (Bruna et al., 2021). Para que estas nanopartículas de plata sean estables se impregnan sobre un material de soporte para lograr sintetizar un nanocompuesto el cual tendrá mejores propiedades y sea de mayor utilidad, así como su posterior caracterización (Zanella, 2012). Entre los métodos de síntesis de nanopartículas a partir de una sal de plata, como es el nitrato de plata, tenemos la reducción química la cual puede darse utilizando agentes reductores como alginato de sodio (Chen et al., 2020), borohidruro de sodio (Khatoon et al., 2023), citrato de sodio y que hoy en día

se busca eliminar el uso de agentes químicos se investiga el uso de extractos de plantas con alto contenido de metabolitos secundarios los cuales funcionan como agente reductores los cual se conoce como síntesis verde de nanopartículas de plata (Ratan et al., 2020; Huq et al., 2022).

La *Pseudomona aeruginosa* es una bacteria gran negativa, es conocida por ser un agente oportunista, en otras palabras, produce síntomas de infección cuando el individuo contagiado tiene las defensas bajas al ser un patógeno en infecciones nosocomiales (infección que es adquirida luego de una estancia hospitalaria (Pujol, Limón, 2013)), esta bacteria posee una resistencia hacia lo antibióticos lo cual hace que sea aún en la actualidad difícil de tratar (Paz Zarza et al., 2019; Mina, Shivilal, 2024). Como las nanopartículas de plata tiene un amplio espectro dentro de su efecto bactericida se ha investigado el uso de nanopartículas, la solución, biopelículas, en antibióticos contra esta bacteria y poder combatir las infecciones causadas por esta dentro de laboratorios, así como su mecanismo de acción (Martínez Espinosa et al., 2020; Zhang et al., 2020).

En el siguiente trabajo de investigación, se plantea un problema de investigación el cual contendrá los objetivos, justificación e hipótesis que sirven como solución al problema propuesto. Posterior a esto nuestro marco referencial que contendrá los conceptos básicos y complementarios como es la composición de placas radiográficas, nanociencia, nanopartículas de plata, la caracterización de nanocompuestos, efectos bactericidas de las AgNPs y entre otros temas que nos permite entrar en el contexto de la investigación. Continuamos con el marco metodológico que será una guía base de los procesos a seguir desde la obtención de fibras de *Agave americana*, recuperación de plata, síntesis e impregnación de nanopartículas y el proceso para evaluar el efecto bactericida de nuestro nanocomposito frente a *Pseudomona aeruginosa*. Los últimos dos capítulos presentan los datos obtenidos, el análisis estadístico y su interpretación, ayudando a entender los fenómenos que ocurren en el transcurso de la investigación, aceptando o rechazando las hipótesis y concluyendo con la respuesta los objetivos.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Las placas radiográficas son materiales compuestos que tienen un solo uso, el de presentar una imagen para diagnósticos médicos y quedan en su mayoría obsoletas y sin ningún uso agregado. Estos contienen en su estructura haluros de plata los cuales podrían llegar a basureros sin ningún tratamiento de recuperación y reciclaje, por procesos de lixiviación tanto la plata y las sales de haluro terminan en el suelo y de igual manera a efluentes de agua y contaminar. La plata presente en las placas se podría recuperar para sintetizar nanopartículas y soportarlas en fibras naturales como las de maguey encontradas en hojas de *Agave americana* para crear un nanocompuesto (biocompuesto) con mayor utilidad. Las nanopartículas, por sus propiedades, tiene aplicaciones como agente bactericida, antimicrobiana y antiviral; mientras que la fibra de maguey posee propiedades antioxidantes lo cual permitirá mantener estables las nanopartículas.

1.2 Formulación del problema (Incógnita).

¿Se puede utilizar nanopartículas de plata recuperadas de placas radiográficas y soportadas en fibra de *Agave americana* como agente bactericida en *Pseudomona aeruginosa*?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 *Objetivo General*

- Sintetizar nanopartículas de plata a partir de placas radiográficas y soportarlas en fibras de *Agave americana* para aplicarlas como agente bactericida para *Pseudomona aeruginosa*.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Recuperar nanopartículas de plata usando placas radiográficas soportadas en *Agave americana*.
- Caracterizar nanopartículas de plata soportadas en *Agave americana* usando microscopio electrónico SEM, espectrofotometría de infrarrojo y espectrofotometría UV-Visible.

- Evaluar las nanopartículas de plata soportadas en fibra de *Agave americana* como agente bactericida en *Pseudomonas aeruginosa*.

1.4 Justificación

La extracción de nanopartículas plata a partir de placas radiográficas es un proceso de recuperación importante al reducir la contaminación ambiental y generando un producto de valor y con mayor aplicabilidad en la industria e investigación al desarrollar procesos más eficientes y sostenibles en la producción de materiales avanzados, las nanopartículas al tener tamaño entre 1 a 100 nm y por ende una alta superficie específica la cual va a tener mayor capacidad de interactuar con bacterias y así poder eliminarlas, para poder tener una superficie homogénea y estabilidad de las nanopartículas al soportarlas sobre fibras naturales de *Agave americana*, también llamado fibras de cabuya o solo cabuya, para lo cual este método podría contribuir en la producción de nuevos materiales avanzados con potenciales aplicaciones en el tratamiento de infecciones bacterianas. Mediante a la investigación se plantea sintetizar nanopartículas de plata de alta calidad usando agentes reductores químicos (borohidruro de sodio, NaBH₄) que serán posteriormente soportadas en fibras como es el fique, teniendo en cuenta sus características, como es su forma, tamaño y distribución dentro del compuesto, es decir en las fibras de *Agave americana* (Penca Andina) a esta fibra se realizará un análisis proximal con la finalidad de conocer sus características, y como esta puede afectar en su actividad bactericida, siendo esta información importante para contribuir al desarrollo de nuevos materiales antibacterianos con propiedades mejoradas. Además, esta investigación busca reducir el impacto social y económico que se requiere para el uso de antibióticos, ya que las infecciones bacterianas son un problema de salud pública y el desarrollo de nuevos materiales como son los basados en nanopartículas de plata y fibras de *Agave americana* podría ofrecer una alternativa más económica y sostenible frente al tratamiento de infecciones causadas por bacterias. El proyecto será financiado con los fondos propios del tesista, además se desarrollará como parte del Grupo de Investigación de Materiales Avanzados (GIMA) en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis de investigación (H_i)

Las nanopartículas de plata soportadas en fibra de *Agave americana* actúan como agente bactericida frente a *Pseudomonas aeruginosa*.

1.5.2 Hipótesis nula (H_0)

Las nanopartículas de plata soportadas en fibra de *Agave americana* no actúan como agente bactericida en *Pseudomona aeruginosa*.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFENCIAL

2.1 Antecedentes

En el transcurso de los años se han desarrollado varios métodos para extracción de plata de material radiográfico desechado, uno de estos trabajos y que es de gran impacto dentro de este trabajo es el presentado por (Balela et al., 2020), titulado “Recuperación de plata de placas radiográficas desechadas usando ácido oxálico” con el objetivo de determinar las condiciones de extracción de plata de dichos residuos, donde los resultados de esta investigación proporcionaron que las condiciones óptimas para de extracción es a una concentración de ácido oxálico de 9,97 w/v, temperatura 99,51 °C y tiempo de 16,62 min, obteniendo partículas de plata a escala micrométrica (5 µm) (pág. 6-7). En una investigación similar “Optimización de recuperación de plata a partir de películas radiográficas de rayos X mediante extracción de ácido oxálico con metodología de superficie de respuesta” (Urriquia et al., 2020) trabajando en las mismas condiciones recuperó un 91,82% de plata presente en las placas radiográficas usando una concentración de ácido oxálico 10% w/v a una temperatura de 95 °C por 20 min. (pág. 4), Determinando las condiciones óptimas para la recuperación de plata metálica de placas radiográficas de desecho.

En cuando a la impregnación de nanopartículas, se puede mencionar la investigación “Mejora de la función de la medara en la impregnación superficial de nanopartículas de sílice y plata” por (Tang et al., 2012) donde lograron impregnar nanopartículas de plata en la superficie, además de nanopartículas de sílice, teniendo nanocompuestos de madera-Ag, madera-Si y madera-Si-Ag. Obteniendo materiales con propiedades hidrofílicas por la presencia de Si y antimicrobianas por la presencia de Ag, destacando el desarrollo de la nanotecnología al desarrollar nuevos materiales con funciones particulares (pág., 8).

Las hojas de *Agave americana* (también llamada, pencas de maguey, pencas o agave andino) contiene fibras llamadas cabuya o fique las cuales han venido siendo utilizadas desde la época prehispánica con usos como la elaboración de sacos, cuerdas (Jaramillo, 1992, pág. 65-67). En la búsqueda de materiales estas fibras han sido utilizadas en la elaboración de papel, filtros, refuerzo de materiales (De la Torre y Estrella, 2014, págs. 16-19). Dicho esto, se ha visto una disminución en el uso de este material, por lo que se intentará, con ayuda de la nanotecnología, darle una nueva aplicación al soportar en su superficie nanopartículas de plata que poseen propiedades antimicrobianas, siendo una nueva forma de obtener un nanocompuesto capaz de funcionar como filtro eliminando las CFU (Unidades formadoras de colonias) de bacterias como la *E. Coli*,

Staphylococcus aureus y *Pseudomona aeruginosa*. (Li et al., 2010; Li et al., 2011; Salomoni et al., 2017). El trabajo “Efecto antibacteriano de nanopartículas de plata en *Pseudomona aeruginosa*” por (Salomoni et al., 2017), mostró como resultado después de 12 horas de contacto de las nanopartículas con *Pseudomona aeruginosa* una actividad antibacteriana aproximadamente del 99,9 % en la reducción de CFU/mL.

2.2 Bases teóricas.

2.2.1 Placas radiográficas.

En el siglo XIX se descubrieron los rayos X y con ello la primera radiografía, fue Wilhelm Conrad Röntgen quien logró “fotografiar” sobre una placa de metal la mano de su esposa, como se puede observar en la ilustración 3-1. Este descubrimiento le permitió ganar el premio Nobel de Física en el año de 1901 (Ambrosio, 2021).



Ilustración 2-1: Primera radiografía realizada por Wilhelm Conrad Röntgen

Fuente: Ambrosio, 2021

Las placas radiográficas están compuestas de haluros de plata (Bromuro AgBr, Cloruro AgCl y Yoduro AgI) los cuales son sensibles a la radiación sufriendo transformaciones químicas y formando una imagen “fotográfica”. Los cristales de haluro de plata se distribuyen uniformemente formando una emulsión fotográfica o gelatina depositada sobre una película de poliéster o acetato la cual va a de ser un soporte para la emulsión, se observa en la Ilustración 3-2 una distribución básica de una placa radiográfica (Alcaraz Baños).

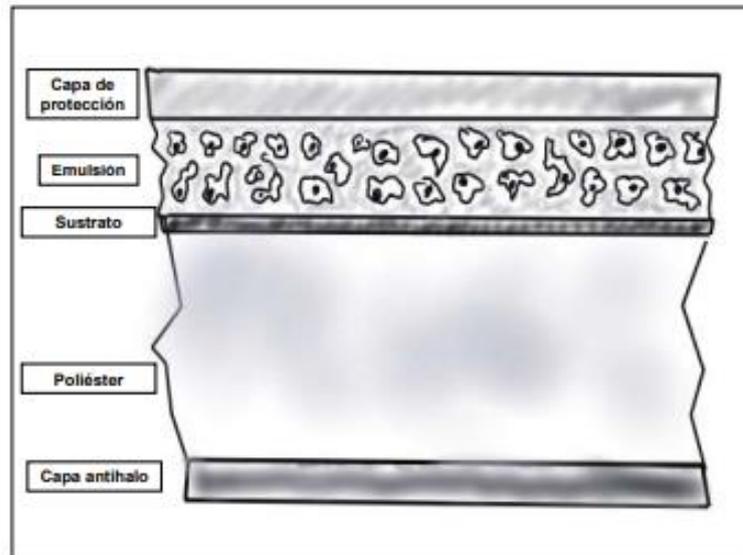


Ilustración 2-2: Composición de la placa radiográfica

Fuente: Alcaraz Baños

El desarrollo de las placas radiográficas ha permitido proporcionar información a los especialistas médicos tener un mayor alcance acerca de los procedimientos que van a realizar, de igual manera es de gran ayuda en la etapa de diagnóstico y preventiva en los tratamientos médicos necesarios para salvaguardar la integridad del paciente (Calva Sánchez et al., 2023 p. 460). Una vez hayan cumplido su función son desechadas y la plata que es destinada a este sector no es recuperado, sin embargo, se han desarrollado varios métodos químicos y electroquímicos para su recuperación (Ramírez Ortega et al., 2009).

1.1.1.1 ¿Cómo funcionan una placa radiográfica?

A continuación, se hablará de manera rápida como ocurre la transformación de la emulsión fotográfica a lo que conocemos a una placa radiográfica revelada.

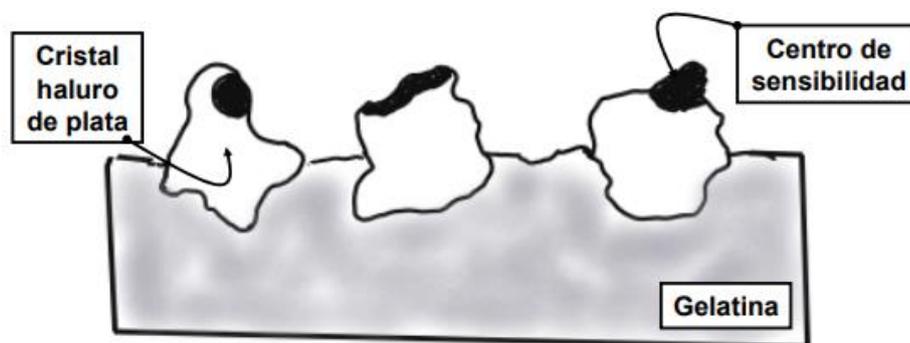
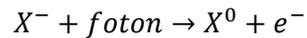


Ilustración 2-3: Composición de la emulsión fotográfica

Fuente: Alcaraz Baños

Se dijo antes que la emulsión estaba compuesta de haluros de plata que son compuestos fotosensibles, pero estos deben tener en su estructura cristalina (red cristalina) defectos, logrando una inestabilidad los cuales van a servir como centro de fotosensibilidad como podemos ver en la Ilustración 3-3. El fotón proveniente de los rayos X afectará al cristal del haluro donde el ion haluro (X^-) absorberá dicho fotón y dará como resultado un electrón libre y un átomo de halógeno. Para un mejor entendimiento de esta primera parte se formula la siguiente ecuación:



Este electrón libre sale de la estructura cristalina dirigiéndose a al centro fotosensible haciendo que los iones plata (Ag^+) se sean atraídos por el campo eléctrico hacia estos centros y reduciéndose a plata cero-valente y haciendo que los puntos fotosensibles se expandan continuamente y alcance un grado de exposición adecuado y produciendo una imagen latente, diciendo entonces que dicha imagen latente está formada por un sin número de centros fotosensibles (Yan et al., 2015).

Por último, los haluros de plata que no fueron expuestos son eliminados y se procede a fijar la imagen radiográfica revelada y que se utiliza en diagnósticos médicos.

1.1.2 Nanociencia.

La nanociencia trata sobre el estudio de sistemas con dimensiones muy pequeñas a escala de los nanómetros ($nm=10^{-9}$ m) combinando varias áreas como es la química, ciencia de materiales y biología, definiéndose entonces como como el estudio de materiales/sustancias que tengan al menos una de sus dimensiones en escala nanométrica además de diseño, construcción y control en la fabricación de materiales con esta escala (Rafique et al., 2020). la nanociencia se divide en dos grandes grupos: nanotecnología y nanomateriales, ambas relacionadas entre sí y en rasgos generales los nanomateriales es un área del estudio de estructura nanométricas (sea una, dos o sus tres dimensiones), sus propiedades y aplicaciones, mientras que la nanotecnología hablará sobre la manipulación (caracterización) y fabricación (síntesis, métodos y mecanismos de obtención) de dichos materiales (Schiavo et al., 2024), observamos la Ilustración 3-4 a manera de resumen de lo hablado.

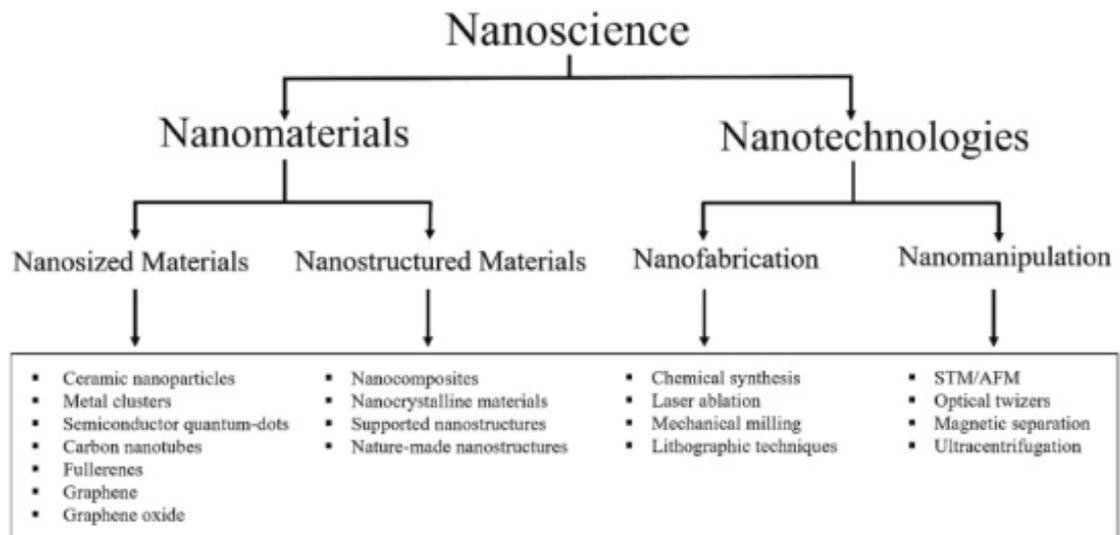


Ilustración 2-4: Diagrama de la clasificación de la nanociencia (nanomateriales y nanotecnología).

Fuente: Schiavo et al., 2024

Como se dijo la nanociencia abarca varios campos de estudio, pero también tiene aplicaciones que van desde la ciencia de materiales a aplicaciones en la electrónica y medicina. La aplicación dentro de la ciencia de materiales ha tenido impacto social y económico ya que permite este desarrollo permite modificar las propiedades de materiales ya conocidos y de igual manera desarrollar nuevos, el cambio de sus propiedades depende de dos factores clave (Mendoza Uribe, Rodríguez López, 2007):

a. Área superficial

Los nanomateriales o bien llamados nanopartículas tienen un radio r y un área superficial que es dado por la siguiente fórmula: $A = 4\pi r^2$, este valor varía a medida que se modifica el tamaño o radio de la partícula, esto se expresa como km^2 por volumen de la nanopartícula en km^3 , si observamos la Ilustración 3-5, al disminuir el radio el área superficial incrementa rápidamente (Amalvy, 2009 pág. 7).

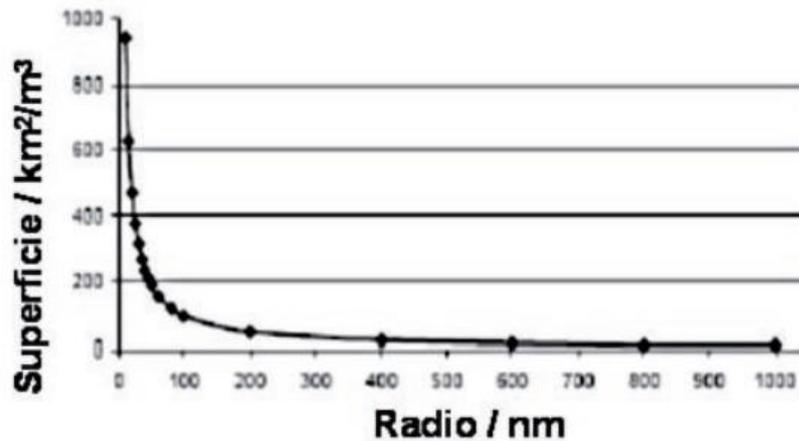


Ilustración 2-5: Variación del área superficial con el radio de la nanopartícula

Fuente: Amalvy, 2009 pág. 7

Como se dijo la modificación del tamaño de la partícula es capaz de producir cambios en las propiedades del material de forma considerable, por ejemplo, al variar por debajo de los 4 nm se ve una disminución sobre el punto de fusión de algunos materiales. Otro ejemplo es su propiedad óptica donde nanocristales de seleniuro de cadmio (CdSe) a diferentes tamaños produce fenómenos ópticos los cuales hacen que las suspensiones coloidales de estas nanopartículas sean de diferente color, como observamos en la Ilustración 3-6, donde a 1,8 nm tiene un color azul mientras que a 4 nm su color es rojo (Amalvy, 2009 pág. 8).



Ilustración 2-6: Soluciones de nanopartículas de CdSe a diferente tamaño

Fuente: Amalvy, 2009 pág. 8

b. Efectos cuánticos

En este caso los efectos cuánticos que se producen provocan cambios en propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas. Tal es el caso del grafito el cual, si tomamos como referencia la mina de un lápiz este no podrá conducir la corriente, sin embargo, si al grafito con el que está compuesto lo desplegamos y formamos nanotubos de carbono (Ilustración 3-7) tendrá comportamiento

eléctrico (Rossi, 2013), siendo este un ejemplo de cómo influye las propiedades de un material al otro solo modificando su estructura y tamaño.

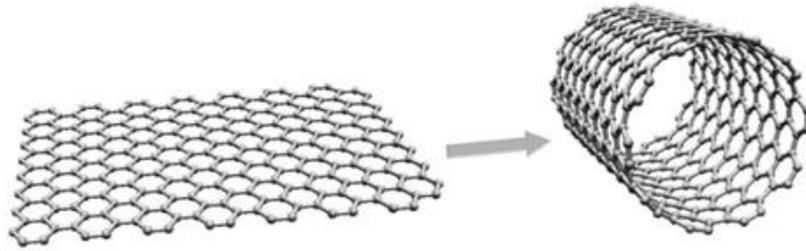


Ilustración 2-7: Nanotubo de carbono (NTC)

Fuente: *Nanotubos de carbono para Infraestructuras inteligentes*, 2017

Entre las aplicaciones más específicas de materiales nanoestructurados tenemos como es en cosméticos, arcillas, recubrimientos, pinturas entre otros. Dentro del área química tenemos el desarrollo de nanocatalizadores siendo usado ampliamente en industrias químicas, petroquímicas y farmacéuticas (Mendoza Uribe, Rodríguez López, 2007).

1.1.2.1 Nanotecnología

La nanotecnología abarca varias disciplinas como es la química, física, ciencia de materiales, ingeniería y fabricación con la finalidad de crear nuevos materiales y sistemas que posean propiedades y características únicas que no son fácilmente o no se podría encontrar en la naturaleza (Bhushan, 2017). La nanotecnología utiliza dos enfoques para crear nanoestructuras y estas son:

a. Síntesis *Bottom-Up*

Este método consiste en sintetizar y crear nanoestructuras a partir de átomos o moléculas individuales, basándose en la idea que las propiedades y características de los nanomateriales estarán determinadas por las propiedades de los átomos y moléculas de las cuales están constituidas (Köhler, Fritzsche, 2008). Para esta síntesis existen diferentes métodos para la obtención de nanopartículas, y entre estas tenemos (López Mora, Gutiérrez Arenas, Cuca García, 2018):

- Evaporación térmica
- Depósito químico en fase vapor
- Preparación de clusters gaseosos
- Implantación de iones
- Método coloidal

- Reducción fotoquímica y radioquímica
- Irradiación con microondas
- Utilización de dendrimeros

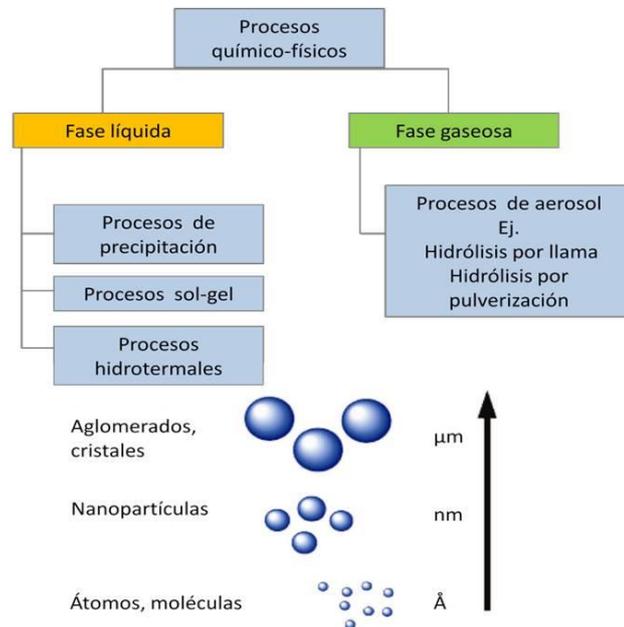


Ilustración 2-8: Procesos químico físico en la producción de nanopartículas

Fuente: Comejo, 2015

b. Síntesis *Top-Down*

Este modo de síntesis permite crear nanoestructuras a partir de materiales macroscópicos, en otras palabras, permite obtener nanoestructuras a partir materiales grandes usando procesos como puede ser el corto o grabado siendo útil para tener materiales de cualquier forma o tamaño (Köhler, Fritzsche, 2008). Entre las técnicas más utilizadas tenemos la litografía y la molienda. Esta última, aunque no la más adecuada, es la más simple al formar nanomateriales por la fricción metánica de los materiales (Sebastián, 2018).

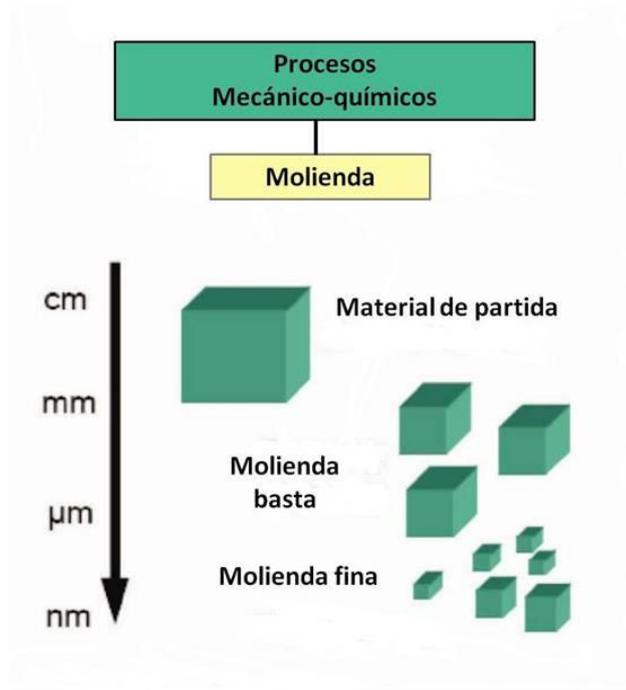


Ilustración 2-9: Proceso de molienda para obtener nanopartículas

Fuente: Cornejo, 2015

1.1.2.2 Nanomateriales

Los nanomateriales en una sustancia que tiene al menos una de sus dimensiones en la escala de 1 a 1000 nanómetros (nm), estos tienen propiedades físicas, químicas y biológicas únicas debido a su tamaño, un ejemplo de esto es el aumento del área superficial frente a las partículas de mayor tamaño (macrométricas), este aumento hace que las nanopartículas puedan interactuar de manera más eficiente al tener una mayor reactividad química y poder reaccionar con otras sustancias de mejor manera siendo más rápida y fácil. La investigación y desarrollo de nuevos nanomateriales ha hecho que estén presentes en muchas áreas de estudio y tener una amplia gama de aplicaciones como puede ser la energía, electrónica y medicina (Alonso Núñez, 2008; Lizarazo Salcedo et al., 2018; Gómez Garzón, 2018).

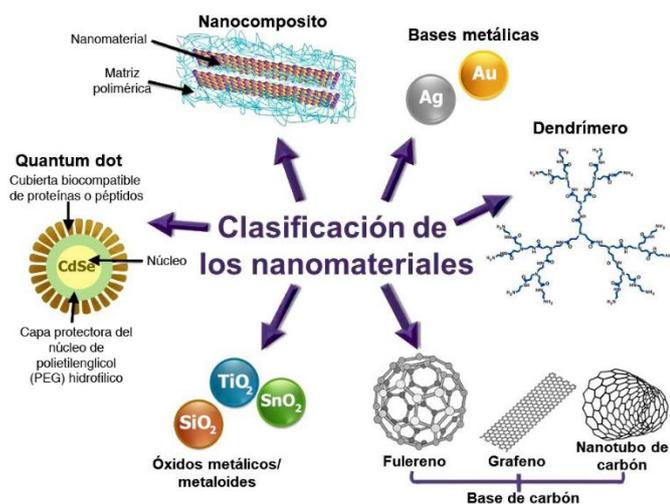


Ilustración 2-10: Clasificación de los nanomateriales

Fuente: Jiménez Barrios, Chirino, 2018

a. Nanopartículas

Las nanopartículas con estructuras de tamaño nanométrico, teniendo solo una de sus dimensiones entre 1 a 1000 nm (un nanómetro es una millonésima parte de un milímetro o una milmillonésima parte de un metro), dichas nanopartículas pueden obtenerse de materiales como metales, cerámicas, polímeros o compuestos, los cuales pueden tener diferentes formas como esferas, cilindros, discos, láminas, entre otras (Scarpellini, 2020). Entre las principales propiedades tenemos:

a. Propiedades ópticas

Está propiedad está determinada por las resonancias y oscilaciones de los electrones dentro de la nanopartícula, aumentando su absorción y dispersión de la luz lo cual va a depender significativamente de la composición, tamaño y forma del nanomaterial (Stefani, 2009).

b. Propiedades químicas

Las nanopartículas van a tener una mayor reactividad al aumentar su superficie específica, lo cual las hace útiles en aplicaciones como catálisis, síntesis de nuevos materiales y medicina.

c. Propiedades biológicas

Se ha desarrollado nanopartículas capaces que administrar medicamentos, estos materiales con nanocápsulas, capaces de medicamento encerrado en la cavidad del polímero y nanoesferas que contienen el medicamento disperso uniformemente dentro de la matriz polimérica. La gran

ventaja sobre esto es que son biodegradables, se descomponen dentro del organismo, se recubren con PEG (polietilenglicol) lo cual permite que circule por el organismo sin degradarse con facilidad hasta llegar a la zona deseada y por último su versatilidad lo cual permite transportar fármacos, ADN; proteínas, péptidos y genes (Mohanraj, Chen, 2006).

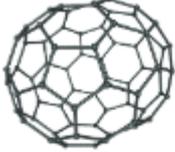
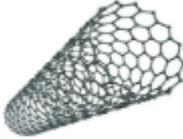
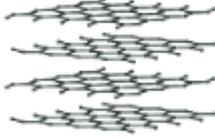
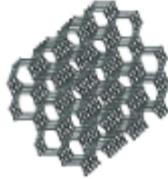
Estructura	Nanomateriales
Cero dimensional (0D) 	<ul style="list-style-type: none"> - Fullerenos - Partículas coloidales - Puntos cuánticos (Qdots) - Nanoclusters - Nanopartículas de Au y Ag
Uni dimensional (1D) 	<ul style="list-style-type: none"> - Nanocables y nanofibras - Nanotubos - Nanovarillas - Fibras poliméricas
Bi-dimensional (1D) 	<ul style="list-style-type: none"> - Monocapas - Nanorrecubrimiento - Películas poliméricas (nano) - Superficies espesor <100nm - Películas multicapa
Tri-dimensional (1D) 	<ul style="list-style-type: none"> - Materiales nanoestructurales - Policristales - Nanobolas - Nanobobinas - Nanoflores

Ilustración 2-11: Clasificación de las nanopartículas

Fuente: Gómez Garzón, 2018

Cuando reducimos el tamaño de la nanopartícula en un intervalo de 1 a 10 nm se puede observar los efectos que esta tiene en sus propiedades, uno de estos aspectos es el confinamiento de los electrones dentro de su estructura, lo que ha dado con el desarrollo de nanopartículas metálicas y semiconductores que tengan efectos cuánticos y mejorando así sus propiedades magnéticas, y conductividad eléctrica, al igual que propiedades termodinámicas como la capacidad calorífica del material, conociéndose estas nanopartículas también como puntos cuánticos (Gutiérrez Wing). Al tener los electrones confinados en un espacio muy pequeño poseen una energía fija los mismos que va a determinar la longitud de onda que emite este punto cuántico al momento que el electrón salta de la banda de valencia a la banda de conducción, diciendo entonces que el tamaño del punto cuántico (nm) va a determinar el color de luz que emite (Sánchez, 2017). Esta propiedad es crucial

ya que nos da una idea del tamaño de nanopartícula que se obtuvo ya que las nanopartículas de un metal van a presentar diferente coloración al varias sus dimensiones.

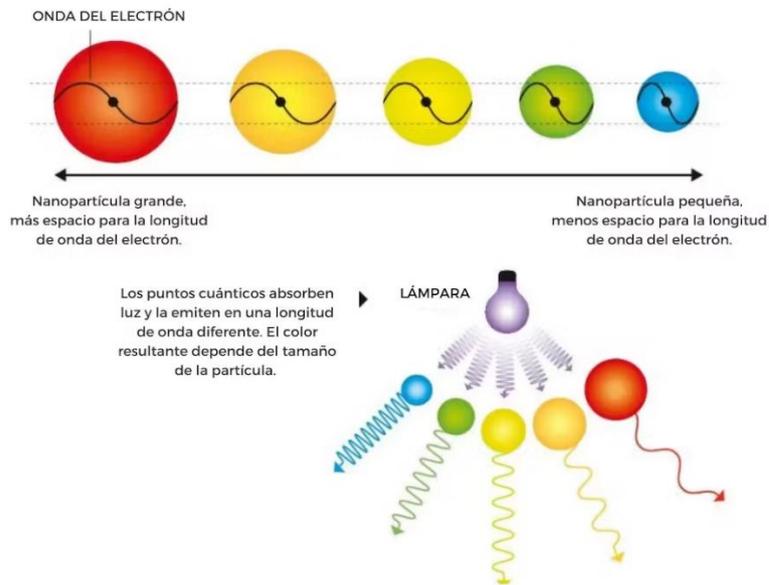


Ilustración 2-12: Interacción de la luz con las nanopartículas

Fuente: Díez Barra et al., 2023

b. Nanocomposito (Nanocompuesto)

Un nanocompuesto o nanocomposito es un material sólido es cual está compuesto por dos fases y una de estas tiene al menos una de sus dimensiones en tamaño nanométrico. Dichas fases interactúan a esta escala logrando propiedades superiores a las de los componentes individuales, entre sus principales características tenemos las siguientes (Omanović Mikličanin et al., 2020):

- Relación superficie-volumen: al tener una fase en escala nanométrica aumenta la superficie para interacciones, mejorando propiedades como adsorción, reactividad y dispersión.
- Propiedades mecánicas: la fase nanométrica ayuda a reforzar la matriz del nanocompuesto, aumentando lo que vendría a ser la resistencia, dureza, ductilidad sin aumentar de manera significativa el peso.
- Propiedades ópticas: al controlar el tamaño y forma de las nanopartículas se puede alterar la interacción con la luz que estas tienen, logrando propiedades como reflectancia, transmisión y emisión.
- Propiedades térmicas: dependiendo la fase matriz los nanocompuestos pueden presentar conductividad térmica o de aislamiento térmico.

- Propiedades eléctricas y magnéticas: la fase nanométrica puede ayudar a conferir estas propiedades al nanomaterial.

Este nanomaterial se puede clasificar de dos formas:

- Según su matriz: Cerámica, Fibra o Polímero y Metal (Omanović Mikličanin et al., 2020).
- Según su método de preparación: sol-gel, intercalación, electrocerámicas, entre otras (Komarneni, 1992).

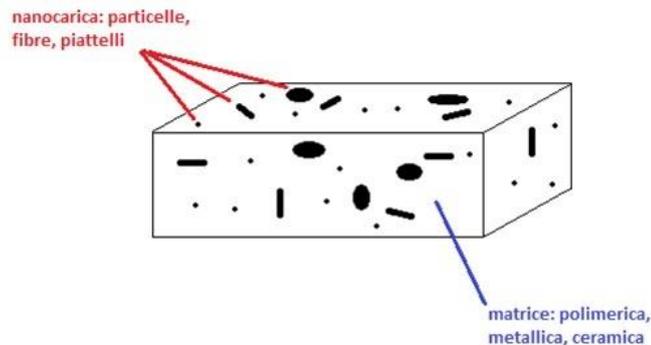


Ilustración 2-13: Representación de un nanocompuesto

Fuente: Fargaschil, 2016

1.1.3 Nanopartículas de plata.

La plata y las nanopartículas de plata (AgNPs) han sido ampliamente utilizadas desde la antigüedad, desde ser considerada un metal precioso y ser usado como joyería, pigmentos en artesanías, vidrio y cerámicas, industria textil a ser empleado para la desinfección de agua a productos medicinales con la finalidad de tratar heridas, prevenir y manejar infecciones, limpiar heridas, actuando también como bactericida (Cardoso, 2016; Martínez et al., 2013).

1.1.4 Síntesis de nanopartículas de plata.

Se han desarrollado varias técnicas y métodos para la producción en función a la aplicación que se desea dar a las nanopartículas de plata, entre las principales técnicas donde su precursor metálico sea nitrato de plata (AgNO_3) tenemos:

1.1.4.1 Reducción Química

Esta técnica permite obtener nanopartículas de plata en forma de suspensión coloidal utilizando agentes reductores y un estabilizante (polímeros o ligandos). Se obtiene AgNPs a partir de precursores como cloruro de plata (AgCl) nitrato de plata (AgNO₃), entre los agentes reductores que se han trabajado con borohidruro de sodio (NaBH₄), como agente reductor fuerte y el citrato de sodio (C₆H₅Na₃O₇) como agente reductor débil (Sánchez Moreno, 2017).

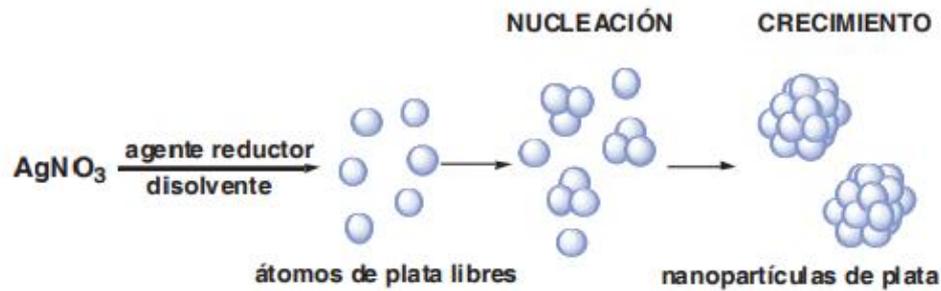
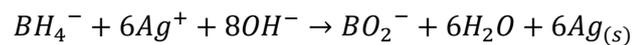


Ilustración 2-14: Mecanismo de síntesis de nanopartículas de plata.

Fuente: Monge Oroz, 2009

El denominado método Creighton, donde como precursor tenemos al nitrato de plata y agente reductor al borohidruro de sodio es el más utilizado y popular actualmente al producir nanopartículas con tamaño aproximado de 10 nm (Monge Oroz, 2009). Para entender de mejor manera como ocurre la reducción química y síntesis de nanopartículas observemos la siguiente reacción:



1.1.4.2 Síntesis Verde

Aunque se trate de una reducción química, la búsqueda por la reducción y/o eliminación de utilizar reactivos químicos que produzcan daño ambiental y en las personas quienes lo manipulan, ha hecho que en los últimos años se desarrolle nuevas alternativas como es la síntesis verde el cual se basa en la reducción de la plata utilizando extractos de plantas que contengan metabolitos secundarios con poder antioxidante (Gómez Garzón, 2018).

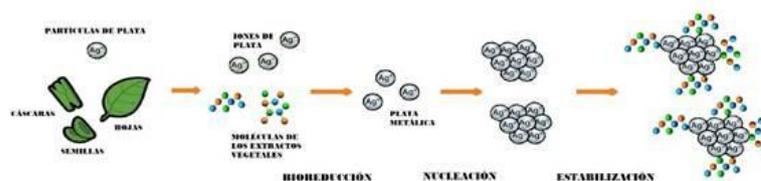


Ilustración 2-15: Proceso de síntesis verde de nanopartículas de plata

Fuente: Gómez Garzón, 2018

1.1.5 Caracterización de nanopartículas de plata.

La caracterización de nanopartículas de plata nos permite comprender y controlar la síntesis ya que nos brinda información como el tamaño y morfología de las AgNPs ya que estas varían de acuerdo con el uso y aplicaciones que se vaya a dar al nanomaterial. Entre las técnicas instrumentales podemos enumerar las siguientes (Sánchez Moreno, 2017):

- Espectroscopía UV-Vis
- Espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)
- Microscopía electrónica de barrido (SEM) y de transmisión (TEM)
- Difusión de luz dinámica (DLS)
- Microscopía de fuerza atómica (AFM)
- Difracción de rayos X (XRD)
- Espectroscopía de rayos X de energía dispersa (EDS o EDX)

1.1.5.1 Espectroscopía UV-Vis

Esta técnica nos permite observar la resonancia de plasmón de superficie (SPR), fenómeno que ocurre al interactuar los electrones de la superficie metálica con ondas electromagnéticas, las nanopartículas de plata en solución interactuarán con ondas que se encuentren en la región UV-Visible (Martínez et al., 2013).

El pico de absorbancia dentro del espectro UV-Vis se puede observar un máximo de entre las longitudes de onda 400 a 450 nm, la intensidad dependerá del tamaño de nanopartícula de plata (Ortiz Dosal, 2014).

1.1.5.2 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Esta técnica es utilizada para obtener imágenes de gran resolución de la superficie de nanomateriales (nanopartículas y nanocompositos), permitiendo observar y determinar aspectos morfológicos, así como el tamaño de las nanopartículas, equipos actuales permiten identificar morfologías alrededor de los 10 nm. Acoplado a la espectroscopia de rayos X de energía dispersa (EDS o EDX) se puede también analizar la composición química del nanomaterial (Sánchez Moreno, 2017).

1.1.6 Efectos bactericidas de las nanopartículas de plata.

Los iones y nanopartículas de plata se usan para el control de infecciones, se encuentran presentes en apósitos, gasas y algodones que sirven como superficies antimicrobianas. Se ha demostrado que las AgNPs poseen mayor actividad bactericida (Cardoso, 2016). Su elevada área superficial hace que tenga una gran actividad bactericida (Moreno Samaniego et al., 2022). El ataque que sufre la bacteria frente a los iones y las nanopartículas de plata, aunque no está claro, se deduce sigue el siguiente esquema (González Jiménez y García, 2020):

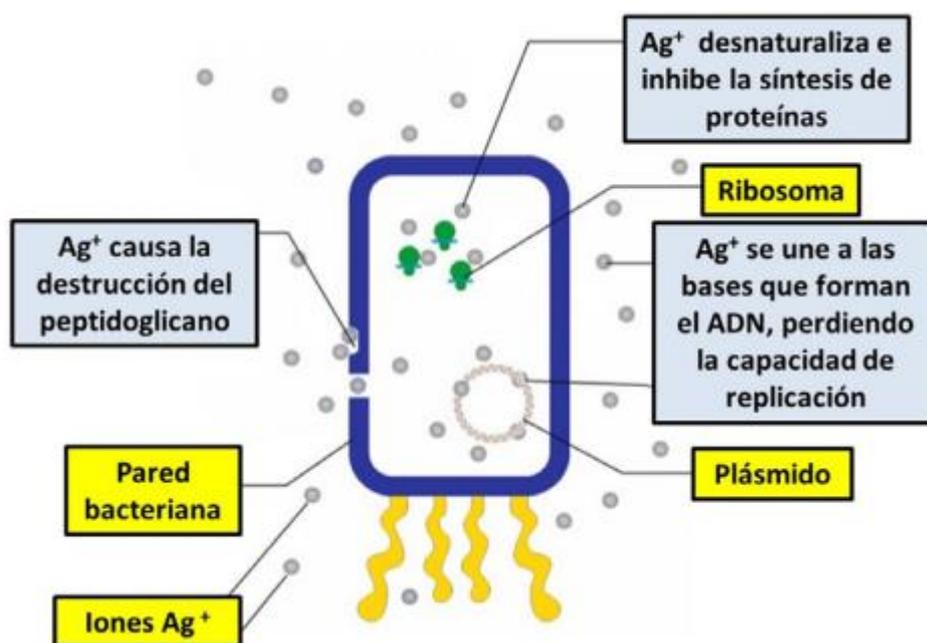


Ilustración 2-16: Mecanismo de acción de los iones Ag⁺

Fuente: González Jiménez y García, 2020

1.1.7 *Pseudomona Aeruginosa*.

La *Pseudomona Aeruginosa* es una bacteria gran negativo la cual se encuentra en el medio ambiente en lugares como el agua y el suelo, es aerobia facultativa, es decir, puede crecer en con o sin presencia de oxígeno, además de sobrevivir en temperaturas extremas, pH extremos y resistir

a la presencia de antibióticos. Es capaz de producir infecciones en humanos como: neumonía, infecciones urinarias y sepsis. Al estar presente en el medio ambiente esta puede ingresar fácilmente al organismo en pacientes inmunocomprometidos (Paz Zarza et al., 2019).

1.1.8 Agave americana

Las plantas del género *Agave* tienen alrededor de 140 especies que crecen en las zonas áridas y semiáridas alrededor del mundo, pero hay 3 que son las de mayor contenido de fibra: *A. tequilana*, *A. sisalana* y *A. americana*. El *Agave americana* es la que se ha utilizado desde la antigüedad para la fabricación de cuerdas, sacos y cordeles, dichas fibras se encuentran en las hojas del *Agave*, así como bebidas ancestrales (Andrade Vargas, 2014).



Ilustración 2-17: *Agave americana* L.

Fuente: Andrade Vargas, 2014

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Área de estudio

Este trabajo de investigación se desarrollará en los laboratorios de la Facultad de Ciencias (Química Instrumental, Análisis Bioquímicos y Bacteriológicos, Investigación, Bromatología y Productos Naturales) y el laboratorio de materiales de la Facultad de Mecánica, ubicados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, dirección Panamericana Sur km 1 ½ en el cantón Riobamba, Chimborazo, Ecuador.

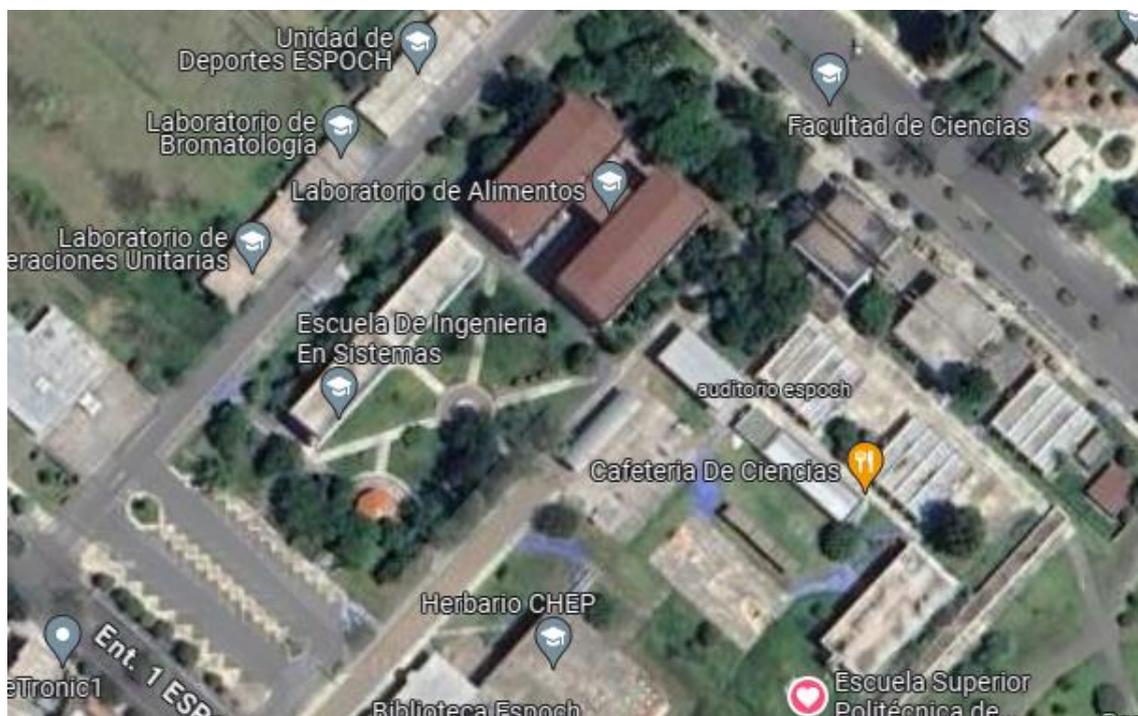


Ilustración 3-1: Ubicación de la Facultad de Ciencias ESPOCH

Fuente: Google Maps 2024, Salgado, G.

3.2 Tipo de investigación

3.2.1 *Por el método de investigación: Cuantitativa*

Se busca evaluar la recuperación de plata a partir de material radiográfico de desecho para sintetizar nanopartículas de plata y soportadas en fibras de *Agave americana*, esto será caracterizado mediante técnicas instrumentales como las espectroscopía IR y UV-Vis, además de un análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de energía dispersa

(EDS), a este nanocompuesto se lo plantea realizar con la finalidad de usarlos bactericida recopilando datos de la actividad que van a desempeñar las nanopartículas sobre las bacterias.

3.2.2 Según el objetivo: Aplicada

Se busca, como objetivo, desarrollar un material compuesto que funcione como bactericida utilizando nanopartículas de plata soportadas en fibra de *Agave americana* mejorando los procesos existentes.

3.2.3 Según el nivel de profundización en el objetivo de estudio: Explicativa

La investigación busca comprender y explicar el proceso de síntesis de nanopartículas recuperadas de residuos radiográficos, su aplicación y efectividad como agente bactericida.

3.2.4 Según la manipulación de variables: Experimental

La manipulación de las concentraciones, temperatura y reactivos para obtener las nanopartículas de plata, así como su impregnación se verán envueltas en esta investigación, además se manipulará las condiciones de trabajo (concentración de nanopartículas, temperatura y tiempo de exposición) del nanocompuesto con las bacterias.

3.2.5 Según el tipo de estudio: Laboratorio

La investigación se llevará a cabo en escala a laboratorio con la finalidad de controlar las condiciones de síntesis, impregnación y efectos bactericidas de las nanopartículas, siendo estos ambientes más controlados e ideales para estudiar los fenómenos.

3.2.6 Según el tipo de inferencia: Deductiva

Se plantea probar la hipótesis sobre la relación que tendría la relación entre la concentración de las nanopartículas de placa recuperadas y soportadas en *Agave americana* como su actividad bactericida realizando experimentos que nos harán llegar a una conclusión.

3.2.7 Según el periodo temporal: Transversal

La investigación busca comprender y evaluar la eficacia de las nanopartículas de plata como bactericida en un momento determinado.

3.3 Población de estudio

En esta investigación tiene como población las placas radiográficas de desecho se han sido recolectadas de centro radiográficos, centros médicos, entre otros medios. La segunda población de estudio es la bacteria *Pseudomona aeruginosa*, la cual se encuentra en glicerol a bajas temperaturas hasta su posterior activación en caldo TSB.

3.4 Tamaño de muestra

En este caso, al tener un tamaño de población pequeña decimos que nuestro tamaño de muestra es igual a la población.

3.5 Diseño experimental

La investigación sigue un modelo tipo experimental el cual sigue los siguientes pasos. Primero se debe recuperar la plata a partir de placas radiográficas, las radiografías de desechos que han sido adquiridas se recortan en pequeños cuadrados que serán sumergidas en solución de ácido oxálico, se separa las placas de plástico de la emulsión, esta última se filtra, seca y se lleva a calcinar en una mufla, terminando con esto la parte de recuperación de plata. En el segundo paso tenemos la síntesis de nanopartículas, la plata metálica recuperada se la hace reaccionar con una solución de ácido nítrico con la finalidad de tener iones de plata los cuales van a reaccionar con una solución de borohidruro de sodio (NaBH_4) como agente reductor, estas nanopartículas para un mejor manejo y estabilidad se las impregnará en fibras de *Agave americana* (cabuya o fique) previamente hidrolizada con hidróxido de sodio (NaOH) obteniendo un nanocompuesto, posterior se lleva a un secado y está lista para llevar a la última parte. El último paso consiste en una solución de bacterias *Pseudomona aeruginosa*, a la que se va a añadir cierto porcentaje (% peso de nanocompuesto/solución de bacteria) en peso de la fibra recubierta con nanopartículas y se tomará cada cierto tiempo alícuotas que servirán para comparar y ver si están tienen actividad bactericida.

Para la parte de caracterización de las nanopartículas se les realizará mediante técnicas instrumentales tales como espectroscopía IR, espectroscopía UV-Vis, microscopía electrónica de barrido (SEM), dispersión de energía de rayos X (EDS) y otras técnicas que permitan su determinación. Se realizará una caracterización a la fibra de *Agave americana* como es ceniza, fibra, humedad, así como su espectro IR antes y después de la hidrólisis básica y el espectro antes y después de impregnar las nanopartículas.

En esta investigación se estudiará el efecto del factor A, correspondiente el tiempo de contacto que tendrá el nanocompuesto con la solución de bacteria y el factor B el cual es la variación de la concentración de la fibra impregnada con nanopartículas. Por lo cual se decide trabajar con un diseño factorial 3x3 respectivamente y con 2 réplicas, permitiendo obtener información relevante en relación entre los factores y su actividad bactericida, así mismo se va a realizar un análisis ANOVA, se tendrá un nivel de significancia de 5% ($\alpha=0,05$) y un nivel de confianza del 95%. No se tomará en cuenta los factores que intervienen sobre la recuperación de plata de placas radiográficas, síntesis de nanopartículas de plata y su impregnación en fibras de *Agave americana* y otros factores que puedan intervenir en la actividad bactericida de las nanopartículas, dicho esto, los factores que se tomarán en cuenta para esta investigación son:

- Factor α : Tiempo de contacto (horas)
- Factor β : Concentración de nanocompuesto (% w/v)
- Variable Dependiente (respuesta): % de reducción de CFU (Unidades Formadoras de Colonias)

Tabla 3-1: Forma general del modelo factorial 3x3

		Factor β			
		B1	B2	B3	TOTAL $Y_{i..}$
Factor α Tiempo de contacto (horas)	A1
	A2
	A3
	TOTAL $Y_{.j}$	$Y_{...}$

Realizado por: Salgado G., 2024.

Lo que se busca con este diseño experimental es aceptar o rechazar la hipótesis de investigación: actúan las nanopartículas de plata soportadas en fibra de *Agave americana* actuar como agente bactericida en *Pseudomonas Aeruginosa*, de igual forma nos ayudará a saber la concentración óptima y el tiempo de contacto que estas deben estar para obtener resultados favorables.

3.6 Modelo estadístico

3.6.1 Análisis estadístico inferencial

3.6.1.1 Modelo estadístico del diseño factorial

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k=1, 2, \dots, n$

μ = media general

α_i = efecto debido al i -ésimo nivel del factor A

β_j = efecto debido al j -ésimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción de la combinación ij

ε_{ijk} = error aleatorio

3.6.1.2 Hipótesis del modelo

Factor A:

H_0 : Efecto del Tiempo de contacto (A) = 0

H_i : Efecto del Tiempo de contacto (A) $\neq 0$

Factor B:

H_0 : Efecto del Concentración de nanocompuesto (B) = 0

H_i : Efecto del Concentración de nanocompuesto (B) $\neq 0$

Factor de la interacción AB:

H_0 : Efecto del Tiempo de contacto \times Concentración de nanocompuesto (B) = 0

H_i : Efecto del Tiempo de contacto \times Concentración de nanocompuesto (B) $\neq 0$

3.6.1.3 Análisis de varianza – Tabla ANOVA

Tabla 3-2: ANOVA para el diseño factorial $a \times b$

Fuente de variabilidad	Suma cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	Valor-p
Efecto A	SC_A	$a - 1$	CM_A	CM_A/CM_E	$P(F_\alpha > F_0^A)$
Efecto B	SC_B	$b - 1$	CM_B	CM_B/CM_E	$P(F_\alpha > F_0^B)$
Efecto AB	SC_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	CM_{AB}	CM_{AB}/CM_E	$P(F_\alpha > F_0^{AB})$
Error	SC_E	$ab(n - 1)$	CM_E		
Total	SC_T	$abn - 1$			

Nota: F_0 : estadístico de prueba; a : niveles del factor A; b : niveles del factor B; n : número de réplicas de cada factor.

Fuente: Gutiérrez Pulido, de la Vara Salazar, 2012

La notación para la suma de cuadrados es:

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{N}$$

$$SC_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i..}^2}{bn} - \frac{Y_{\dots}^2}{N}$$

$$SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j.}^2}{an} - \frac{Y_{\dots}^2}{N}$$

$$SC_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij.}^2}{n} - \frac{Y_{\dots}^2}{N} - SC_A - SC_B$$

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_{AB}$$

Donde $N = abn$ es el total de replicas en el experimento.

3.6.1.4 Comparación de medias

Después de haber rechazado la hipótesis nula en el análisis de varianza, es necesario ver cuáles de los tratamientos es diferente (Gutiérrez Pulido, de la Vara Salazar, 2012).

3.6.1.4.1 Método de diferencia mínima significativa (LSD)

Una vez rechazada la hipótesis nula (H_0) en la tabla ANOVA debemos comparar las medias en y es necesario investigar cuales provocan la diferencia, para lo cual debemos probar la iguales que existe entre todos los posibles pares de medias de hipótesis (Gutiérrez Pulido, de la Vara Salazar, 2012):

- Efecto del factor A:

Tabla 3-3: Pares de hipótesis para comparar medias del factor A

$\mu_{A1} - \mu_{A2}$	$\mu_{A1} - \mu_{A3}$	$\mu_{A2} - \mu_{A3}$
$H_0: \mu_{A1} = \mu_{A2}$	$H_0: \mu_{A1} = \mu_{A3}$	$H_0: \mu_{A2} = \mu_{A3}$
$H_i: \mu_{A1} \neq \mu_{A2}$	$H_i: \mu_{A1} \neq \mu_{A3}$	$H_i: \mu_{A2} \neq \mu_{A3}$

Realizado por: Salgado G., 2024.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) si ocurre:

$$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > LSD_A$$

Denotando LSD_A como:

$$LSD_A = t_{\alpha/2, ab(n-1)} \sqrt{CM_e \left(\frac{1}{n_{A_i}} + \frac{1}{n_{A_l}} \right)}$$

Donde, $t_{\alpha/2, ab(n-1)}$ se lee de la tabla la tabla de distribución T de Student con los grados de libertad del cuadrado medio del error en la tabla ANOVA; n_{A_i} y n_{A_l} al considerar que es un diseño balanceado es total de observaciones en los niveles i y l del factor A, es decir $n_{A_i} = n_{A_l}$ (Gutiérrez Pulido, de la Vara Salazar, 2012).

- Efecto del factor B:

Tabla 3-4: Pares de hipótesis para comparar medias del factor B

$\mu_{B1} - \mu_{B2}$	$\mu_{B1} - \mu_{B3}$	$\mu_{B2} - \mu_{B3}$
$H_0: \mu_{B1} = \mu_{B2}$	$H_0: \mu_{B1} = \mu_{B3}$	$H_0: \mu_{B2} = \mu_{B3}$
$H_i: \mu_{B1} \neq \mu_{B2}$	$H_i: \mu_{B1} \neq \mu_{B3}$	$H_i: \mu_{B2} \neq \mu_{B3}$

Realizado por: Salgado G., 2024.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) si ocurre:

$$|\bar{Y}_j - \bar{Y}_l| > LSD_B$$

Denotando LSD_B como:

$$LSD_A = t_{\alpha/2, ab(n-1)} \sqrt{CM_e \left(\frac{1}{n_{B_j}} + \frac{1}{n_{B_l}} \right)}$$

Donde, $t_{\alpha/2, ab(n-1)}$ se lee de la tabla la tabla de distribución T de Student con los grados de libertad del cuadrado medio del error en la tabla ANOVA; n_{B_j} y n_{B_l} al considerar que es un diseño balanceado es total de observaciones en los niveles j y l del factor B, es decir $n_{B_j} = n_{B_l}$ (Gutiérrez Pulido, de la Vara Salazar, 2012).

- Efecto de la interacción AB

Tabla 3-5: Pares de hipótesis para comparar medias de la interacción AB

$\mu_{A1} - \mu_{B1}$	$\mu_{A1} - \mu_{B2}$	$\mu_{A1} - \mu_{B3}$
$H_0: \mu_{A1} = \mu_{B1}$	$H_0: \mu_{A1} = \mu_{B2}$	$H_0: \mu_{A1} = \mu_{B3}$
$H_i: \mu_{A1} \neq \mu_{B1}$	$H_i: \mu_{A1} \neq \mu_{B2}$	$H_i: \mu_{A1} \neq \mu_{B3}$
$\mu_{A2} - \mu_{B1}$	$\mu_{A2} - \mu_{B2}$	$\mu_{A2} - \mu_{B3}$

$H_0: \mu_{A2} = \mu_{B1}$ $H_i: \mu_{A2} \neq \mu_{B1}$	$H_0: \mu_{A2} = \mu_{B2}$ $H_i: \mu_{A2} \neq \mu_{B2}$	$H_0: \mu_{A2} = \mu_{B3}$ $H_i: \mu_{A2} \neq \mu_{B3}$
$\mu_{A3} - \mu_{B1}$ $H_0: \mu_{A3} = \mu_{B1}$ $H_i: \mu_{A3} \neq \mu_{B1}$	$\mu_{A3} - \mu_{B2}$ $H_0: \mu_{A3} = \mu_{B2}$ $H_i: \mu_{A3} \neq \mu_{B2}$	$\mu_{A3} - \mu_{B3}$ $H_0: \mu_{A3} = \mu_{B3}$ $H_i: \mu_{A3} \neq \mu_{B3}$

Realizado por: Salgado G., 2024.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) si ocurre:

$$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > LSD_{AB}$$

Denotando LSD_{AB} como:

$$LSD_A = t_{\alpha/2, ab(n-1)} \sqrt{CM_e \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n} \right)}$$

Donde, $t_{\alpha/2, ab(n-1)}$ se lee de la tabla la tabla de distribución T de Student con los grados de libertad del cuadrado medio del error en la tabla ANOVA; n es el número de réplicas de los tratamientos a comparar (Gutiérrez Pulido, de la Vara Salazar, 2012).

3.6.1.5 Verificación de supuestos

Para la validez de los resultados obtenidos en el análisis de varianza se debe cumplir con los supuestos del modelo tales como:

- Normalidad
- Varianza constante
- Independencia

Diciendo entonces que la respuesta (Y) para cada tratamiento debe estar distribuida de manera normal, así mismo con la misma varianza en cada tratamiento y las mediciones deben ser independientes (Gutiérrez Pulido, de la Vara Salazar, 2012).

3.6.1.5.1 Prueba de Shapiro-Wilks para normalidad

:

Consiste en verificar si los datos son generados en un proceso normal mediante las hipótesis (Gutiérrez Pulido, de la Vara Salazar, 2012):

H_0 : Los datos proceden de una distribución normal

H_i : Los datos no proceden de una distribución normal

Se rechaza la H_0 si el valor-p es menor a nivel de significancia ($\alpha=0,05$).

3.6.1.5.2 Homogeneidad de varianzas

Este método nos ayuda a verificar los supuestos de varianza constante, es decir que los datos de tratamiento tienen la misma varianza. Se desea probar si las hipótesis de igualdad de varianzas siguiente (Gutiérrez Pulido, de la Vara Salazar, 2012):

$$H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2$$

$$H_0 = \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \text{ para algún } i \neq j$$

Se rechaza la H_0 si el valor-p es menor a nivel de significancia ($\alpha=0,05$).

3.6.1.5.3 Independencia

Se realiza un gráfico en orden de recolección de datos, donde al graficar en el eje vertical los residuos y en el eje horizontal el orden de corrida, si se detecta una tendencia hacia un patrón no aleatorio es evidente que existe una correlación entre los errores por lo que el supuesto de independencia no se cumple. Por otro lado, si se observa un comportamiento de las mediciones en una banda horizontal se cumple el supuesto de independencia (Gutiérrez Pulido, de la Vara Salazar, 2012).

3.7 Materiales, equipos y reactivos

3.7.1 *Materiales*

- Vasos de precipitación 100, 200, 500, 1000 mL
- Matraz Erlenmeyer 125, 250, 500 mL
- Matraz aforad 50, 100 200 mL
- Vidrios reloj

- Crisoles con tapa
- Espátulas
- Embudo simple
- Papel filtro
- Bureta 25, 50 mL
- Pinza para bureta
- Soporte universal
- Desecador
- Asa
- Pinza para crisol
- Pipetas volumétricas 5, 10 mL
- Pera de succión
- Piseta
- Micropipeta
- Puntas para micropipeta
- Gradilla
- Tubos de ensayo
- Papel aluminio
- Gasas
- Algodón
- Jeringa 10 mL
- Termómetro
- Magneto
- Tijeras o estilete
- Hojas de pencas (*Agave americana*)
- Placas radiográficas
- Frascos ámbar
- Placas Petri

3.7.2 *Equipos*

Tabla 3-6: Equipos

<p>Balanza Analítica Marca: Ohaus Modelo: EX224 Precisión: 0,1 mg</p>	 A white analytical balance with a stainless steel weighing pan and a digital display on the front.
<p>Plancha agitación con calentamiento Marca: Fischer Scientific Modelo: 1152049SH</p>	 A blue and white magnetic stirrer/heater with two control knobs and a digital display on the front.
<p>Medidor de pH Marca: Jenway Modelo: 35417-00</p>	 A blue and white pH meter with a digital display and a glass electrode connected to a stand.
<p>Mufla Marca: Thermo Scientific Modelo: FB1410M</p>	 A grey muffle furnace with a digital display and a control panel on the front.
<p>Termobalanza Marca: Radwag Modelo: MA 110.X2.A</p>	 A white thermobalance with a stainless steel weighing pan and a digital display on the front.
<p>Incubadora Marca: Binder Modelo: BD 115</p>	 A grey incubator with a red diagonal stripe on the top left corner and a digital display on the front.

<p>Autoclave Marco: Tuttnauer Modelo: 2340MK</p>	
<p>Reverbero Marca: Genérica</p>	
<p>Espectrofotómetro IR Marca: Jasco Modelo: FT/IR-4100</p>	
<p>Espectrofotómetro UV-Vis Marca: Thermo Electronic Corporation Modelo: Helios Beta</p>	
<p>Metalizador de oro Marca: DentonVaccum Modelo: Desk V</p>	
<p>Microscopio electrónico de barrido (SEM) Marca: JEOL Modelo: JSM-IT100</p>	

<p>Agitador Vortex Marca: MRC Modelo: VM-300</p>	
<p>Microscopio óptico Marca: Fischer Scientific Modelo: AX-501^a</p>	
<p>Baño de ultrasonido Marca: Fischer Scientific Modelo:</p>	
<p>Agitador de cabezal Marca: Wiggins Modelo: WB6000-D</p>	

Realizado por: Salgado G., 2024.

3.7.3 Reactivos

- Agua destilada
- Ácido oxálico
- Ácido nítrico
- Alcohol potable 96%
- Hidróxido de sodio

- Suero Salino 50 mL
- Caldo nutritivo
- Agar TSA
- Estándar 0,5 McFarland
- Caldo TSB
- *Pseudomonas aeruginosa*

3.8 Metodología

3.8.1 Indicaciones generales

Con la finalidad de evitar pérdidas innecesarias, contaminación cruzada y demás incidentes que puedan interferir en la toma de muestras y resultados y reduciendo la necesidad de repetir ensayos que puedan retrasar la investigación, por eso durante todos los procesos se lavó contantemente los materiales, un posterior enjuague con agua destilada para evitar la acumulación de carbonatos presentes en el agua regular y por último un secado en la estufa a 60 °C.

3.8.2 Obtención de fibra de cabuya (*Agave Americana*)

Las hojas de penas (*Agave americana*) fueron obtenidas en de zonas cercanas a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, donde se cortó las hojas desde la zona más cercana a la denominada piña de la penca con la finalidad de obtener la mayor cantidad de fibras, una vez obtenidas las hojas se procese a obtener las fibras:



Ilustración 3-2: Selección y obtención de hojas de pencas *Agave Americana*

Realizado por: Salgado G., 2023

1. Se aplastó las hojas de pencas con objetos contundentes como martillos, piedras y demás con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de material orgánico no deseado.
2. Para eliminar los residuos de hojas y mantener solo las fibras se lavó constantemente con agua.
3. Una vez eliminado la mayor cantidad de material orgánico, se cuelga la fibra y se deja secar por varias semanas en una zona seca.
4. Luego de haber pasado el tiempo prudente se pudo observar como las fibras estaban completamente secas, pero estas contienen aún residuos de hojas que no son necesarias por lo que se debe ir retirando las fibras una por una para eliminar estos residuos y puedan ser utilizados en posteriores procesos.



Ilustración 3-3: Obtención de fibras de cabuya a partir de hojas de *Agave americana*

Realizado por: Salgado G., 2023

3.8.2.1 *Análisis proximal de la fibra*

3.8.2.1.1 Humedad

Para determinar este parámetro se utilizó la Termobalanza, donde se pesó 2,123 gramos de fibra en forma de pequeñas bolitas para una mejor manipulación, se colocó el equipo en un perfil de secado modo estándar y se espera hasta que la pantalla muestre el porcentaje de humedad.



Ilustración 3-4: Determinación de humedad en Termobalanza

Realizado por: Salgado G., 2024

3.8.2.1.2 Ceniza

Antes de realizar el análisis de ceniza de la fibra primero debemos lavar los crisoles a utilizar para eliminar cualquier residuo que pueda alterar nuestro resultado, se secura en la estufa a 60 °C por toda una noche, posterior se deja reposar los crisoles en un desecador de 20 a 30 minutos para tener los materiales encerados y sin presencia de humedad.

1. Pesar los crisoles encerados y anotar sus pesos respectivos.
2. Pesar de 1 a 2 gramos de fibra y colocar en los crisoles.
3. Con ayuda de un reverbero calcinar las muestras en los crisoles eliminando la mayor cantidad de residuos orgánicos.
4. Una vez dejen de desprender humo la fibra esta es llevada a una mufla a 500 °C por dos horas.
5. Pasado este tiempo, los crisoles se colocan de nuevo en un desecador 30 minutos, permitiendo enfriar las cenizas y evitar la humedad.
6. Se pesan los crisoles junto con las muestras y se calcula el porcentaje de cenizas empleando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{(C - B)}{A} \cdot 100$$

Donde,

A = Peso de la muestra

B = Peso crisol

C = Peso crisol más cenizas



Ilustración 3-5: Determinación de cenizas

Realizado por: Salgado G., 2024

3.8.2.2 *Hidrólisis de fibra*

Con la finalidad de mejorar la impregnación de nanopartículas de plata en la superficie de la fibra de *Agave americana* se planteó realizar una hidrólisis básica con una solución de hidróxido de sodio al 5%.

1. Se prepara la solución de hidróxido de sodio al 5 % w/v.
2. Se pesa 6 gramos de fibra y se añadió a la solución básica, que se dejó actuar durante una hora a 200 rpm con ayuda de un agitador magnético o de cabezal.
3. Pasado el tiempo se realizó varios lavados con agua destilada y baño de ultrasonido hasta alcanzar un pH neutro (alrededor de 7), el cual se realizó la medición utilizando un potenciómetro.
4. Alcanzado el pH óptimo se deja secar durante toda una noche en un lugar fresco y seco a temperatura ambiente.



Ilustración 3-6: Hidrólisis básica de fibra de *Agave americana*

Realizado por: Salgado G., 2024

3.8.3 *Recuperación de plata*

Se recuperó plata de placas radiográficas siguiendo el proceso propuesto por (Urriquia et al., 2020; Balela et al., 2020) utilizando las condiciones donde se obtuvo mayor recuperación de plata.

1. Se cortaron las placas radiográficas en cuadros de 2 cm x 2 cm.
2. Se preparó la solución de ácido oxálico a 10 % w/v y se calentó a 90 °C.
3. Una vez alcanzada esa temperatura se añade a la solución caliente 10 gramos de placas que se cortó previamente y con ayuda de un agitador de cabezal se agita a 500 rpm por 30 minutos o hasta observar un desprendimiento de la emulsión que contiene la plata con del film plástico.
4. Se extrajeron los filmes plásticos y si contenía aun rastros emulsión, esta se raspaba con una punta de una tijera y era devuelta a la solución de ácido oxálico.
5. Se filtra la solución y el residuo presente en el papel filtro fue secado a una estufa a 50 °C toda la noche.
6. El filtrado fue puesto en un crisol y llevado a la mufla donde tendrá dos etapas.
7. Primero una calcinación a 500 °C por 3 horas para reducir la cantidad de materia orgánica presente como el papel filtro, residuos de emulsión y plástico que no fue extraído.
8. En la misma mufla y luego de haber pasado las 3 horas se elevó la temperatura a alrededor de 1050°C para fundir la plata, que se encontraba mezclada con las cenizas resultantes y en un fino polvo, formando perlititas de plata que fueron más fáciles de extraer y manipular para posteriores procesos.



Ilustración 3-7: Proceso de extracción de plata de placas radiográficas

Realizado por: Salgado G., 2024

3.8.4 Síntesis de nanopartículas e impregnación

Se sintetizó nanopartículas de plata a partir de la plata recuperada de placas radiográficas para lo cual se planteó una reducción química con borohidruro de sodio (NaBH_4) y una impregnación *in situ*, es decir se va a añadir la fibra previamente hidrolizada en la solución de nitrato de plata.

3.8.4.1 Solución de nitrato de plata

1. Se hizo reaccionar la plata recuperada con ácido nítrico concentrado, la cantidad a utilizar se calculó para usar una equivalencia estequiométrica y no exista ácido nítrico en exceso evitando que pueda intervenir con la síntesis e impregnación de las nanopartículas en la plata.
2. Esta solución de nitrato de plata formada se la aforo a 100 mL, para eliminar restos que podrían haber quedado de cenizas e impurezas se filtró la solución, posterior a esto se hizo una dilución tomando 10 mL de la solución madre y nuevamente aforada a 100 mL.
3. Estas disoluciones formadas nos van a servir para formar una síntesis de nanopartículas de plata previa a la impregnación para corroborar su formación.

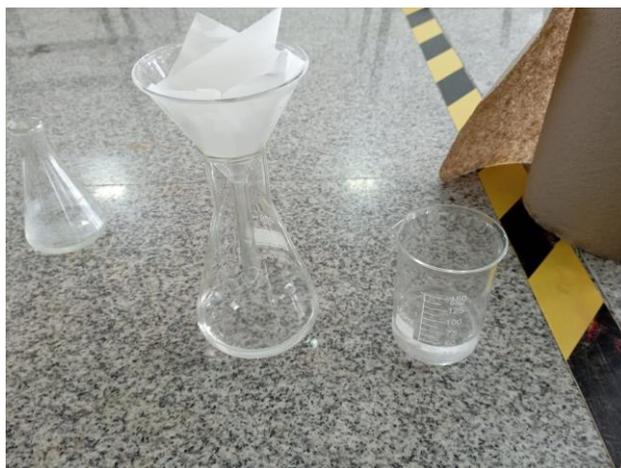


Ilustración 3-8: Solución de nitrato de plata y su filtrado

Realizado por: Salgado G., 2024

3.8.4.2 Síntesis de nanopartículas

1. Se toma una dilución de nitrato de plata y es vertida en un vaso de precipitación apropiado.
2. Se calienta a 90 °C y con agitación constante de 500 a 700 rpm con ayuda de un agitador de cabezal.
3. Se preparó una solución de borohidruro de sodio (NaBH_4) 1 % w/v.
4. Se arma el equipo con un soporte universal, pinza y una bureta donde se añadió la solución de borohidruro de sodio la cual se va a ir añadiendo gota a gota durante una hora.
5. Se observó un cambio de color en la solución a ámbar claro. Se dejó enfriar y se guardó en un frasco ámbar para evitar su descomposición con la luz.

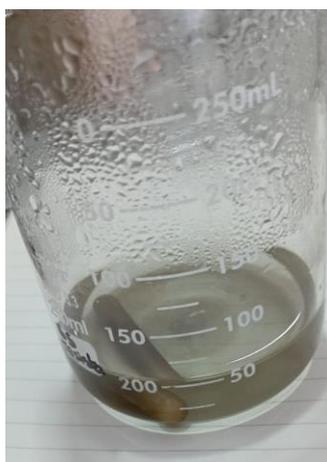


Ilustración 3-9: Solución de nanopartículas sintetizado a partir de plata recuperada de placas radiográficas

Realizado por: Salgado G., 2024

3.8.4.2.1 Caracterización de nanopartículas

1. Se utilizó el equipo de espectrofotometría UV-Vis.
2. Se tomó una alícuota de la solución previa y se corre el análisis en el equipo.
3. La existencia de nanopartículas de plata se evidencia en un pico de absorbancia de 400 a 450 nm.

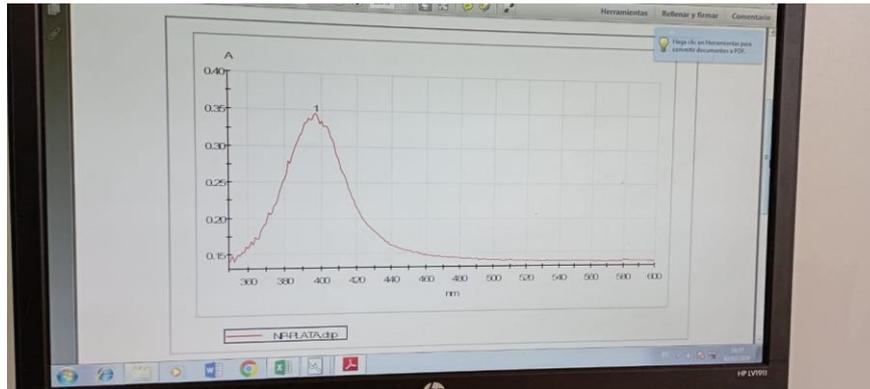


Ilustración 3-10: Espectroscopía UV-Vis de nanopartículas de plata

Realizado por: Salgado G., 2024

3.8.4.3 Impregnación de nanopartículas

Se utilizaron las diluciones previamente realizadas con la solución madre, la fibra hidrolizada y la solución de borohidruro de sodio 1 % w/v. El proceso es similar a la síntesis de nanopartículas, pero antes de añadir el agente reductor (NaBH_4) se añade la fibra hidrolizada en una proporción de 1 g de cabuya por cada 30 mL de solución de nitrato.

1. Una vez consideremos que la impregnación ha acabado el nanocomposito es filtrado y secado a temperatura ambiente por toda una noche en un lugar que no llegue la luz solar directamente.



Ilustración 3-11: Impregnación de nanopartículas de plata en fibra de cabuya (*Agave americana*)

Realizado por: Salgado G., 2024

3.8.4.4 Caracterización de nanocompuesto

Para observar y verificar la composición del nanocompuesto se realizaron dos técnicas como la microscopía SEM y espectroscopia IR.

3.8.4.4.1 Microscopía Electrónica de Barrido

Esta técnica permite observar la impregnación en la superficie de la fibra de cabuya, la conglomeración y complementado al EDS nos verifica la composición.

1. Se deposita una pequeña cantidad de nanocompuesto sobre una fibra de carbono.
2. Se realizó una previa metalización con oro para que la muestra pueda ser visible en el microscopio electrónico de barrido.
3. Se analiza la muestra en el SEM y se observó el nanocomposito con los conglomerados de nanopartículas de plata adosados.

3.8.4.4.2 Espectroscopia IR

Se realizó un espectro IR de la fibra de *Agave americana*:

- Fibra extraída y seca sin ningún tratamiento.
- Fibra hidrolizada.
- Nanocomposito

Para observar los picos de los grupos funcionales y verificar si hubo un cambio en la estructura de la fibra.



Ilustración 3-12: Espectroscopía de nanocomposito

Realizado por: Salgado G., 2024

3.8.5 Actividad Bactericida

El nanocomposito que se obtuvo fue utilizado para evaluar su uso como agente bactericida eliminando *Pseudomona aeruginosa*.

3.8.5.1 Preparación de dosis

1. El nanocomposito fue dividido en dosis o concentraciones en % w/v, es decir, vamos a añadir X g de nanocompuesto en relación con los mL de solución de bacteria (*Pseudomona aeruginosa*).
2. Las dosis fueron tratadas con luz ultravioleta (UV) para eliminar posibles contaminantes no deseados y que puedan interferir en los siguientes pasos, como es la presencia de otras bacterias y microorganismos.



Ilustración 3-13: Dosis de nanocompuesto

Realizado por: Salgado G., 2024

3.8.5.2 Activación de bacteria (*Pseudomona aeruginosa*)

1. Se activa una cantidad de bacteria *Pseudomona aeruginosa* la cual se encuentra en refrigeración en glicerina, colocando 200 μ L en 5 mL de caldo TSB.
2. La solución con bacteria es colocada en una incubadora a 35-37 $^{\circ}$ C por 16 horas.

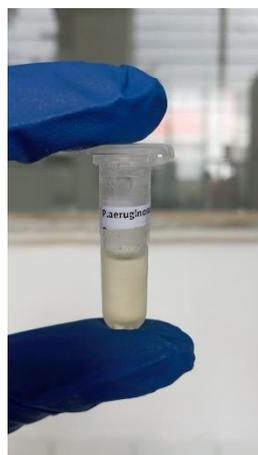


Ilustración 3-14: Bacteria *Pseudomona aeruginosa* en glicerina

Realizado por: Salgado G., 2024

3.8.5.3 Dilución a escala McFarland

1. En 5 mL de solución salina (suero) o caldo TSB es diluido gota a gota la solución de bacterias, que se incubaron en el paso anterior, hasta llevar a una turbidez similar al estándar 0,5 McFarland.

Al llegar al estándar 0,5 McFarland hablamos de que la solución de bacteria tiene una concentración de $1,5 \times 10^8$ CFU/mL



Ilustración 3-15: Estándar 0,5 McFarland

Realizado por: Salgado G., 2024

3.8.5.4 Evaluación Bactericida

En nuestra solución normalizada (0,5 McFarland) añadiremos nuestra dosis de nanocompuesto.

1. Llevada la hora en la que debíamos tomar la alícuota, y se realizó diluciones seriadas.
2. Se tomó 1 mL se vierte en un tubo de ensayo nuevo y se añadió 9 mL de solución salina o caldo TSB. Luego se toma 1 mL se coloca en un nuevo tubo y nuevamente se añade 9 mL de solución salina o caldo TSB, se tiene entonces factores de dilución 10^{-1} , 10^{-2} , etc.
3. Se toman las diluciones, para el tiempo inicial las diluciones: 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , en el caso de una hora: 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , para las 4 y 6 horas se tomará las diluciones 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} .
4. Se inocula 100 μ L de cada dilución en una placa Petri con agar TSA y con ayuda de un asa de Driglaski se extiende por toda la superficie.
5. Los cultivos se llevan a la incubadora por 16 horas a 35-37 °C.



Ilustración 3-16: Actividad bactericida

Realizado por: Salgado G., 2024

Este proceso de lo realiza para cada dosis de nanocompuesto a utilizar.

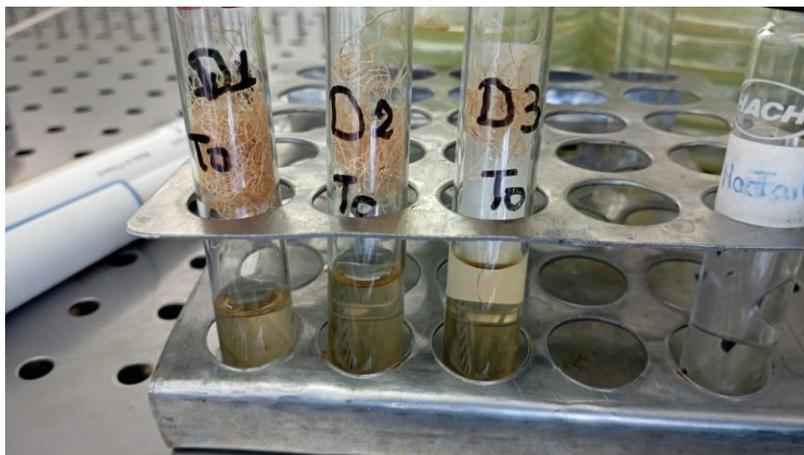


Ilustración 3-17: Dosis de nanocompuesto y solución de bacteria

Realizado por: Salgado G., 2024

3.8.5.5 *Conteo de CFU/mL*

El conteo de las CFU (Unidades formadoras de colonia por sus siglas en inglés) nos ayudó a evaluar la actividad bactericida del nanocompuesto frente a la bacteria *Pseudomona aeruginosa*, al comparar las colonias resultantes con las colonias en el tiempo cero, utilizando la fórmula siguiente que nos dará el porcentaje de reducción de las colonias.

$$\% \text{ Reducción CFU} = \frac{(C - A)}{C} \cdot 100\%$$

Donde, *C* son las colonias en el tiempo cero y *A* son las colonias tomadas a la 1, 4 y 6 horas por cada dosis.

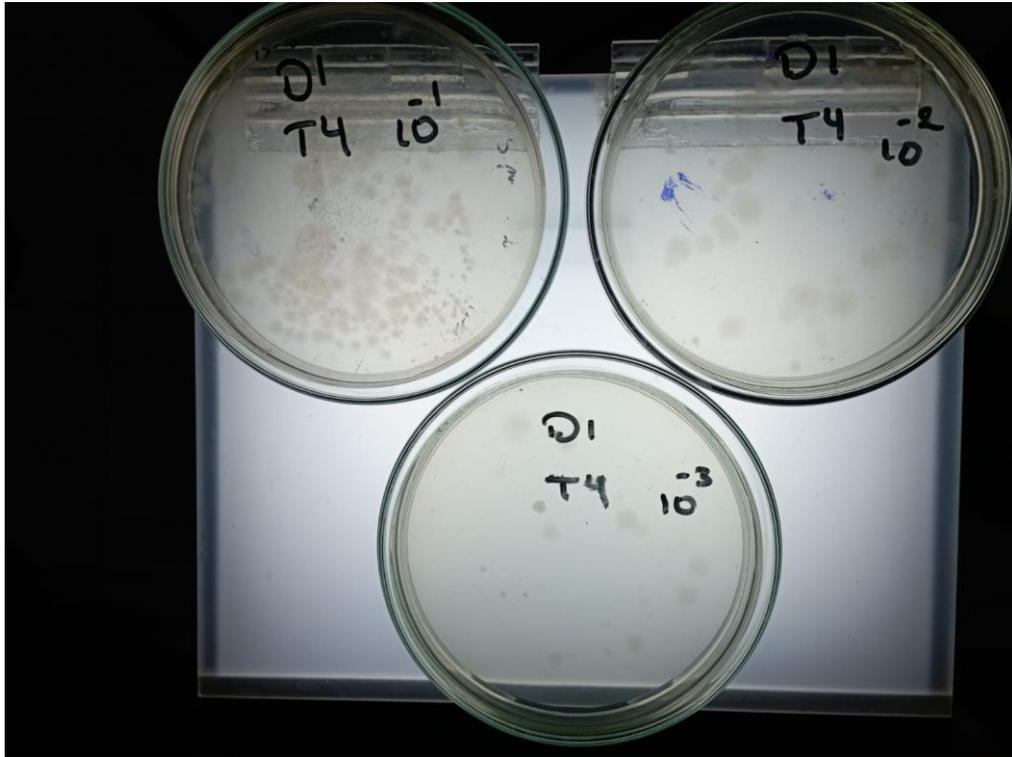


Ilustración 3-18: Conteo de colonias

Realizado por: Salgado G., 2024

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Obtención de plata

A partir de placas radiográficas se recuperó alrededor de 0,111 gramos de plata pura que era fácilmente recuperable, según (Urriquia et al., 2020) las placas radiográficas contienen entre un 1,69 a 2,06 por ciento de plata por cada 10 gramos de radiografía. Si tenemos en cuenta esto podemos decir que no se pudo recuperar ni el 50% de la plata presente para el peso inicial de placas radiográficas, lo que se observó y justifica el bajo rendimiento es la presencia pequeñas perlas de plata estaban impregnadas en el crisol y no podían ser recuperadas al están adheridas a la superficie del material y que no serviría para los procesos subsiguientes, no se pudo hacer por diferencia de peso, es decir, encerar y pesar el crisol antes y después de los procesos de calcinación ya que había residuos de cenizas que provenían de residuos como la film plástico de soporte, papel filtro como se observa en la Ilustración 4-1.



Ilustración 4-1: Peras de plata recuperada de placas radiográficas

Realizado por: Salgado G., 2024

4.2 Síntesis de nanopartículas de plata

El nitrato de plata que se encuentra disociado en la solución tiene dos iones Ag^+ y NO_3^- , el que nos interesa es el ion plata el cual se va a reducir al ir añadiendo gota a gota una solución de borohidruro de sodio, según (Portillo Alejo, 2015) para la síntesis de nanopartículas de plata usando como reductor borohidruro de sodio ($NaBH_4$) se debe usar un exceso de este compuesto para reducir la plata iónica a metálica ayudar a formar nanopartículas de plata estables. La coloración que toma la solución con nanopartículas nos ayuda a ver su formación y forma ya que esta toma un color entre café y amarillo siendo estas nanopartículas de plata con forma circulares y dimensiones nanométricas (Tang et al., 2012). Podemos observar en la Ilustración 4-2 como la solución de nanopartículas de plata tiene una tonalidad ámbar ligero.

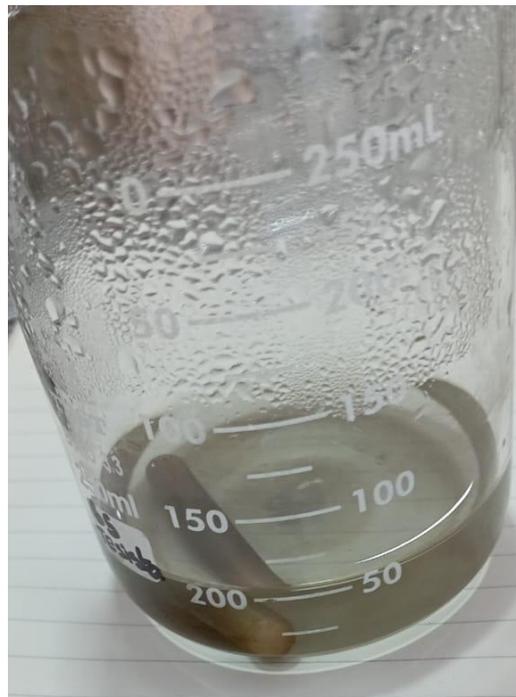


Ilustración 4-2: Solución de nanopartículas sintetizadas

Realizado por: Salgado G., 2024

4.2.1 Caracterización de nanopartículas de plata

La espectroscopía UV-Vis nos permitió observar la resonancia de plasmón de superficie (SPR), el cual es un fenómeno que ocurre al interactuar los electrones de la superficie metálica de las nanopartículas de plata (Martínez et al., 2013). Las nanopartículas de plata presentan un pico de absorbancia alrededor de los 350 a los 450 nm, el sitio de este pico, así como su intensidad va a depender de su concentración, tamaño y morfología de la partícula. Esta técnica no es tan precisa como lo es el microscopio electrónico de barrido (SEM) y espectroscopía de rayos X de energía dispersa (EDS o EDX) los cuales nos permiten, mediante la interacción de un haz electrónico y la muestra, saber su tamaño, forma y composición.

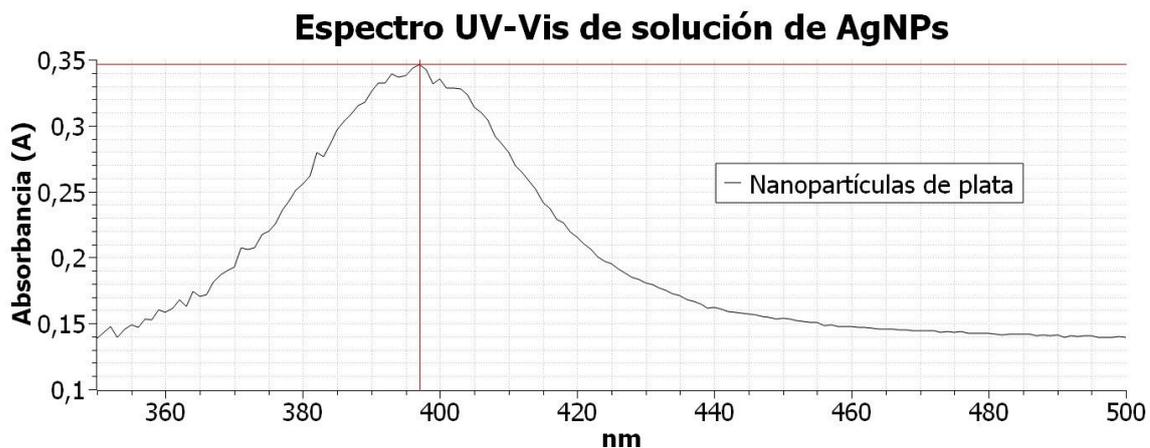


Ilustración 4-3: Espectro de absorción UV-Vis de nanopartículas de plata en solución

Realizado por: Salgado G., 2024

Tabla 4-1: Pico de absorbancia

nm	Absorbancia
397	0,346

Realizado por: Salgado G., 2024

En Ilustración 4-3 se observa una curva de absorbancia que va de los 350 a los 450 nm para lo cual se confirma la presencia y recuperación de nanopartículas de plata a partir de placas radiográficas de desecho, esta curva presenta una alta cantidad de ruido lo que se debe a la cantidad de residuos y materia como cenizas que no pudieron ser filtrados debido a su tamaño. La absorbancia se presenta menor al 0,5 A debido a la baja concentración de nanopartículas de plata en la solución.

En la Tabla 4-1 se observa un pico de absorbancia en los 397 nm, según (Casanova Calvo, 2018) a esta longitud de onda (397) las nanopartículas de plata tienen un tamaño mayor a 20 nm, como esta investigación planea soportar las nanopartículas recuperadas en fibra de cabuya (*Agave americana*) se espera que las nanopartículas tengan un tamaño supere los 50 nm por la aglomeración que estas puedan tener en la superficie de la fibra.

4.3 Síntesis de nanocompuesto

Se pudo observar un cambio de tonalidad de la fibra durante el proceso, fibra sin ningún tratamiento (Ilustración 4-4), fibra hidrolizada (Ilustración 4-5) y fibra hidrolizada e impregnada

con nanopartículas (Ilustración 4-6), lo cual nos da una idea en qué momento del proceso de síntesis del nanocompuesto estamos.



Ilustración 4-4: Fibra de *Agave americana* sin tratamiento

Realizado por: Salgado G., 2024



Ilustración 4-5: Fibra de *Agave americana* hidrolizada

Realizado por: Salgado G., 2024



Ilustración 4-6: Comparación entre fibra hidrolizada e impregnada de nanopartículas de plata

Realizado por: Salgado G., 2024

En la Ilustración 4-4 observamos el color natural de la fibra de *Agave americana* luego de haber retirado todos los residuos de la hoja y materia orgánica que no es indispensable, y teniendo solo la fibra lignocelulósica con una humedad del 10,04 % y un porcentaje de ceniza del 3,17 %. En siguiente imagen, Ilustración 4-5, se observa como la fibra toma un color blanco, según (Morales de la Rosa, 2015) los procesos de hidrólisis de fibras lignocelulósicas permiten la reducción de celulosa cristalina además de aumentar la porosidad de estas fibras al eliminar gran cantidad de lignina y hemicelulosa presente en la estructura, lo cual va a permitir la adhesión y estabilidad de las nanopartículas de plata y formar un nanocompuesto. Por último, en la Ilustración 4-6 podemos observar como la fibra pasó de un color blanco a uno de tonalidad ámbar, con algunas zonas de color amarilla y unas fibras más oscuras lo cual se le atribuye a la impregnación de nanopartículas de plata dentro de la estructura celulósica de la fibra de cabuya.

4.3.1 Caracterización de nanocompuesto

Para la caracterización del nanocompuesto, es decir, la impregnación de nanopartículas de plata en la estructura de la fibra de cabuya se utilizaron tres técnicas, cada una con un propósito diferente.

4.3.1.1 Espectroscopia IR

Esta técnica instrumental nos permite conocer los cambios dentro de la estructura moléculas de la fibra que está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignanos. Al hacer varios barridos de la fibra durante los diferentes procesos como es la obtención de la fibra de cabuya de las hojas de *Agave americana*, la hidrólisis de la fibra y la impregnación de nanopartículas de plata en la fibra de cabuya hidrolizada.

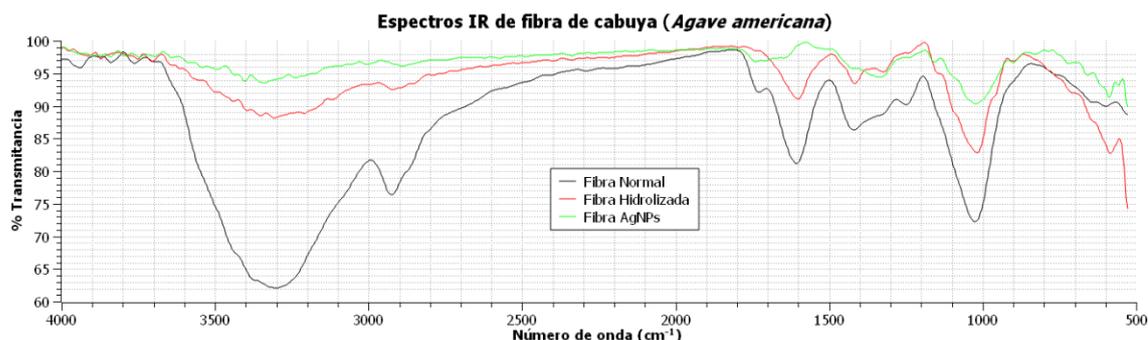


Ilustración 4-7: Espectros IR de fibra de *Agave americana* durante los procesos de hidrólisis e impregnación de nanopartículas de plata

Realizado por: Salgado G., 2024

Tabla 4-2: Picos de % Transmitancia de fibra de *Agave americana* normal

Número de onda (cm ⁻¹)	% Transmitancia
3297,68	62,0977
2923,56	76,3416
1731,76	92,1285
1608,34	81,2126
1419,35	86,2962
1253,50	90,2389
1025,94	72,2108
597,825	89,9511

Realizado por: Salgado G., 2024

En la Ilustración 4-7 vemos los diferentes espectros infrarrojos de la fibra de cabuya durante los diferentes procesos de la investigación. Observamos en la Tabla 4-2 la formación de dos picos intensos en 3297,68 y 2923,56 cm⁻¹ los cuales corresponden al enlace O-H, la intensidad de estos picos se debe tanto los grupos hidroxilo presente en la estructura de la lignocelulósica y la humedad presente en la fibra, recordando lo que se dijo en el anterior apartado, este tenía un 10%

de humedad. Se rescata el pico de $1025,94\text{ cm}^{-1}$, correspondiente al enlace C-O, que nos habla de la presencia de este enlace en la estructura lignocelulósica 4. En la misma ilustración tenemos el espectro IR correspondiente a la hidrólisis básica de la fibra de *Agave americana* donde se ve una disminución en la intensidad de los picos de enlaces O-H y C-O, para lo cual se debe a la disminución de lignina, hemicelulosa y humedad de la fibra, y permitiendo impregnación de nanopartículas de plata en los átomos de oxígeno de la celulosa (Hernández Hernández et al., 2021).

Por último, en el espectro infrarrojo del nanocompuesto, según (Tang et al., 2012) la presencia del pico en 1157 cm^{-1} se da por la interacción de la plata con la superficie de la fibra, además se observa como la intensidad del pico del enlace O-H se atenúa lo cual se debe a la formación de nuevos enlaces O-Ag.

4.3.1.2 Microscopio electrónico de barrido SEM

La microscopía electrónica de barrido permite observar la fibra impregnada con nanopartículas de plata en su superficie y poder saber su morfología y dimensiones, tal y como se observa en la Ilustración 4-8. Se observa la conformación de la fibra de cabuya, como su estructura, la cual es la unión de varias microfibras que le dan propiedades como su elasticidad y resistencia mecánica. Así mismo se puede observar pequeñas partículas impregnadas en estas microfibras, se calculó el tamaño promedio de las partículas tienen un tamaño entre los 50 a 100 nm, para lo cual se concluye que se logró impregnar nanopartículas de plata provenientes de placas radiográficas dentro de la estructura de las fibras de *Agave americana*, se esperó que contengan este tamaño ya que así parte de las nanopartículas de plata van a llegar a disolver en la solución con bacterias y tener así una actividad bactericida al poder ser captados por estos microorganismos y atacar desde su interior, mientras que la parte de nanopartículas que quede en la superficie de la fibra ataque a la membrana de la bacteria.

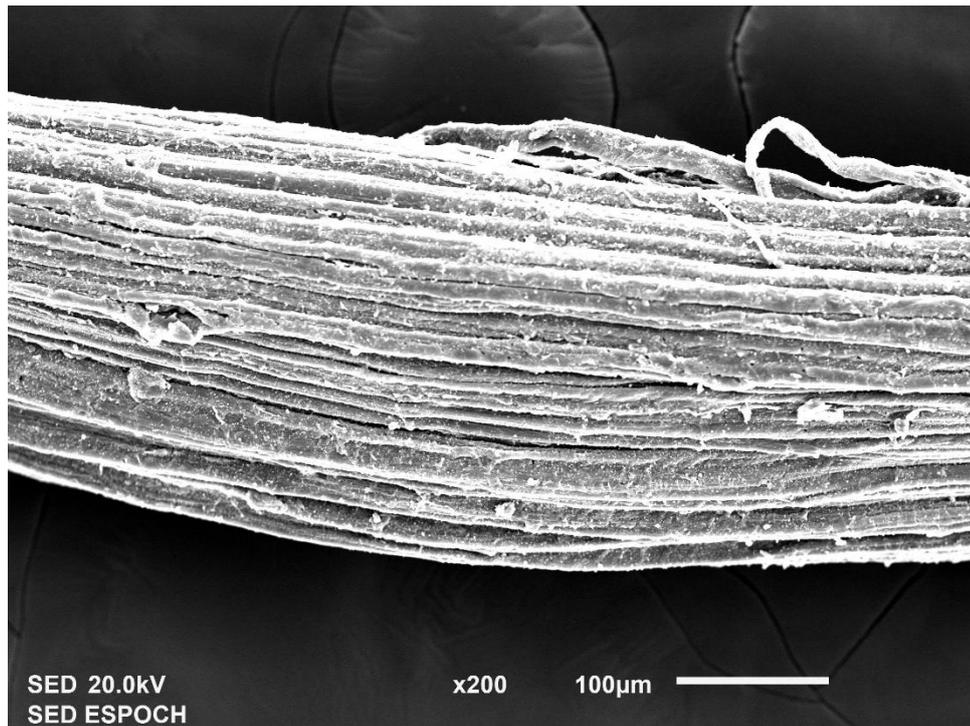


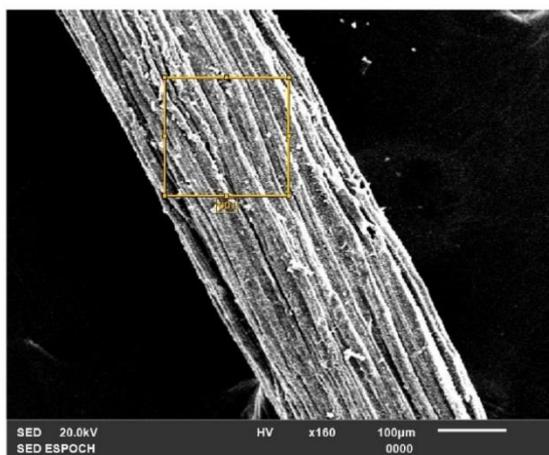
Ilustración 4-8: Microscopía electrónica de barrido (SEM) de nanocompuesto

Realizado por: Salgado G., 2024

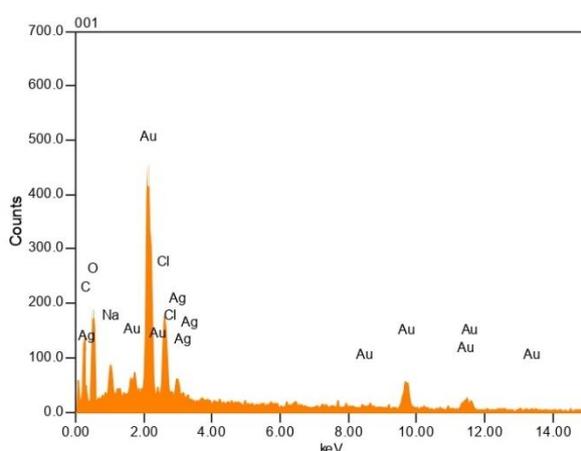
4.3.1.3 Espectroscopia de rayos X de energía dispersa (EDS o EDX)

Acoplado en el microscopio electrónico de barrido (SEM), esta espectroscopía permite saber la composición elemental de la fibra en las regiones a analizar, observando en la Ilustración 4-9 los elementos presentes como es el C y O los cuales provienen de la composición de la fibra, Au que resulta del proceso de metalización realizado antes de añadir la muestra al microscopio electrónico, Na y Cl los cuales provienen de la solución salina junto con la bacteria a la que se añadió la el nanocomposito, y por último se observa que existe un porcentaje de 0,79 % de Ag en la superficie de la fibra lo cual nos da la certeza de presencia de nanopartículas de plata impregnadas en la superficie de la fibra.

Se analizo la fibra luego de haber realizado el tratamiento para comprobar su actividad bactericida y se puede concluir con su posible uso al contener aún plata que puede matar e inhibir el crecimiento microbiano.



Volt : 20.00 kV
 Mag. : x 160
 Date : 2024/03/14
 Pixel : 640 x 480



Acquisition Condition
 Instrument : IT100LA
 Volt : 20.00 kV
 Current : ---
 Process Time : T4
 Live time sec. : 38.76
 Real Time sec. : 39.60
 DeadTime : 1.00 %
 Count Rate : 919.00
 CPS

Formula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	2.94	44.95	0.08	604	0.0095911	K
O	3.45	39.63	0.08	969	0.0169222	K
Na	0.36	2.91	0.02	376	0.0022882	K
Cl	0.96	4.99	0.02	1493	0.0076494	K
Ag	0.79	1.34	0.04	721	0.0052524	L
Au	6.63	6.18	0.10	6103	0.0505061	M
Total	15.13	100.00				

Ilustración 4-9: Resultados de espectroscopia de rayos X de energía dispersa (EDS o EDX)

Realizado por: Salgado G., 2024

4.4 Actividad bactericida

Se llevó a cabo la aplicación del nanocompuesto como agente bactericida, se utilizó 3 dosis de fibra impregnada con nanopartículas de plata y las alícuotas que sirvieron para contar las colonias en el transcurso del tiempo, para entender la notación de las dosis y tiempos se tiene lo siguiente:

D1 = DOSIS 1 – 5%

D2 = DOSIS 2 – 2,5%

D3 = DOSIS 3 – 1%

T0 = 0 HORAS

T1 = 1 HORA

T4 = 4 HORAS

T6 = 6 HORAS

Tabla 4-3: Actividad bactericida en *Pseudomona aeruginosa*. Replica 1

R1		
T0	2x10 ⁶ CFU/mL	
T1	%Reducción de CFU/mL	
DOSIS	D1	69,00%
	D2	72,00%
	D3	65,00%
T4		
DOSIS	D1	99,25%
	D2	97,50%
	D3	99,90%
T6		
DOSIS	D1	99,99%
	D2	98,98%
	D3	89,75%

Realizado por: Salgado G., 2024

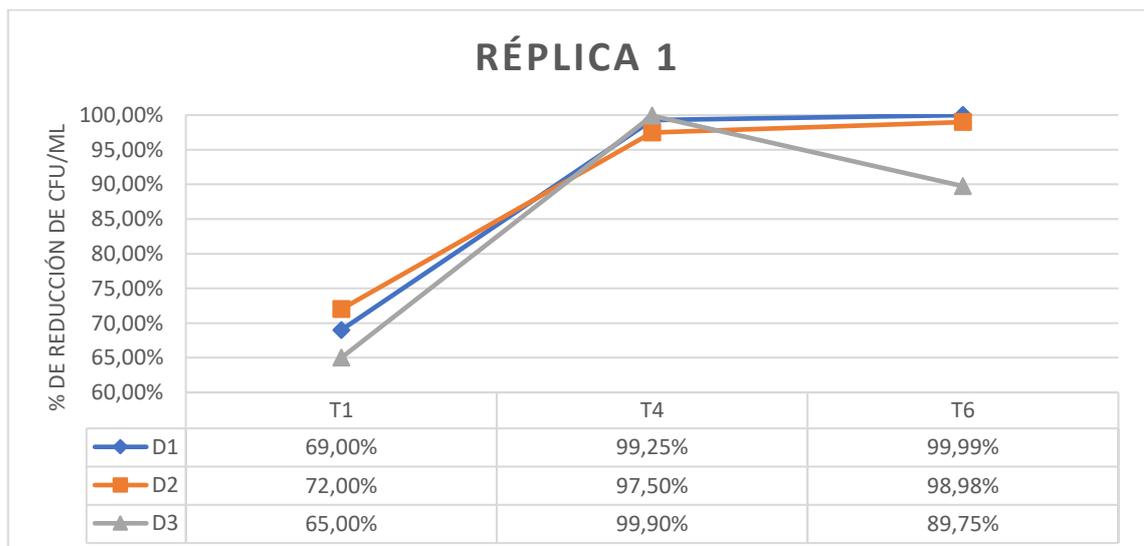


Ilustración 4-10: Actividad bactericida de nanocompuesto frente a *Pseudomona aeruginosa*, réplica 1

Realizado por: Salgado G., 2024

Analizando la Tabla 4-3 e Ilustración 4-10 se observa que la dosis que puede reducir el número de CFU/mL dentro de la solución en relación al tiempo, es decir, tiene mayor eficacia bactericida es la D1 y D2, sobresaliendo la dosis 1 la cual tiene mayor porcentaje de reducción de bacterias, eliminando hasta el 99 % de microorganismos presentes en la solución, por otro lado la D3 presenta una reducción en su actividad bactericida al aumentar las bacterias a las 6 horas, tiempo en el cual ocurre un mayor porcentaje de reducción de CFU/mL a comparación las otras dos dosis, observando una interrelación entre a dosis empleada y el tiempo que esta esté sumergida en la solución

Tabla 4-4: Actividad bactericida en *Pseudomona aeruginosa*. Replica 2

R2		
T0	1,9x10 ⁸ CFU/mL	
T1	%Reducción de CFU/mL	
DOSIS	D1	66,17%
	D2	50,88%
	D3	62,73%
T4		
DOSIS	D1	97,76%
	D2	88,51%
	D3	77,71%
T6		
DOSIS	D1	99,95%
	D2	93,46%
	D3	77,17%

Realizado por: Salgado G., 2024

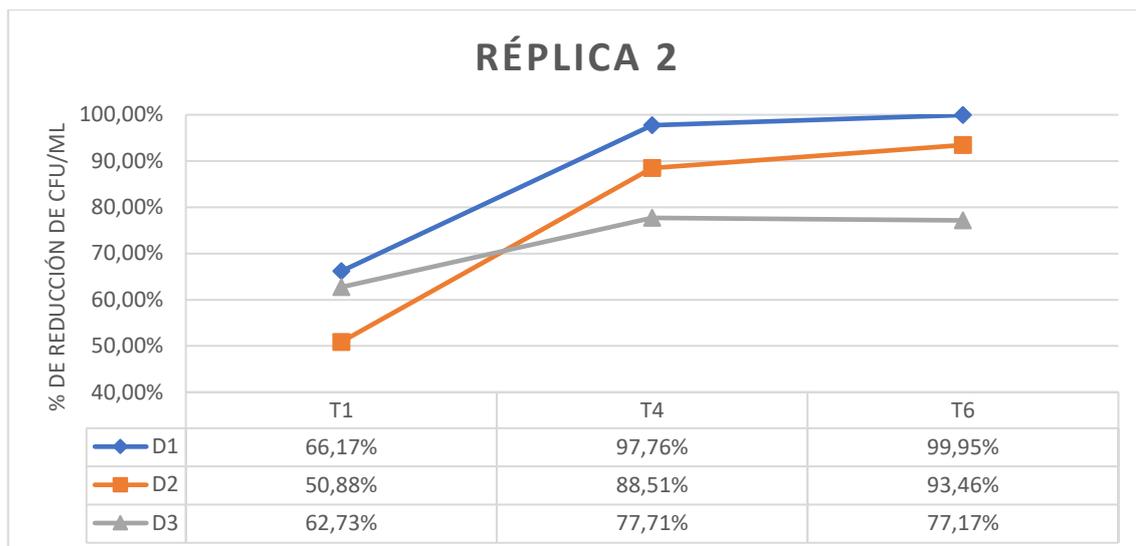


Ilustración 4-11: Actividad bactericida de nanocompuesto frente a *Pseudomona aeruginosa*, réplica 2.

Realizado por: Salgado G., 2024

En la réplica 2 (Tabla 4-4 e Ilustración 4-11) se observa como la dosis uno reduce en un 99% a las 6 horas la cantidad de bacterias con relación a las colonias iniciales ($1,9 \times 10^8$ CFU/mL), siendo esta dosis en el transcurso del tiempo la más eficiente comparando con las otra dosis. De igual forma se observa una pérdida de eficiencia en la dosis 3 a las 6 horas.

En aspectos generales y observando las dos réplicas se dice entonces que D1 y D2 tienen efecto bactericida al reducir, en promedio, 99,62% y 96,22% respectivamente a las 6 horas, siendo este tiempo el óptimo para su aplicación en *Pseudomona aeruginosa*, mientras que D3 tiene porcentaje de reducción del 82,96 % en este tiempo, aunque esta dosis a las 4 horas tiene una reducción de colonias del 88,81 % en promedio, para lo cual se debería tener en cuenta el tiempo que se vaya a utilizar para cada dosis.

4.5 Diseño factorial

Para confirmar lo observado en los gráficos tanto las dosis y el tiempo de contacto se realiza el respectivo análisis estadístico para evaluar la actividad bactericida del nanocomposito. Cada factor por analizar tendrá 3 niveles, con 9 combinaciones y dos réplicas, para lo que esta investigación tendrá 18 datos, nuestro tamaño muestral.

Tabla 4-5: Datos para modelo factorial 3x3 con dos réplicas

		Factor β							
		D1		D2		D3		TOTAL $Y_{i..}$	
Factor α Tiempo de contacto (horas)	T1	69,00	135,17	72,00	122,88	65,00	127,73	385,78	
		66,17		50,88		62,73			
	T4	99,25	197,01	97,50	186,01	99,90	177,61	560,83	
		97,76		88,51		77,71			
	T6	99,99	199,24	98,98	192,44	88,75	165,92	567,83	
		99,25		93,46		77,17			
	TOTAL $Y_{.j}$		531,42		501,33		471,26		1504,01

Realizado por: Salgado G., 2024

4.5.1 Análisis de varianza

Tabla 4-6: ANOVA para la actividad bactericida de nanocompuesto

FV	SC	GL	CM	F_0	Fa	Valor-p	Decisión
Efecto A: Tiempo de contacto	3339,10	2	1669,55	25,05	4,26	0,0002	R. Ho
Efecto B: Dosis	301,60	2	150,80	2,26	4,26	0,1599	A. Ho
Efecto AB	141,33	4	35,33	0,53	3,63	0,7171	A. Ho
Error	599,88	9	66,65				
Total	4381,92	17					

Nota: FV: Fuentes de Variabilidad; SC: Suma Cuadrados; GL: Grados de Libertad; CM: Cuadrados medios, F_0 : estadístico de prueba

Realizado por: Salgado G., 2024

En los resultados de la Tabla 4-6 observamos que el valor-p para el efecto A (Tiempo de contacto) tiene un valor menor al nivel de significancia ($\alpha=0,05$) para lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, diciendo entonces que el efecto A está activo, es decir, influye significativamente en nuestra variable de respuesta (% de remoción de CFU/mL). Por otra parte, el efecto B y efecto AB tiene un valor mayor al nivel de significancia (0,1599 y 0,7171 respectivamente) para lo cual se dice que tales efectos no tienen efecto sobre la variable de respuesta.

4.5.2 Comparación de medias

4.5.2.1 Método de diferencia mínima significativa (LSD)

Como solo ocurrió el rechazo de la hipótesis nula en el efecto A (donde, A1=T1, A2=T4 y A3=T6), se hizo los cálculos respectivos a este. Obteniendo los siguientes resultados:

$$LSD_A = t_{\alpha/2, ab(n-1)} \sqrt{CM_e \left(\frac{1}{n_{A_i}} + \frac{1}{n_{A_l}} \right)} = 2,2622 \cdot \sqrt{66,65 \cdot \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{6} \right)} = 10,6629$$

Tabla 4-7: Prueba de diferencia mínima significativa (LSD) a tiempo de contacto

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
$\mu_{A1} - \mu_{A2}$	* 29,1417 > 10,6629	Significativa
$\mu_{A1} - \mu_{A3}$	* 28,6367 > 10,6629	Significativa
$\mu_{A2} - \mu_{A3}$	0,5050 < 10,6629	No significativa

Realizado por: Salgado G., 2024

Los resultados en la Tabla 4-7 muestran $\mu_{A1} \neq \mu_{A2}$, $\mu_{A1} \neq \mu_{A3}$ y $\mu_{A2} = \mu_{A3}$. Se concluye aceptando la hipótesis nula en la tercera diferencia ($\mu_{A2} - \mu_{A3}$) y se dice que no hay diferencia entre dichas medias en otras palabras a las cuatro(T4) y seis (T6) horas tienen el mismo efecto sobre la bacteria. Por otro lado, se rechaza la hipótesis nula en las dos primeras diferencias ($\mu_{A1} - \mu_{A2}$ y $\mu_{A1} - \mu_{A3}$) aceptando la hipótesis alternativa donde existe diferencias estadísticas entre las medias y ocurre una diferencia del efecto bactericida del T1 frente al T4 y T6.

4.5.3 Verificación de supuestos

4.5.3.1 Prueba de Shapiro-Wilks para normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Residuo para Reducción	,129	18	,200*	,959	18	,591

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Ilustración 4-12: Prueba de Shapiro-Wilks para normalidad generado por SPSS

Realizado por: Salgado G., 2024

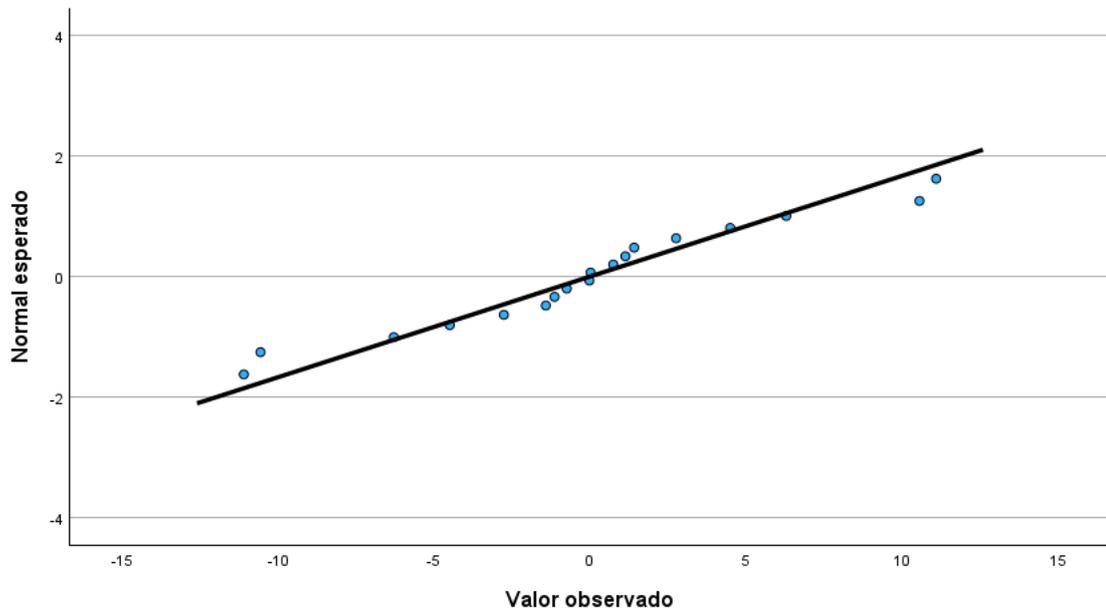


Ilustración 4-13: Gráfica de normalidad generado por SPSS

Realizado por: Salgado G., 2024

El valor-p dado en la Ilustración 4-12 de 0,591, el cual es mayor a nuestro nivel de significancia ($\alpha=0,05$), para lo cual se acepta la hipótesis nula y se dice que los datos provienen de una distribución normal, además la Ilustración 4-13 muestra la distribución de los residuos siguiendo una línea recta así pues observamos que siguen una distribución normal y en definitiva se cumple con el supuesto de normalidad.

4.5.3.2 Homogeneidad de varianzas

		Prueba de homogeneidad de varianza			
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
% de Reducción de CFU/mL	Se basa en la media	,253	2	15	,780
	Se basa en la mediana	,096	2	15	,909
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,096	2	13,676	,909
	Se basa en la media recortada	,224	2	15	,802

Ilustración 4-14: Prueba de homogeneidad de varianza generado por SPSS

Realizado por: Salgado G., 2024

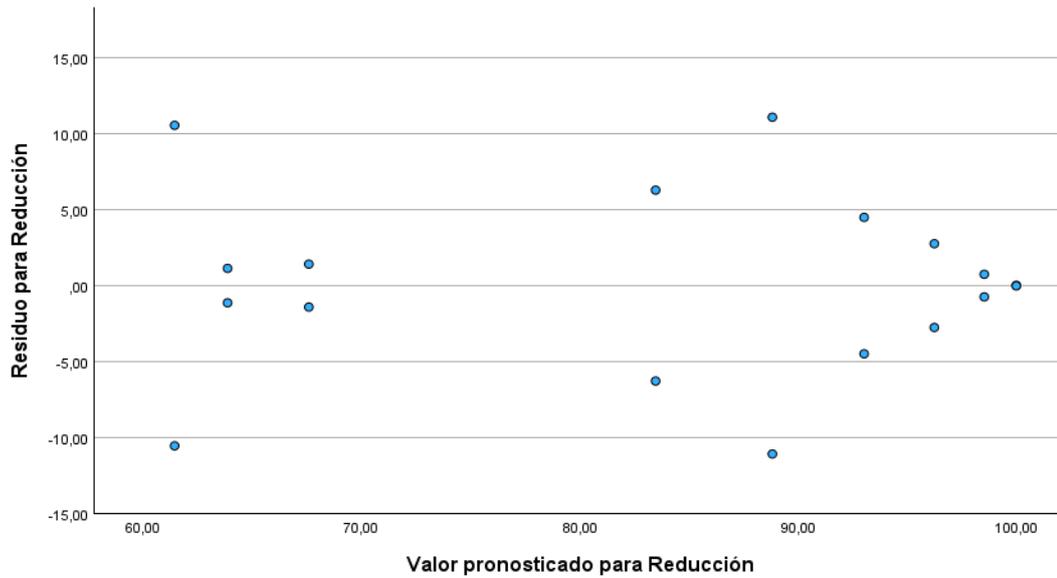


Ilustración 4-15: Grafica de homogeneidad de varianza generado por SPSS

Realizado por: Salgado G., 2024

Para la prueba de homogeneidad de varianza se realizó la prueba de Levene tal como se observa en la Ilustración 4-14 se obtuvo un valor-p de 0,780, siendo mayor al nivel de significancia ($\alpha=0,05$) y además si vemos en la Ilustración 4-15 como los puntos, correspondientes a los datos residuos vs pronosticados, tienden hacia una línea central horizontal (Residuo=0), teniendo ambos aspectos se concluye diciendo que se cumple con el supuesto de homogeneidad de varianza.

4.5.3.3 Independencia

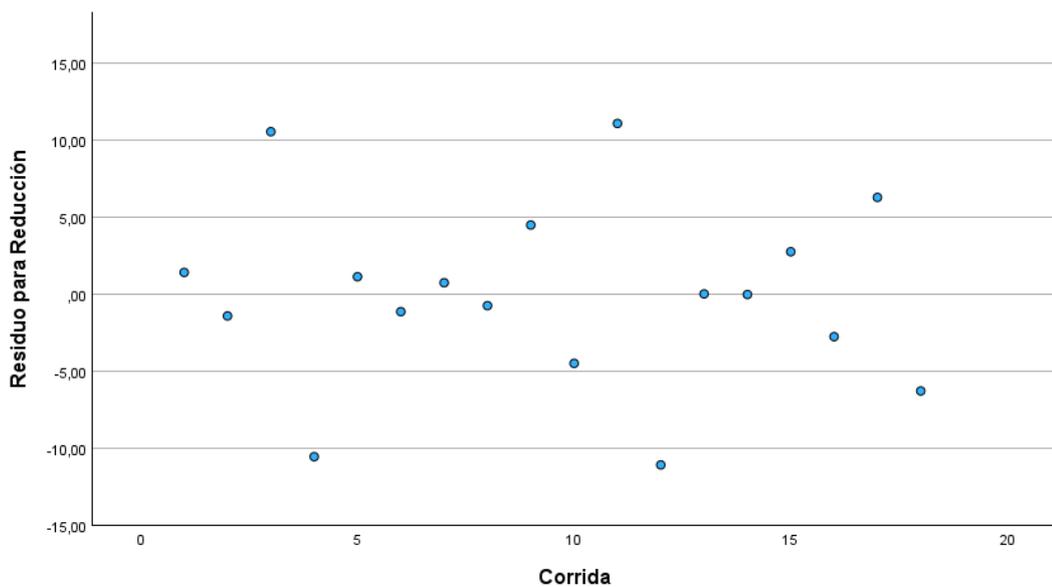


Ilustración 4-16: Grafica de independencia generado por SPSS

Realizado por: Salgado G., 2024

Se observa en la Ilustración 4-16 la aleatorización de los datos obtenidos y no hay una tendencia de los puntos por lo que se concluye diciendo que la investigación cumple con el supuesto de independencia.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se recuperó 0,111 gramos de plata a partir de 20,003 gramos de placas radiográficas, lo cual sirvió como precursor para sintetizar nanopartículas de plata en solución con un tamaño superior a 20 nm que pueden ser impregnadas en las fibras hidrolizadas de *Agave americana* y formular un nanocomposito con propiedades de interés.
- La caracterización del nanocompuesto por espectroscopía IR permitió observar el cambio dentro de la estructura lignocelulósica de la fibra de *Agave americana*, donde el proceso de hidrólisis eliminó gran cantidad de lignina y hemicelulosa presente logrando formar los enlaces O-Ag que impregnó nanopartículas de plata y sintetizar nuestro nanocomposito. De igual forma la microscopía electrónica de barrido (SEM) junto a la espectroscopia de rayos X de energía dispersa (EDS o EDX) determinó un 0,79 % en peso de plata impregnada en la superficie de la fibra de cabuya, con conglomerados de diámetro entre los 50 a 100 nm.
- Se evaluó la actividad bactericida del nanocompuesto para *Pseudomona aeruginosa*, donde sumergió diferentes dosis de fibra impregnada con nanopartículas, la dosis 2 (2,5 %) y dosis 1 (5 %) eliminan en promedio el 96,22 % y 99,62 % respectivamente a las 6 horas de entrar en contacto con las bacterias, siendo estas dos las más efectivas en *Pseudomona aeruginosa* en este lapso, mientras que la dosis 3 (1 %) reduce en un 82,96 % de CFU/mL al final del experimento. los resultados junto con el análisis de varianza en lo que respecta a actividad bactericida, el tiempo de contacto que tiene el nanocompuesto con la solución de la bacteria influye significativamente en nuestra variable de respuesta (% de reducción de CFU/mL), por el contrario, las dosis no tienen un efecto sobre dicha variable. Dicho en otras palabras, para aplicar el nanocomposito como bactericida en *Pseudomona aeruginosa* se debe tener en cuenta el tiempo que estará en contacto en la solución de la bacteria.
- La investigación probó la actividad bactericida de un nanocompuesto a base de fibra de *Agave americana* impregnada con nanopartículas de plata recuperadas de placas radiográficas, reduciendo el número de CFU/mL de *Pseudomona Aeruginosa* en un porcentaje promedio mayor a 90 %, de acuerdo a los antes mencionado y los análisis de los resultados como es el análisis estadístico inferencia y verificación de supuestos se acepta

la hipótesis de investigación, diciendo entonces que las nanopartículas de plata soportadas en fibra de *Agave americana* actúan como agente bactericida para *Pseudomonas aeruginosa*.

5.2 Recomendaciones

- Disponer de un crisol especializado en la fundición de plata (crisol de zirconio) mejorando la eficiencia en la recuperación de plata.
- Se recomienda reutilizar utilizar la solución de nanopartículas de plata sobrante luego del proceso de impregnación en la fibra de *Agave americana*, aprovechando la mayor cantidad de plata que de plata recuperada.
- Utilizar técnicas de caracterización de alta resolución, para evaluar la impregnación de nanopartículas de plata en la matriz celulósica de la fibra de cabuya como es la microscopía electrónica de transmisión (TEM).
- Es propone evaluar el nanocomposito frente a otros microorganismos para comprobar su efecto bactericida con el fin de ampliar su uso en futuras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ABD EL GAWAD, Hebe Ali; et al.** “Silver withdrawal from X-Ray waste via leaching and sorption techniques: Appraisal ideal treatment factors”. *Egyptian Journal of Chemistry* [en línea], 2023, (Egipto). vol. 66 (5), págs. 509-522. [Consulta: 3 abril 2024]. ISSN 0449-2285. Disponible en: <https://doi.org/10.21608/ejchem.2023.206887.7889>
2. **ADIE, Gilbert U; et al.** “Optimizing silver extraction potential from waste X-Ray films using acid and alkaline leaching agents”. *Annals of Science and Technology* [en línea], 2022, (Nigeria) vol. 7 (2), págs. 21-28. [Consulta: 2 abril 2023]. ISSN 2-544-6320. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/ast-2022-0006>
3. **ALCARAZ BAÑOS, Miguel.** *La película radiográfica* [en línea]. [Consulta: 13 diciembre 2023]. Disponible en: <https://webs.um.es/mab/miwiki/lib/exe/fetch.php?media=lectura-10.pdf>
4. **ALONSO NÚÑEZ, Gabriel.** “Nanoquímica: Ingeniería de Nanomateriales”. *Mundo nano* [en línea], 2008, (México), vol. 1 (1), págs. 45-50. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 2448-5691. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-56912008000100045&script=sci_arttext
5. **AMALVY, Javier I.** “Nanociencias y nanotecnología. Nociones y aplicaciones”. *Ciencia e Investigación* [en línea], 2009, (Ecuador), vol. 59 (1), págs. 4-14. [Consulta: 14 diciembre 2023]. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/137613/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
6. **AMBROSIO, Ricardo.** *Por la historia de la Medicina. Los rayos X.* [en línea]. 2021. [Consulta: 14 diciembre 2023]. Disponible en: <https://gaceta.facmed.unam.mx/>
7. **ANDRADE VARGAS, Valeria Estefanía.** Caracterización nutricional y desarrollo de productos alimenticios a partir de ecotipos locales de *Agave americana* L. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad del Azuay, Ecuador. 2014. [Consulta: 12 enero 2024] Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3600>
8. **BALELA, Mary Donnabelle L.; et al.** “Silver recovery from waste radiographic film using oxalic acid”. *Materials Today: Proceedings* [en línea], 2020, (Reino Unido), vol. 3

- (4), págs. 1993-1996. [Consulta: 7 noviembre 2023]. ISSN 2214-7853. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.378>.
9. **BAHAR, Shaker Salih et al.** “Silver recovery method from radiographic and X- Ray film waste- a review”. *Texas Journal of Multidisciplinary Studies* [en línea], 2023, vol. 23, págs. 10-18. [Consulta: 3 abril 2023]. ISSN 2770-0003. Disponible en: <https://zienjournals.com/index.php/tjm/article/view/4294>
 10. **BHUSHAN, Bharat.** *Introduction to nanotechnology* [en línea]. Springer Handbook of Nanotechnology, 2017. Berlín, Heidelberg: Springer. Springer Handbooks. ISBN 978-3-662-54357-3. [Consulta: 11 enero 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-662-54357-3_1
 11. **BRUNA, Tamara et al.** “Silver nanoparticles and their antibacterial Applications”. *International Journal of Molecular Sciences* [en línea], 2021, (Suiza), vol. 22 (13), págs. 3-5. [Consulta: 4 abril de 2024]. ISSN 1422-0067. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijms22137202>
 12. **CALVA SÁNCHEZ, Ricardo Javier et al.** “Avances tecnológicos y científicos en radiología”. *Reciamuc* [en línea], 2023, (Ecuador), vol. 7 (2), págs. 457-465. [Consulta: 13 diciembre 2023]. ISSN 2588-0748. Disponible en: [https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.\(2\).abril.2023.457-465](https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.(2).abril.2023.457-465)
 13. **CASANOVA CALVO, Julia.** Caracterización y determinación de Nanopartículas de Plata en suplementos alimentarios mediante Espectroscopía de Absorción Atómica-Llama (FAAS). [en línea]. (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad de Zaragoza, Zaragoza. España. 2018. págs. 15-19. [Consulta: 12 marzo 2024]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/76732?ln=es>
 14. **CORNEJO, Laureano.** *Métodos de síntesis de las nano partículas* [blog]. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://nuevastecnologiasymateriales.com/metodos-de-sintesis-de-las-nano-particulas/>
 15. **CHEN, Kai et al.** “In situ reduction of silver nanoparticles by sodium alginate to obtain silver-loaded composite wound dressing with enhanced mechanical and antimicrobial property”. *International Journal of Biological Macromolecules* [en línea], 2020, (Países

Bajos), vol. 148, págs. 501-509. [Consulta: 4 abril 2024]. ISSN 0141-8130. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.156>

16. **DE LA TORRE VILLACÍS, María Fernanda & ESTRELLA ÁLVAREZ, Tatiana Karina.** “Estudio de factibilidad para determinar la viabilidad de explotación de accesorios de cabuya a Holanda y los Países Bajos”. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica Salesiana. Quito-Ecuador. 2014. págs. 16-19. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7489>
17. **DIÉZ BARRA, Enrique; et al.** *¿Tiene usted un televisor QLED? Esta es la relación que guarda con el Nobel de Química de 2023.* [blog]. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <http://theconversation.com/tiene-usted-un-televisor-qled-esta-es-la-relacion-que-guarda-con-el-nobel-de-quimica-de-2023-215096>
18. **ENGIDAYEHU, Addis & SAHU, Omprakash.** “Enzymatic recovery of silver from waste radiographic film: Optimize with response surface methodology”. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* [en línea], 2020 (Países Bajos), vol. 15. [Consulta: 3 abril 2024]. ISSN 2352-5541. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100224>
19. **ESQUIVEL FIGUEREDO, Rosalia de la Caridad & MAS DIEGO, Siannah María.** “Síntesis biológica de nanopartículas de plata: revisión del uso potencial de la especie *Trichoderma*”. *Revista Cubana de Química* [en línea], 2021, (Cuba), vol. 33 (2), págs. 23-45. [Consulta: 3 abril 2024]. ISSN 2224-5421. Disponible en: <https://cubanaquimica.uo.edu.cu/index.php/cq/article/view/5175>
20. **GÓMEZ GARZÓN, Martha.** “Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde”. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía* [en línea], 2018, (Colombia), vol. 27 (2), págs. 75-80. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 2462-991X. Disponible en: <https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.v27.n2.2018.191>
21. **GONZÁLEZ JIMÉNEZ, Adela & GARCÍA, Ana.** “Nanopartículas de plata como agente antibacteriano en infecciones óseas”. *FarmaJournal* [en línea], 2020, (España), vol. 5 (1), págs. 27-36. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 2445-1355. Disponible en: <https://doi.org/10.14201/fj2020512736>

22. **GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. & DE LA VARA SALAZAR, R.** *Análisis y diseño de experimentos* [en línea]. 3a ed. México D.F.: McGraw Hill, 2012. ISBN 978-607-15-0725-9.
23. **GUTIÉRREZ WING, Claudia E.** “Las nanopartículas: pequeñas estructuras con gran potencial ¿Por qué el interés en estos materiales? ¿Qué aplicaciones tienen?” *Contacto Nuclear* [en línea]. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://docplayer.es/14743940-Las-nanoparticulas-pequenas-estructuras-con-gran-potencial.html>.
24. **HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, Regula et al.** “Obtención de celulosa cristalina de hoja de maíz de Metztitlán Hidalgo”. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI* [en línea], 2021, (México), vol. 9 (2), págs. 7-12. [Consulta: 19 marzo 2024] ISSN 2007-6363. Disponible en: <https://doi.org/10.29057/icbi.v9iEspecial2.7993>
25. **HUQ, Md Amdadul et al.** “Green Synthesis and Potential Antibacterial Applications of Bioactive Silver Nanoparticles: A Review”. *Polymers* [en línea], 2022 (Suiza), vol. 14, (4), pág. 742. [Consulta: 4 abril 2024]. ISSN 2073-4360. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/polym14040742>
26. **JARAMILO CISNEROS, Hernán.** “El trabajo con fibra de cabuya en la Provincia de Imbabura”. *Sarance* [en línea], 1992, (Ecuador), 16, págs. 65-83. [Consulta: 10 noviembre 2023]. ISSN: 2661-6718. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10469/9929>
27. **JIMÉNEZ BARRIOS, Natalie; et al.** “¿Los nanomateriales pueden causar neurotoxicidad?” *Mundo nano* [en línea], 2018, (México), vol. 11 (20), págs. 17-26. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 2448-5691. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2018.20.64118>
28. **KHATOON, Umme Thahira; et al.** “Sodium borohydride mediated synthesis of nano-sized silver particles: Their characterization, anti-microbial and cytotoxicity studies”. *Materials Chemistry and Physics* [en línea], 2023, (Países Bajos), vol. 294. [Consulta: 4 abril 2024]. ISSN 0254-0584. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126997>
29. **KÖHLER, Fritzsche.** *Nanotechnology: An introduction to nanostructuring techniques* [en línea]. 2008. 2ª ed. John Wiley & Sons, ISBN 978-3-527-62114-9. [Consulta: 11 enero

2024]. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Jm48VBDQuU8C&oi=fnd&pg=PP7&dq=nanotechnology&ots=HBzWIFYt5A&sig=jA7z6EU8ZCeBtRbys_do8H04VYM#v=onepage&q=nanotechnology&f=false

30. **KOMARNENI, Sridhar.** “Feature article”. *Nanocomposites. Journal of Materials Chemistry* [en línea], 1992, (Reino Unido), vol. 2 (12), págs. 1219-1230. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 1364-5501. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/JM9920201219>
31. **LI, Wen-Ru; et al.** “Antibacterial activity and mechanism of silver nanoparticles on *Escherichia Coli*”. *Applied Microbiology and Biotechnology* [en línea], 2010, (Alemania), vol. 85, págs. 1115-1122. [Consulta: 10 noviembre 2023]. ISSN 0175-7598. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2159-5>
32. **LI, Wen-Ru; et al.** “Antibacterial effect of silver nanoparticles on *Staphylococcus aureus*”. *BioMetals* [en línea], 2011, (Países Bajos), vol. 24, págs. 135-141. [Consulta: 10 diciembre 2023]. ISSN 1572-8773. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10534-010-9381-6>
33. **LIZARAZO SALCEDO, César Germán et al.** “Nanomateriales: un acercamiento a lo básico”. *Medicina y Seguridad del Trabajo* [en línea], 2018, (España), vol. 64 (251), págs. 109-118. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 1989-7790. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2018000200109
34. **LÓPEZ MORA, Y.; et al.** “Síntesis de nanopartículas y su aplicación en la nutrición animal”. *Agro Productividad* [en línea], 2018, (México), vol. 11 (6), págs. 85-90. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 2594-0252. Disponible en: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/436>
35. **MARTÍNEZ ESPINOSA, Juan Carlos et al.** “Characterization of silver nanoparticles obtained by a green route and their evaluation in the bacterium of *Pseudomonas aeruginosa*”. *Crystals* [en línea], 2020, (Suiza), vol. 10 (5). [Consulta: 4 abril 2024]. ISSN -2279. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/cryst10050395>
36. **MARTÍNEZ, Fernando M.; et al.** “Método de síntesis de nanopartículas de plata adaptable a laboratorios de docencia relacionado con la nanotecnología”. *Mundo nano* [en línea], 2013, (México), vol. 6 (10), págs. 101-108. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2013.10.50967>

37. **MAYO CLINIC.** Radiografía: Estudio de diagnóstico por imágenes que ayuda a diagnosticar con rapidez [blog]. Estados Unidos: 2022. [Consulta: 3 abril 2024]. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es/tests-procedures/x-ray/about/pac-20395303>
38. **MELÉNDEZ BALBUENA, Lidia.** “Recovery of the silver contained in the radiographic plates using natural antioxidants from vegetables as reducing agents”. *Journal of Technological Development* [en línea], 2022, (España), vol. 6, (17), págs. 9-17. [Consulta: 3 abril 2024]. ISSN 2531-2960. Disponible en: https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Desarrollo_Tecnologico/vol6num17/Journal_of_Technological_Development_V6_N17_2.pdf
39. **MELÉNDEZ BALBUENA, Lidia; et al.** *Recuperación de plata metálica contenida en las placas radiográficas utilizando como agentes reductores extractos vegetales* [en línea]. Colección Memorias de los Congresos de la Sociedad Química de México, 2017. [Consulta: 6 noviembre 2023]. ISSN 2448-914X. Disponible en: https://sqm.org.mx/wp-content/uploads/2021/04/25Memorias_QSUS.pdf
40. **MENDOZA URIBE, Guadalupe & RODRIGUEZ LOPEZ, José Luis.** La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Perfiles latinoamericanos* [en línea], 2007, (México), vol. 14 (29), págs.161-186. [Consulta: 14 diciembre 2023]. ISSN 0188-7653. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-76532007000100006&lng=es&nrm=iso
41. **Mina G., Shivalal.** *Pseudomonas aeruginosa* [en línea]. Treasure Island-FL: StatPearls Publishing, 2023. [Consulta: 4 abril 2024] Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557831/>
42. **MOHANRAJ, V. J. & CHEN, Y.** “Nanoparticles - A review”. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* [en línea], 2006, (Nigeria), vol. 5 (1), págs. 561-573. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 1596-9827. Disponible en: <https://www.ajol.info/index.php/tjpr/article/view/14634>
43. Nanotubos de carbono para Infraestructuras inteligentes. *Construinnova* [en línea], 2017. [Consulta: 14 diciembre 2023]. Disponible en: <https://construinnova.net/>
44. **MONGE OROZ, Miguel.** “Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas”. *Anales de Química de la RSEQ* [en línea], 2009, (España), (1),

págs. 33-41. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 2792-5250. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=2860>

45. **MORALES DE LA ROSA, Silvia.** Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos [en línea]. (Trabajo de titulación) (Doctorado). Universidad Autónoma de Madrid, Madrid. España. 2015. págs. 33-37. [Consulta: 18 marzo 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10261/132717>
46. **MORENO SAMANIEGO, Mishell Carolina et al.** “Síntesis verde de nanopartículas de plata como agente bactericida para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico”. *Dominio de las Ciencias* [en línea], (Ecuador), 2022, vol. 8 (3), pág. 1332-1352. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 2477-8818. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8635182>
47. **OMANOVIĆ MIKLIČANIN, Enisa et al.** “Nanocomposites: a brief review”. *Health and Technology* [en línea], 2020, (Alemania), vol. 10, (1), págs. 51-59. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 2190-7196. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12553-019-00380-x>
48. **PAZ ZARZA, Victor Manuel et al.** “*Pseudomonas aeruginosa*: patogenicidad y resistencia antimicrobiana en la infección urinaria”. *Revista chilena de infectología* [en línea], 2019, (Chile), vol. 36 (2), págs.180-189. [Consultado: 12 enero 2024]. ISSN 0716-1018. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182019000200180>
49. **PORTILLO ALEJO, Daniel.** Potencial de nanopartículas de plata inmovilizadas mediante la técnica de ultrasonido recubiertas en corcho granular como agente microbiano. [en línea]. (trabajo de titulación) (maestría). Universitat Politècnica de Catalunya. España. 2015. págs. 34-35 [Consulta: 11 marzo 2024]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/76381>
50. **PUJOL, Miquel y LIMÓN, Enric.** “Epidemiología general de las infecciones nosocomiales. Sistemas y programas de vigilancia”. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica* [en línea], 2013, (España), vol. 31 (2), págs. 108-113. [Consulta 4 abril 2024]. ISSN 0213-005X. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eimc.2013.01.001>
51. **RAFIQUE, Muhammad et al.** *Chapter 1 - History and fundamentals of nanoscience and nanotechnology* [en línea]. En: TAHIR, Muhammad Bilal, RAFIQUE, Muhammad y

RAFIQUE, Muhammad Shahid (eds.), *Nanotechnology and Photocatalysis for Environmental Applications*. ISBN 978-0-12-821192-2. [Consulta: 14 diciembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821192-2.00001-2>

52. **RAMÍREZ ORTEGA, Pedro Alberto et al.** *Recuperación de Ag⁺ contenida en placas radiográficas sobre Ti en un reactor electroquímico tipo prensa* [en línea]. [Consulta: 13 diciembre 2023]. Disponible en: https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_RecCorr/maria_veloz/Pedro.pdf
53. **RATAN, Zubair Ahmed et al.** “Green Chemistry Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Potential Anticancer Effects”. *Cancers* [en línea], 2020, (Suiza), vol. 12 (4), pág. 855. [Consulta: 4 abril 2024]. ISSN 2072-6694. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/cancers12040855>
54. **ROSSI, Melina Brenda.** *Nanociencia y Nanotecnología en el Siglo XXI. Revista Digital de Ciencias* [en línea], 2013, (Argentina). [Consulta: 14 diciembre 2023]. Disponible en: <http://repositorio.ub.edu.ar/handle/123456789/1753>
55. **SALOMONI, R et al.** “Antibacterial effect of silver nanoparticles in *Pseudomonas aeruginosa*” *Nanotechnology Science and Applications* [en línea], 2017, (Nueva Zelanda), vol. 10, págs. 115-121. [Consulta: 10 noviembre 2023]. ISSN 1177-8903. Disponible en: <https://doi.org/10.2147%2FNNSA.S133415>
56. **SÁNCHEZ, Ana Isabel.** *Síntesis y caracterización de puntos cuánticos de PbSe con aplicaciones en celdas fotovoltaicas con configuración FTO/TiO₂/CdS/PbSe/ZnS*. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Centro de Investigaciones en Óptica, Guanajuato. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <http://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1002/295>
57. **SÁNCHEZ MORENO, Minerva.** *Nanopartículas de plata: preparación, caracterización y propiedades con aplicación en inocuidad de los alimentos*. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Nacional de Educación a Distancia. España. 2017. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <http://e-spacio.uned.es/fez/view/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Msanchez>
58. **SATYANARAYANA, D. N. V. & RAMESH, Chandra K.** “Sliver recovery from waste X Ray photographic films by electro deposition”. *Journal of Advanced Chemical*

- Engineering* [en línea], 2020, (Gran Bretaña), vol. 10 (199), págs. 1-2. [Consulta: 3 abril 2024]. ISSN 2090-4568. Disponible en: <https://www.walshmedicalmedia.com/abstract/silver-recovery-from-waste-x-ray-photographic-films-by-electro-deposition-55516.html>
59. **SCARPETTINI, Alberto.** *Las nanopartículas* [blog]. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/las-nanoparticulas>
60. **SCHIAVO, L. et al.** “An overview of the advanced nanomaterials science”. *Inorganica Chimica Acta* [en línea], 2024, (Países Bajos), vol. 559. [Consulta: 14 diciembre 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ica.2023.121802>
61. **SEBASTIÁN, Víctor.** “Nanocristales, nuevos materiales con propiedades y aplicaciones únicas”. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* [en línea], 2018, (España), vol. 26 (3), págs. 306-314. [Consulta: 12 enero 2024]. ISSN 2385-3484. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/343169>
62. **SERAM.** En España se realizan más de 40 millones de pruebas de imagen al año, según la Sociedad Española de Radiología Médica (SERAM). [blog]. Madrid: 2022. [Consulta: 3 abril 2024]. Disponible en: <https://seram.es/en-espana-se-realizan-mas-de-40-millones-de-pruebas-de-imagen-al-ano-segun-la-sociedad-espanola-de-radiologia-medica-seram/>
63. **STEFANI, Fernando.** *Propiedades ópticas de nanopartículas metálicas. Manipulando luz y calor en la nanoescala* [blog]. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://www.df.uba.ar/en/academica/coloquios3/pasados/2009/6536-propiedades-opticas-de-nanoparticulas-metalicas-manipulando-luz-y-calor-en-la-nanoescala>
64. **TANG, Bin; et al.** “Function improvement of wood fabric base don surface assembly of silica and silver nanoparticles”. *Chemical Engineering Journal* [en línea], 2012, (Países Bajos) 185-186 (15), págs. 366-373. [Consulta: 7 noviembre 2023]. ISSN 1385-8947. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.082>
65. **URRIQUIA, Joyce C.; et al.** “Optimization of silver recovery from waste X-ray radiographic films by oxalic acid extraction with response surface methodology”. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* [en línea], 2020, (Países Bajos), vol. 17 (4), págs. 2-7. [Consulta: 7 noviembre 2023]. ISSN 2352-5541. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100294>

66. **YAN, Gao et al.** “Contrastive study of the radiography on film and real-time imaging”. *Procedia Engineering* [en línea], 2015, (Países Bajos), vol. 99, págs. 1434-1437. [Consulta: 13 diciembre 2023]. ISSN 1877-7058. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.680>
67. **ZANELLA, Rodolfo.** “Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño”. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología* [en línea], 2012, (México), vol. 5 (1), págs. 69-81. [Consulta: 4 abril 2024]. ISSN 2448-5691. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-56912012000100069
68. **ZHANG, Yapeng et al.** “Quantitative proteomics reveals the mechanism of silver nanoparticles against multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* biofilms”. *Journal of Proteome Research* [en línea], 2020, (Estados Unidos), vol. 19 (8), págs. 3109-3122. [Consulta: 4 abril 2024]. ISSN 1535-3893. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.jproteome.0c00114>



ANEXOS

ANEXO A: CÁLCULOS

a) Solución de ácido oxálico

mL Sol = 200 mL

% m/v = 10 %

Pureza = 99,5 %

$$\% m/v = \frac{g \text{ Ác. Oxálico}}{mL \text{ solución}} \cdot \% \text{ Pureza}$$

$$g \text{ Ác. Oxálico} = \frac{\% m/v \cdot mL \text{ solución}}{\% \text{ Pureza}}$$

$$g \text{ Ác. Oxálico} = \frac{10 \% m/v \cdot 200 mL}{99,5 \%}$$

$$g \text{ Ác. Oxálico} = 20,1005 g$$

b) Recuperación de plata

Gramos de placas radiográficas = 20,003 g

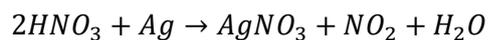
Peso crisol = 28,893 g

Peso crisol + ceniza y plata = 29,004

$$g Ag = (29,004 - 28,893)g$$

$$g Ag = 0,111 g$$

c) Nitrato de plata



Peso Ag = 0,111 g

Peso molecular HNO = 63,01 g/mol

Ácido nítrico requerido:

$$0,111 \text{ g Ag} \cdot \frac{1 \text{ mol Ag}}{107,87 \text{ g Ag}} \cdot \frac{2 \text{ mol HNO}_3}{1 \text{ mol Ag}} \cdot \frac{63,01 \text{ g HNO}_3}{1 \text{ mol HNO}_3} \cdot \frac{100}{70} \cdot \frac{1 \text{ mL HNO}_3}{1,41 \text{ g HNO}_3}$$

$$= 0,13 \text{ mL HNO}_3$$

Nitrato de plata sintetizado:

$$0,111 \text{ g Ag} \cdot \frac{1 \text{ mol Ag}}{107,87 \text{ g Ag}} \cdot \frac{1 \text{ mol AgNO}_3}{1 \text{ mol Ag}} \cdot \frac{169,87 \text{ g HNO}_3}{1 \text{ mol AgNO}_3} = 0,1748 \text{ g AgNO}_3$$

d) Porcentaje de dosis

mL solución de bacteria = 4 mL

% Pureza = 100 se considera esta pureza***

$$\% m/v = \frac{\text{g nanocompuesto}}{\text{mL solución de bacteria}} \cdot \% \text{ Pureza}$$

$$\text{g nanocompuesto} = \frac{\% m/v \cdot \text{mL solución de bacteria}}{\% \text{ Pureza}}$$

Dosis 1 (5 %)

$$\text{g nanocompuesto} = \frac{5 \% m/v \cdot 4 \text{ mL}}{100 \%}$$

$$\text{g nanocompuesto} = 0,2 \text{ g}$$

Dosis 2 (2,5 %)

$$\text{g nanocompuesto} = \frac{2,5 \% m/v \cdot 4 \text{ mL}}{100 \%}$$

$$\text{g nanocompuesto} = 0,1 \text{ g}$$

Dosis 3 (1 %)

$$\text{g nanocompuesto} = \frac{1 \% m/v \cdot 4 \text{ mL}}{100 \%}$$

$$\text{g nanocompuesto} = 0,04 \text{ g}$$

e. **Porcentaje de ceniza**

Cenizas	B: Peso Crisol (g)	A: Peso Fibra (g)	C: Peso Crisol/Ceniza (g)	% Ceniza
Crisol 1	43,112	1,511	43,16	3,18
Crisol 2	43,059	1,365	43,105	3,37
Crisol 3	37,522	1,111	37,555	2,97
			Promedio:	3,17

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{(C - B)}{A} \cdot 100 \%$$

f. **Porcentaje de humedad (Termobalanza)**

Peso inicial:	2,123 g
Humedad:	10,04%

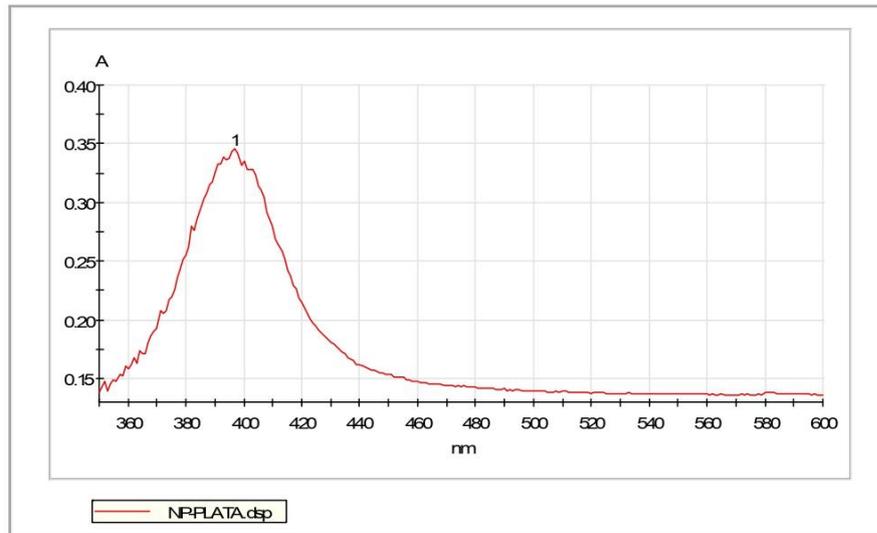
ANEXO B: COMPARACIÓN DE FIBRAS DURANTE LOS TRATAMIENTOS

De izquierda a derecha: Fibra de *Agave americana* (cabuya); Fibra de cabuya hidrolizada; Fibra impregnada con nanopartículas de plata (nanocompuesto); Nanocompuesto luego de actividad bactericida.



ANEXO C: INFORME ESPECTROSCOPIA UV-VIS

Espectro : NP-PLATA.dsp
Descripción:
Operario: GIAN
Creado: 02/02/2024 16:32:52
Espectrofotómetro: BETA
Número de serie: 140113
Firmware: v4.60 v4.80

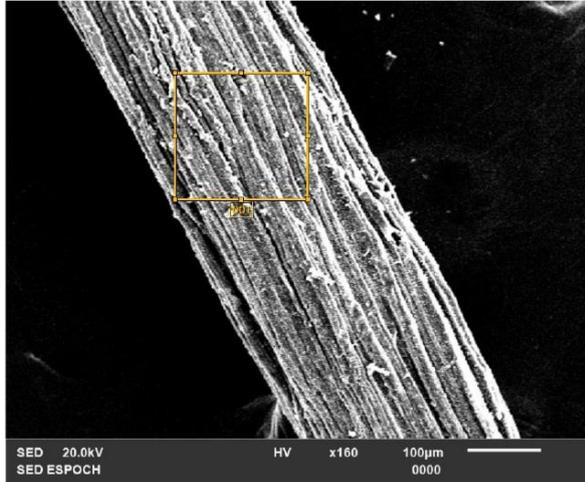


NP-PLATA.dsp

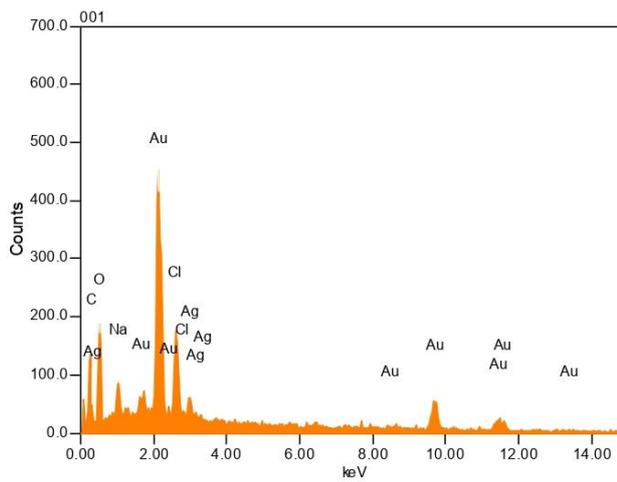
Picos Umbral: 0,01 A
1 397 nm; 0,346 A

ANEXO D: INFORME MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO SEM

001



Volt : 20.00 kV
 Mag. : x 160
 Date : 2024/03/14
 Pixel : 640 x 480



Acquisition Condition
 Instrument : IT100LA
 Volt : 20.00 kV
 Current : ---
 Process Time : T4
 Live time : 38.76 sec.
 Real Time : 39.60 sec.
 DeadTime : 1.00 %
 Count Rate : 919.00 CPS

Formula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	2.94	44.95	0.08	604	0.0095911	K
O	3.45	39.63	0.08	969	0.0169222	K
Na	0.36	2.91	0.02	376	0.0022882	K
Cl	0.96	4.99	0.02	1493	0.0076494	K
Ag	0.79	1.34	0.04	721	0.0052524	L
Au	6.63	6.18	0.10	6103	0.0505061	M
Total	15.13	100.00				

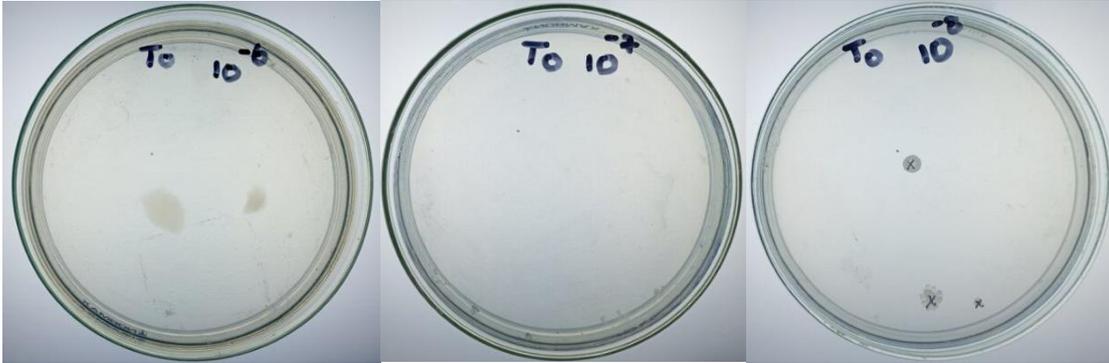
ANEXO E: CONTEO DE BACTERIAS

10^{-6}

T0

10^{-7}

10^{-8}



10^{-3}

T1 - D1

10^{-4}

10^{-5}



10^{-3}

T1 - D2

10^{-4}

10^{-5}

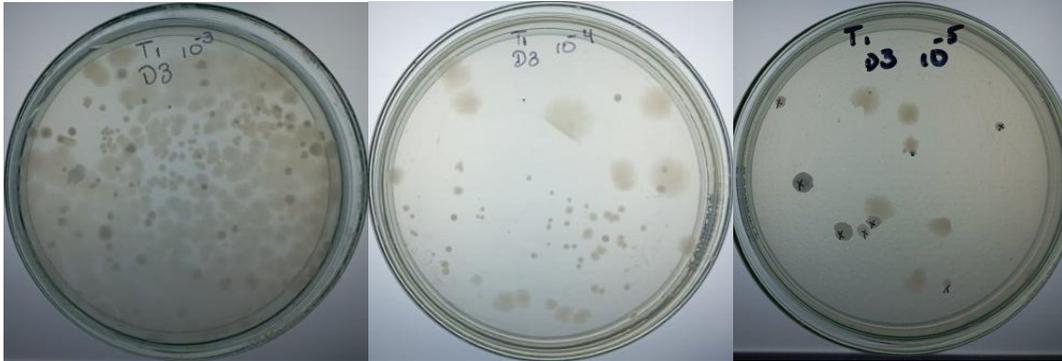


10^{-3}

T1 - D3

10^{-4}

10^{-5}

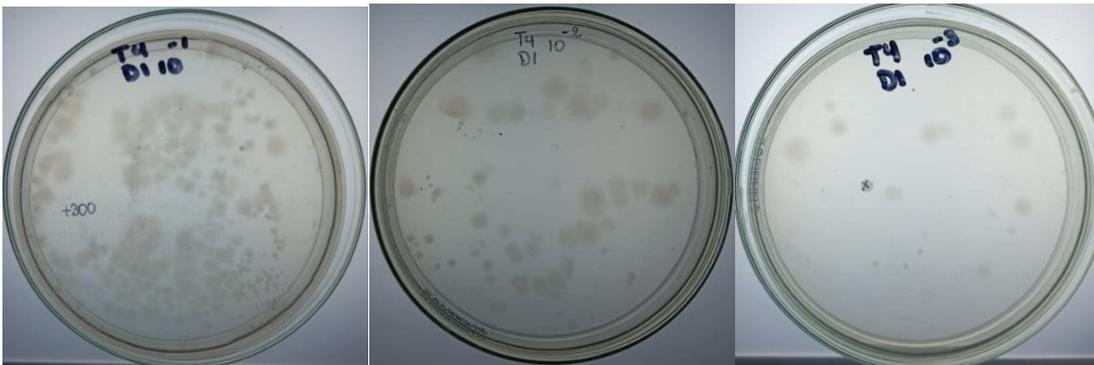


10^{-1}

T4 - D1

10^{-2}

10^{-3}



10^{-1}

T4 - D2

10^{-1}

10^{-1}



T4 - D3

10^{-1}

10^{-1}

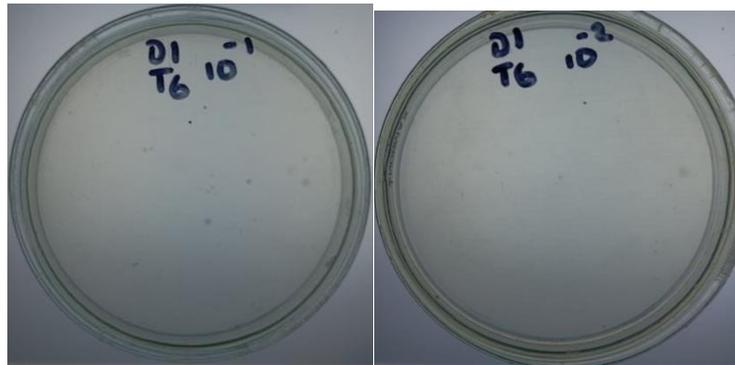
10^{-1}



T6 - D1

10^{-1}

10^{-1}

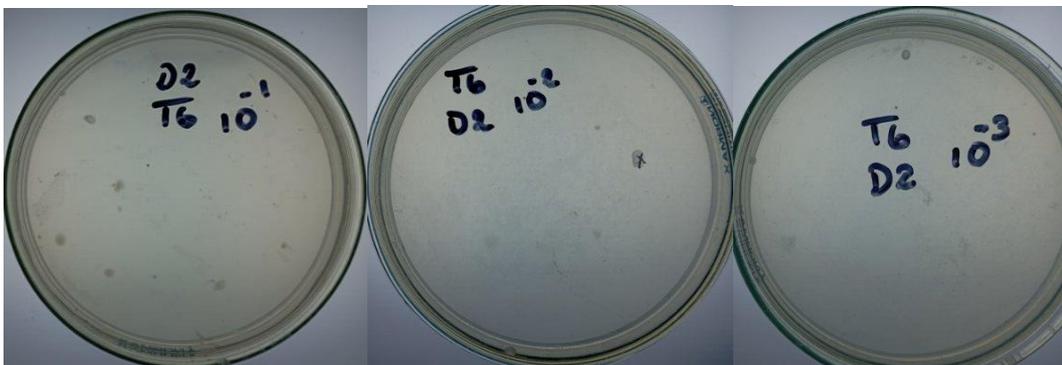


T6 - D2

10^{-1}

10^{-1}

10^{-1}



T6 - D3

10^{-1}

10^{-1}

10^{-1}





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 09/ 07 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Gian Franco Salgado López
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Química
Título a optar: Químico
 Ing. Carlos Alcívar Medina Serrano Director del Trabajo de Integración Curricular  Dra. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe MSc. Asesor del Trabajo de Integración Curricular

