



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Uso de Nanopartículas en la Purificación de Aguas. Revisión
Sistemática 2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Quispe Vilca, Daniel Pablo (ORCID: 0000-0001-5093-4491)

ASESORA:

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (ORCID: 0000-0002-9965-9678)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

A Dios, por ser quien ha guiado mis pasos y entender el significado de la vida. A mi querida madre Cecilia que durante todo este tiempo fue quien me dio fortaleza para continuar con mis metas y cumplirlas. A mis queridos hermanos que desde un inicio fueron quienes me dieron aliento de superación para el cumplimiento de mis anhelos y metas.

Agradecimiento

Mis más sinceros agradecimientos para:
Mi madre Cecilia Vilca Noa y mi padre político Nicolas Huachani Lazarte y hermanos que siempre estuvieron pendiente a pesar de la distancia en la que me encuentro, y también agradecer a la casa de estudios a la Universidad César Vallejo por permitirme en cumplir una de mis metas que es la titulación y en especial agradecer a mi tutora la Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline por guiarnos y su dedicatoria hacia mis compañeros y mi persona.

Índice de Contenido

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	16
3.1. Tipo y diseño de investigación	16
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de operacionalización	16
3.3. Escenario de estudio	19
3.4. Participantes	19
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	19
3.6. Procedimiento	19
3.7. Rigor científico	20
3.8. Métodos de análisis de la información	20
3.9. Aspectos éticos	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
VI. CONCLUSIONES	60
VI. RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS	65
ANEXO	72

Índice de tablas

Tabla 1:	Matriz de Categorización Apriorística	17
Tabla 2:	Síntesis de nanomateriales basados en Ag, ZnO y TiO ₂	26
Tabla 3:	Características de los nanomateriales basados en elementos metálicos como Ag, ZnO y TiO ₂	43
Tabla 4:	Efectos de la aplicación de NP en la desinfección de aguas	55

Índice de figuras

Figura 1:	Mecanismos de desinfección de ZnO.	6
Figura 2:	Experimento realizado por Motshekga, Sinha Ray y Maity (2018) tratando aguas superficiales para eliminar <i>Staphylococcus aureus</i> .	9
Figura 3:	Metodología aplicada por Maynez-Navarro et al (2020) en: A) elaboración de NP, B) Pruebas fotocatalíticas de blanqueo de pNDA bajo irradiación con distintos volúmenes y tiempos de interacción y C) prueba de actividad antibacteriana con inactivación de <i>Escherichia coli</i> bajo irradiación UV 365nm en distintos tiempos	12
Figura 4:	Elaboración de nanomateriales aplicado por Albukhari et al., 2019 usando extractos vegetales para producir Ag @ CAF y Ag @ TiO ₂ .	13
Figura 5:	Elaboración de criogeles inteligentes-ZnO basado en proporciones de monómeros AM y DMAEMA y nanohíbridos CNC / ZnO propuesto por Wang et al. 2017.	24
Figura 6:	Polvos nanoestructurados de materiales dopados con cobre	25
Figura 7:	Fotografías de NP obtenidas mediante análisis a) TEM y b) SEM.	32
Figura 8:	Patrón XRD analizado para el nanocompuesto de Fe ₃ O ₄ y Ag.	33
Figura 9:	(a) Análisis de grupos funcionales por FTIR de quitosano y CS-ZnO HNPS. (b) Estructura química entre los materiales y sus interacciones entre ellos y las nanopartículas de ZnO	35
Figura 10:	Criogeles-ZnO-5% con nanovarillas de Zn elaboradas por Wang et al. (2017)	36
Figura 11:	Resultados analíticos basados en imágenes SEM-EDS para Fe ₃ O ₄ /ZnO: a) SEM; de b a d) mapeo de elementos Fe, O y Zn en el área seleccionada de a), efectuado por Maynez-Navarro et al. (2020)	39
Figura 12:	Perlas de: Quitosano a) perlas, b) Ag-Quitosano c)ZnO-Quitosano, d) Zno-Ag-Quitosano, elaboradas y analizado en SEM;-EDS por Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017)	40
Figura 13:	FE-SEM: a) y b) B-Ag/MgO, c) y d) C-Ag/MgO analizados y elaborados por Bilal et al. (2019). Fuente: Bilal et al. (2019)	43
Figura 14:	Prueba bactericida de nanocompuestos de alginato con distinta concentración de bacterias y de nanocompuestos realizada por Motshekga, Ray y Maity (2018)	49
Figura 15:	Pruebas de eliminación de <i>Echearichia Coli</i> a) en presencia/ausencia de catalizador y luz, b) distintas	51

concentraciones bacterianas y c) dosis de NP, efectuado por Sreeja y Shetty (2017).

Figura 16: Prueba antibacteriana con distintas perlas de 0.4 mg/L de Ag, Zn y Quitosano: a) con luz sola y b) en el interior de laboratorio efectuado por Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017). 53

Resumen

La contaminación de las fuentes hídricas por microorganismos patógenos se debe principalmente a las limitaciones generadas en los tratamientos de aguas residuales por la presencia de microorganismos resistentes a los medicamentos y sus residuos presentes en tales aguas residuales que no llegan a ser eliminadas, mientras que su desinfección clásica se ha valido del uso de la cloración y de ozonización con lo cual a su vez se han generado subproductos de desinfección. Con la finalidad de conocer las nuevas alternativas de tratamiento avanzado, se ha investigado la implementación de nuevas alternativas de tratamiento basadas en la aplicación de nanopartículas (NP) de Ag, ZnO, TiO₂ , Fe²⁺ mediante una revisión sistemática que ha comprendido categorías de síntesis de las aplicaciones de NP, caracterización y sus efectos. Los resultados incluyeron la naturaleza del dopaje de iones metálicos, soportes y recubrimientos usados como minerales (arcillas, etc.), materiales biológicos como los extractos vegetales, biocarbones, algales (alginato), animales (quitosano) y de compuestos sintéticos orgánicos, así como los niveles de eliminación y rebrote por debajo de las normas internacionales. No obstante, su uso y aplicaciones deben asegurar inocuidad a la salud humana y al ambiente.

Palabras clave: Nanopartículas, iones Ag⁺-ZnO-TiO₂-Fe₃O₄, síntesis, caracterización, desinfección de aguas.

Abstract

Contamination of water sources by pathogenic microorganisms is mainly due to the limitations generated in wastewater treatments by the presence of drug-resistant microorganisms and their residues present in such wastewater that are not eliminated, while their disinfection Classic has used the use of chlorination and ozonation, which in turn have generated disinfection by-products. In order to know the new advanced treatment alternatives, the implementation of new treatment alternatives based on the application of nanoparticles (NP) of Ag, ZnO, TiO₂, Fe²⁺ + has been investigated through a systematic review that has included synthesis categories of NP applications, characterization and its effects. The results included the nature of the doping of metal ions, supports and coatings used as minerals (clays, etc.), biological materials such as plant extracts, biofuels, algae (alginate), animals (chitosan) and synthetic organic compounds, as well as the levels of elimination and regrowth below international standards. However its use and applications must ensure harmlessness to human health and the environment.

Keywords: Nanoparticles, Ag⁺ -ZnO-TiO₂-Fe₃O₄ ions, synthesis, characterization, water disinfection.

I. INTRODUCCIÓN

Aplicación de Nanopartículas de Ag, ZnO, TiO₂ para la Desinfección de Aguas. Revisión Sistemática 2021. El mundo mantiene en la actualidad un gran desafío para el abastecimiento del agua potable de calidad especialmente ante los problemas de contaminación de las fuentes y el cambio climático asociadas al incremento de la demanda y disminución de su suministro, la desinfección de aguas desde fuentes hídricas y de aguas residuales presentan limitaciones por la generación de subproductos de la desinfección, esto ha generado investigaciones sobre métodos alternativos mediante el uso de nanomateriales o nanopartículas NP (Dimapilis et al. 2018).

La nanotecnología aplicada en la desinfección de aguas representa un desafío para la industria del agua resulta en abordar la problemática entre la desinfección eficiente y los subproductos de desinfección tóxicos (DBP) (Mazhar et al., 2020), esto se debe a que los desinfectantes convencionales como el cloruro y el ozono generan estos subproductos DBP que han resultado tóxico por los componentes halogenados de la desinfección, nitrosaminas, bromatos, entre otros que pueden causar cáncer especialmente en los procesos de desinfección oxidativa, el uso UV ha intensificado la formación de DBP, por ello se viene generando métodos sustitutivos para mejorar la desinfección y prevenir la formación de DBP por ataque de los NP en los sitios de destino (Manikandan, et al. 2020, Ojemaye, Adefisoye y Okoh, 2020) como los nanoportadores de sílice con alta porosidad y área superficial, liposomas, nanoportadores poliméricos, nanoportadores micelares entre otros (Liu, Tan, y He, 2019), de tal forma que eliminan a los microorganismos determinantes de virulencia y resistencia en las aguas residuales antes de su descarga al ambiente (Adefisoye y Okoh, 2017).

Los elementos metálicos y sus especies tales o formas como el ion Ag⁺, ZnO, TiO₂ o Ti, y Fe⁺²/Fe₃O₄ forman parte de dopajes y son soportados en distintos materiales tanto sintéticos como de fuentes naturales (minerales, arcillas, etc.) o como fuentes de origen animal y vegetal, estos vienen siendo producidos en distintas fórmulas, formas

y es necesario probar el efecto de sus cargas del NP, el tiempo de contacto ente el NP y los microorganismos contenidos en el agua y la concentración de los microorganismos patógenos, para ello, es necesario caracterizar cada nanomaterial para conocer su respuesta potencial, en este proceso, el uso de técnica de instrumentación de alta resolución resulta crucial, así es posible determinar la estructura molecular, la distribución de las nanopartículas en los soportes y determinar los sitios de acción para destruir la paredes celulares y matar la células (Dimapilis et al. 2018), tales como microscopios electrónicos FE-SEM, TEM, para evaluar las formas y tamaños de partículas, porosidad con análisis BET, espectrofotometrías uv vis y de transformada de Fourier FTIR para determinar los grupos funcionales, patrones de rayos X, XRD para analizar la composición química elemental, lo cual permite comprender los mecanismos que gobiernan el efecto sobre los microorganismos patógenos.

Esta investigación se justifica teóricamente porque presenta nuevos enfoques sobre el conocimiento de la confirmación y propiedades de los nano compuestos con efectos bactericidas y anti fúngicos destinados a purificar el agua, asimismo se justifica ambientalmente debido a la búsqueda de alternativas seguras que no impliquen la formación de subproductos de desinfección y no afecten la salud humana y de la biodiversidad y finalmente una justificación social ya que pretende brindar información sobre las ventajas y limitación del uso de estos nano materiales sobre la seguridad en la salud humana.

En este contexto, se ha planteado el problema general: ¿Cuál es la aplicación actual de las Nanopartículas de Ag, ZnO, TiO₂ para la Desinfección de Aguas?, y los problemas específicos:

PE1: ¿Cómo se sintetizan los nanomateriales basados en Ag⁺, ZnO y TiO₂ para la desinfección de aguas?

PE2: ¿Qué características fisicoquímicas presenta los nanomateriales basados en Ag⁺, ZnO y TiO₂ para la desinfección de aguas?

PE3: ¿Cómo afectan los nanomateriales basados en Ag^+ , ZnO y TiO_2 para la desinfección de aguas?

En este contexto se ha planteado como objetivo general: Evaluar la aplicación actual de las nanopartículas de Ag , ZnO , ¿ TiO_2 para la desinfección de aguas?, siendo los objetivos específicos:

OE1: Analizar los métodos de síntesis de los nano materiales basados en Ag^+ , ZnO y TiO_2 para la desinfección de aguas

OE2: Analizar las características fisicoquímicas que presenta los nanomateriales basados en Ag^+ , ZnO y TiO_2 para la desinfección de aguas

OE3: Analizar las características fisicoquímicas que presenta los nanomateriales basados en Ag^+ , ZnO y TiO_2 para la desinfección de aguas

II. MARCO TEÓRICO

Naturaleza de los microorganismos. Las bacterias generalmente se encuentran formadas por una membrana celular, una pared celular y un citoplasma, la pared celular envuelve la membrana celular conformada por una capa homogénea de peptidoglicano conformada a su vez por aminoácidos y azúcares (Sirelkhatim et al. 2015). La destrucción o eliminación bacteriana depende principalmente del tipo de cepas bacterianas, lo que significa que la estructura de su pared celular posee un rol importante respecto a la tolerancia o susceptibilidad frente al agente antibacteriano, debido a las diferencias estructurales en las células entre las bacterias grampositivas y gramnegativas existen diferencias en su sensibilidad ante agentes bactericidas, por ejemplo las bacterias grampositivas poseen una capa de peptidoglicano más gruesa (Dimapilis et al. 2018), con una carga negativa que la hace atractiva para la aplicación de iones con carga positiva para unirse (Esmailzadeh et al. 2016). En cambio, las paredes celulares de las bacterias Gram-negativas se conforman por una fina capa de peptidoglicano, pero también poseen una membrana externa la cual contiene lipopolisacáridos que son esenciales para proteger a las bacterias, haciéndolas más resistentes a los agentes antibacterianos que cubre la superficie de sus capas internas (Dimapilis et al. 2018). A diferencia de las bacterias, los hongos son más resistentes a los antibióticos porque contienen un núcleo encerrado en la membrana y su pared celular entonces protege a la célula de los cambios en la presión osmótica y otras tensiones ambientales, al tiempo que permite que la célula interactúe con su entorno (Dimapilis et al. 2018).

Nanotecnología de desinfección y prevención microbiana. La nanotecnología es una disciplina de tecnología de avanzada, su uso implica materiales de pequeño tamaño conocidos como nanomateriales sintetizados de forma controlada y reproducible con una diversidad en la combinación de dopamiento y de soportes en variadas formas desde geles, criogeles, polvos y hasta de soluciones, sus propiedades se investigan comparando la acción separada de las sustancias puras hasta las combinaciones nanoparticuladas individuales o agregados y mediante técnicas

eléctricas de orientación microscópica (Baptista et al., 2018). Los nanomateriales son materiales con tamaños de no más de 100 nm en al menos una sola dimensión (Baptista et al., 2018, Ojemaye, Adefisoye y Okoh, 2020; Wang et al., 2017). El uso de nanopartículas ha atraído mucha atención recientemente debido a sus propiedades únicas tales como tamaño pequeño, área de superficie enorme, efecto de tamaño cuántico, excelentes propiedades mecánicas, combaten la resistencia antimicrobiana en el agua y de las aguas residuales (Rakhi et al., 2016).

Por ejemplo la aplicación de nanocompositos poliméricos representa nuevos materiales para recuperar el agua como una alternativa prometedora en su desinfección, el desafío para la industria del agua es abordar este problema entre la desinfección eficiente y los subproductos de desinfección tóxicos (Mazhar et al., 2020), entonces la desinfección oxidativa, la desinfección UV también se ha incrementado pero limitaciones diversas han promovido la creación de métodos sustitutivos que pretende mejorar la robustez de la desinfección (Manikandan, et al. 2020).

Entre los nanocompuestos actuales se cuentan combinaciones con iones de plata, óxido de zinc, dióxido de titanio, nanotubos de carbono, óxido de cerio y fullerenos (Manikandan, et al. 2020), pero deben cumplir con propiedades básicas de adaptación a las temperaturas ambientales muy altas, actividad antimicrobiana lograda en el menor tiempo posible (Zhang et al. 2021) además de no generar efectos secundarios en la salud humana (Mazhar et al., 2020) y ser económico y de uso sencillo y no corrosivo (Deshmukh et al., 2019).

Propiedades antimicrobianas. Los NP atacan las células microbianas usando diversos mecanismos, especialmente debido a los agentes inorgánicos más comunes como AgNP, TiO₂ y ZnO, por ejemplo, los iones de Ag⁺ liberados por el AgNP pueden crear estrés oxidativo en microbios asociados con la liberación de radicales de oxidación (ROS), otro caso es el TiO₂, que libera estos ROS cuando se ilumina con luz ultravioleta con un buen potencial para la fotodesinfección del agua (Dimapilis et al. 2018).

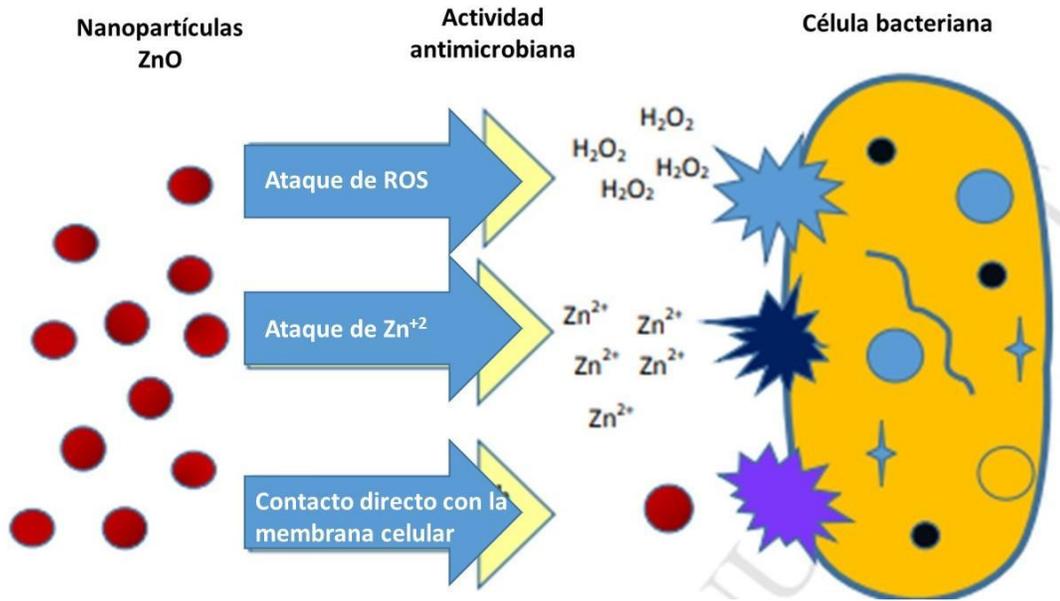


Figura 1. Mecanismos de desinfección de ZnO. Fuente: Dimapilis et al. (2018)

Sin embargo hay que tomar en cuenta que estos NP dependiendo de su carga y de sus características particulares podrían amenazar a los organismos acuáticos si se usan en cuerpos de agua, por ejemplo las NP como el ZnO se usan para inhibir el crecimiento de bacterias y hongos siendo las bacterias las menos sensibles a la aplicación de AgNP, CuONP y ZnONP, por ejemplo los crustáceos, las algas y los peces eran más sensibles a la toxicidad de estas NP, por tanto, la liberación de estas NP en corrientes de desechos puede representar una amenaza para los organismos no objetivo en el sistema acuático (Dimapilis et al. 2018).

Motshekga, Ray y Maity (2018) señalan que la aplicación de esta diversidad de nanocompuestos depende de la masa de NP y de la concentración inicial de bacterias, ya que indican la cantidad mínima de NP necesaria para lograr una elevada inactivación patógena, el incremento de tiempo de contacto aumentaba la inactivación bacteriana eso significa que un aumento en la cantidad de NP proporciona más sitios activos y área superficial específica de mejor interacción con las bacterias y logra una inactivación más rápida.

Oxido de Zinc. Resulta que el ZnO posee una elevada capacidad de absorción de rayos UV y la transparencia a la luz visible, las NP de óxido de zinc se han aplicado históricamente en lociones, pinturas y recubrimientos de protección solar, revestimientos de superficies (Cloutier, Mantovani y Rosei, 2015), además de mostrar una excelente actividad antibacteriana para una amplia gama de bacterias (Manikandan, et al. 2020; Dimapilis et al. 2018), inclusive se ha sugerido una explicación en su uso fotocatalítico con H₂O₂ como portador de acción antimicrobiana (Manikandan, et al. 2020), y se ha usado como antimicrobiano en textiles, cosméticos Pulit-Prociak et al. (2016) y fibras de celulosa (Sonia et al. 2017) para inhibir el crecimiento microbiano aunque su aplicación en cuerpos de agua podría vulnerar a los organismos acuáticos por Zn⁺² disuelto (Mirgane et al., 2020), por ello se encuentra limitado en el tratamiento del agua potable (Manikandan, et al. 2020), salvo que su uso (ZnO) mejorado a nanoescala ha proporcionado alternativas para su uso en la desinfección de aguas junto con otros óxidos inorgánicos como AgNP y el TiO₂, ZnO es estable ante las duras condiciones de procesamiento y es seguro para los seres humanos y animales posee mayor durabilidad, selectividad y resistencia al calor y su aplicación sobre distintos microbios han demostrado sus propiedades antimicrobianas (Dimapilis et al. 2018).

Su aplicación como NP varía ampliamente, Motshekga, Ray y Maity (2018) y Baek, Joo, y Toborek, (2019). sintetizaron y caracterizaron nanocomposites poliméricos NP ZnO encapsuladas en perlas de alginato y soportadas por bentonita para desinfectar aguas superficiales y contaminadas con *Staphylococcus aureus*, en aplicación por lotes, evaluaron el efecto de las dosis de nanocompuestos y concentración inicial de bacterias concluyeron que 0.5 g de nanocompuestos para 70 minutos de contacto eliminó totalmente las bacterias del agua sintética y en un minuto las presentes en agua superficial.

Wang et al. (2017), elaboraron criogeles de adsorción-desinfección ultrarrápidos en forma de racimos de nanocristales de celulosa-NPZnO para microdispositivos

purificadores de agua en el campo, estos respondieron al tipo de criogeles inteligentes preparados a partir de co-polimerización por monómeros de acrilamida (AM) y de metacrilato de 2- (dimetilamino) etilo (DMAEMA), además de grupos de nanocristales de celulosa-óxido de zinc (CNC/ZnO) usando un método sencillo de molde de hielo. Los autores investigaron el efecto de la dosis de nanohíbridos en la microestructura, propiedades térmicas y de hinchamiento y antibacterianas de los criogeles-ZnO, esto generó estructuras macroporosas en una red con elevada porosidad y agrupaciones de nanovarillas muy homogéneas en la pared macroporosa. Estos materiales demostraron elevada resistencia mecánica y alta absorción súper rápida además su aplicación en 45 minutos niveles de reducción significativos.

Respecto a la síntesis de NP del Zn⁺² se han usado métodos de precipitación para elaborar ZnO mediante Zn(NO₃)₂ y NaOH a temperatura ambiental en agitación vigorosa por 2 h, adición de H₂O₂ caliente (75°C) dando lugar a la formación de un precipitado que luego es secado y posteriormente calcinado a 350°C por 3 h formándose NP-ZnO con partículas entre 20 y 40 nm mediante las siguientes reacciones de precipitación y calcinación (Dimapilis et al. 2018):



Asimismo se han formulado variaciones en la aplicación del ZnO, las síntesis de nanopartículas de ZnO soportadas por Bentonita (ZnP-Bent), esta por si misma forma grandes grumos, entonces es necesario su molienda y posterior tamizado (partículas de 150 µm), luego la arcilla se activa químicamente usando ácido sulfúrico 3M, entonces la NP ZnO se dispersan en etanol y se calcinan a 500 °C por 5 h hasta formarse el polvo, cuando se soporta en bentonita , entonces hay que pasar unas 1.5 g de arcilla activada con ácido y hay que calentar a 60 °C por 20 min asistido en un microondas a una potencia de 500 W, la suspensión resultante se filtra y se lava con agua destilado, se seca posteriormente a 60°C, se tritura y tamiza (Motshekga, Ray y

Maity, 2018). Luego se aplica el alginato para mejorar las propiedades, encapsulando las NP de ZnO-Bent, para sintetizarlo, se disuelven 3g de alginato de sodio en 300 ml de agua destilada, y se mezcla con ZnOBent obteniéndose una dispersión homogénea mientras que el alginato resultante se extruye con agitación lenta mediante una bomba peristáltica en un medio gélido de CaCl_2 0.2 M, así la perlas de alginato formadas se dejan reposar por 10 min se lavan y se liofilizan para su aplicación (Motshekga, Ray y Maity, 2018)

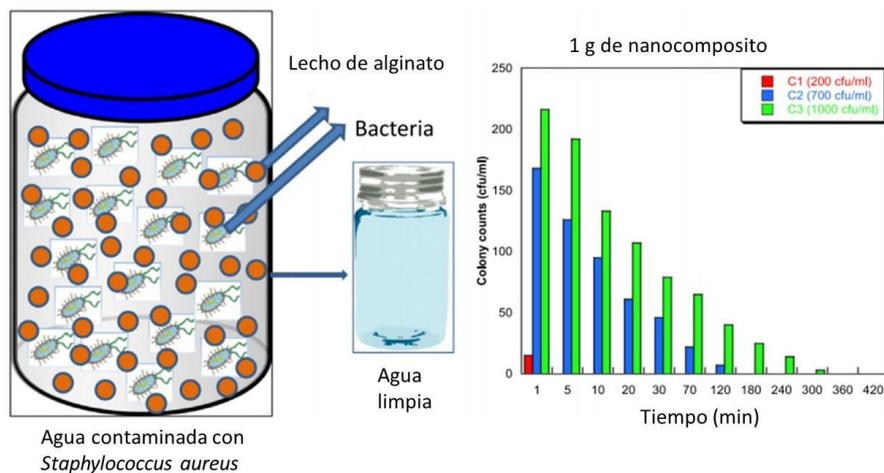


Figura 2. Experimento realizado por Motshekga, Sinha Ray y Maity (2018) tratando aguas superficiales para eliminar *Staphylococcus aureus*. Fuente Motshekga, Sinha Ray y Maity (2018)

La caracterización del NP-alginato ZnO es importante, y su morfología ZnO-NP y ZnO-Bent se investigaron por medio de instrumentos de alta resolución, la cristalinidad se suele analizar usando difracción de rayos X usando radiación CuKa filtrada con Ni ($k = 1,5406 \text{ \AA}$), con una rendija variable a 45 kV, 40 mA y la morfología de superficie y dispersión de NP-ZnOBent en la matriz de alginato se analizó mediante un microscopio de barrido electrónico SEM, para ello los nanomateriales se montaron en una cápsula de cobre cubriendo con cinta de carbón y carbón para evitar la carga. Asimismo la composición elemental química del alginato NP se estudió mediante un

análisis de espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDS) de ZnO (como Zn) (Motshekga, Ray y Maity, 2018).

Sreeja y Shetty (2017), desinfectaron agua de *Escherchia coli* por oxidación fotocatalítica bajo irradiación solar aplicando nanopartículas estructuradas núcleo-capa de Ag@TiO₂, descubriendo que las NP con estructura de capa de Ag núcleo-TiO₂(Ag@TiO₂) eran eficientes para desinfectar el agua en forma libre como inmovilizada. Concluyeron que la tasa de fotocatalisis se incrementa cuando se incrementa la carga del catalizador y disminución de la concentración bacteriana además descubrieron que su eficiencia en la degradación de endotoxinas, que son subproductos de desinfección y son nocivos, sin embargo la versión del NP inmovilizada en acetato de celulosa comparadas con las de forma libre por las limitaciones de difusión y penetración de la luz y los rebotes bacterianas siempre fueron inferiores a las normas de control.

TiO₂. De otro lado, las aplicaciones de nanoestructuras y arreglos con TiO₂ también tienen amplio espectro, en los últimos años, la energía solar ha sido reconocido como el más prospectivo para resolver problemas de la contaminación de las aguas residuales industriales y la crisis energética (Zhang et al. 2018) y el TiO₂ es un nanocompuesto extremadamente común en el tratamiento del agua potable, el agua superficial, y en otras fuentes hídricas para desinfección, las propiedades antibacterianas se deben a la generación de especies reactivas de oxígeno, estos son generados y matar la membrana citoplasmática, dañar las proteínas y el ADN, liberar iones peligrosos, interrumpir el flujo de electrones e interferir con el funcionamiento respiratorio, una elevada absorbancia de radiación solar UV-A activa el TiO₂ y aumenta de manera eficiente la desinfección solar pero de manera lenta (Manikandan, et al. 2020).

Muchos investigadores han estudiado el dopaje de Ag en TiO₂ (Wu et al., 2019; Ali et al., 2018; Ashraf et al. (2019); Dodoo-Arhin et al., 2021), Pedroza-Herrera et al. (2018) evaluaron la actividad fotocatalítica de NP de TiO₂ dopadas con Cu en luz visible para purificar las aguas residuales industriales como un tratamiento terciario la preparación

consistió en síntesis sol-gel seguida de tratamiento hidrotermal asistida por microondas, se explotó el uso de Cu como dopante porque mejora el rendimiento fotocatalítico del TiO₂. Entonces aplicaron espectroscopia de fotoelectrones de rayos X para reducir la banda prohibida hasta 2.86 eV con niveles de dopaje bajos lo que generó actividad fotocatalítica moderada para la degradación y logrando la eliminación bacteriana en 05 horas de tratamiento bajo luz visible. La acción del H₂O₂ mejoró la actividad fotocatalítica y la liberación de iones Cu²⁺ generó fotocatalisis + foto-Fenton con propiedades antibacterianas contra las gramnegativas y positivas sin citotoxicidad en células sanguíneas humanas

Cuando NP TiO₂ crece en la superficie de los sustratos de Ti se pueden usar directamente como materiales de fotoelectrodos por sus características de la película bidimensional, y estructura tubular porque proporciona una ruta eficiente en la transferencia de electrones fotogenerados (Ye et al. 2018), aunque la gran banda prohibida (3.2 eV para anatasa) limita su uso efectivo con la energía solar cuya aplicación resulta el principal desafío, en este sentido se han usado diversas estrategias, una de ellas es el dopaje de metales y no metales y la modificación de metales nobles o semiconductores para ampliar la región de absorción solar con el TiO₂ (Gao, et al. 2019).

Maynez-Navarro et al. (2020) generaron radicales •OH por acción de NP fotocatalíticas reciclables de Fe₃O₄/ZnO en procesos avanzados de oxidación para desinfectar agua, pero, su limitada reciclabilidad redujo su potencial aplicación a gran escala, eliminaron *Escherichia coli* en distintas condiciones y luego de 30 minutos bajo irradiación UV 365nm eliminaron eficientemente (90%) con una dosis de 0.1 mg/mL (90%). Este tipo de materiales se recuperan magnéticamente con 3 ciclos de uso.

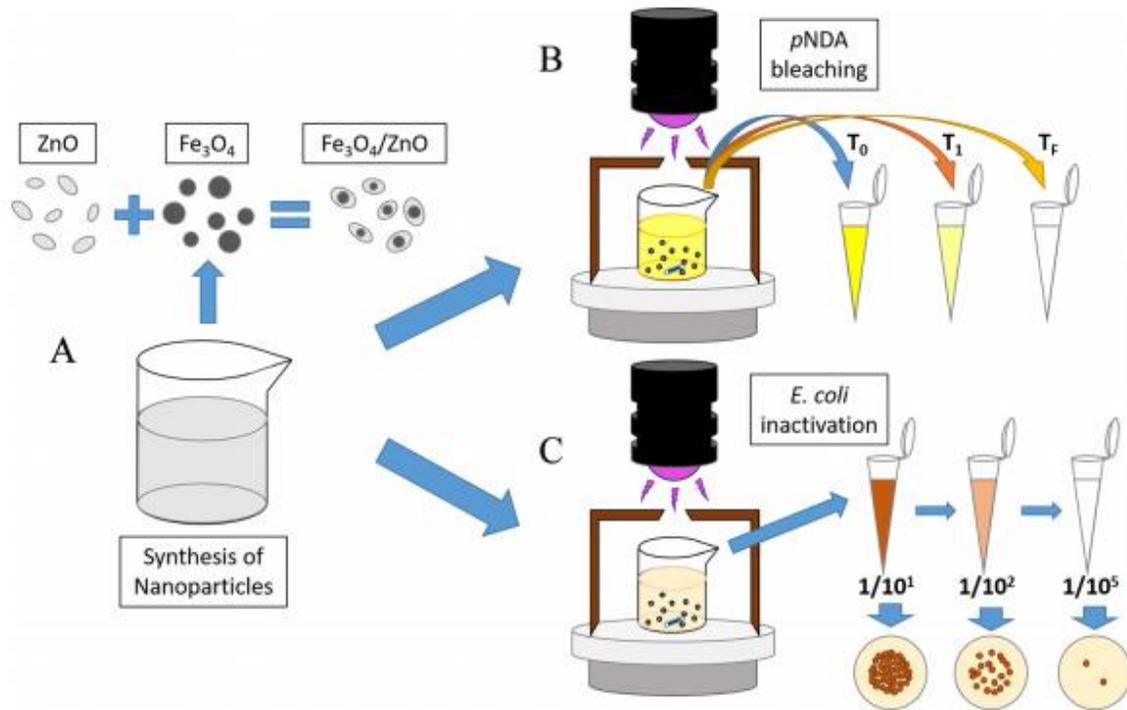


Figura 3. Metodología aplicada por Maynez-Navarro et al (2020) en: A) elaboración de NP, B) Pruebas fotocatalíticas de blanqueo de pNDA bajo irradiación con distintos volúmenes y tiempos de interacción y C) prueba de actividad antibacteriana con inactivación de *Escherichia coli* bajo irradiación UV 365nm en distintos tiempos. Fuente: Maynez-Navarro et al (2020).

Ag. Respecto a la Ag esta ha sido aplicada desde la antigüedad, la plata es conocida por su influencia antimicrobiana (Manikandan, et al. 2020), además de ser aplicadas en la medicina externa e industriales, su aplicación como nanomaterial antifúngico y bactericida es parte de las últimas aplicaciones años como es el caso de reducción catalítica de nitrofenoles y tintes utilizando NP Ag en papel de polímero de celulosa en aguas residuales (Albukhari et al., 2019), o en biocarbonos (Kumar et al. 2020), sucede que a través de la unión del agua y grupos -SH, se absorben iones Ag que destruyen enzimas esenciales con una toxicidad como NP Ag dependiendo de la carga de iones de plata presentes en el arreglo (Manikandan, et al. 2020).

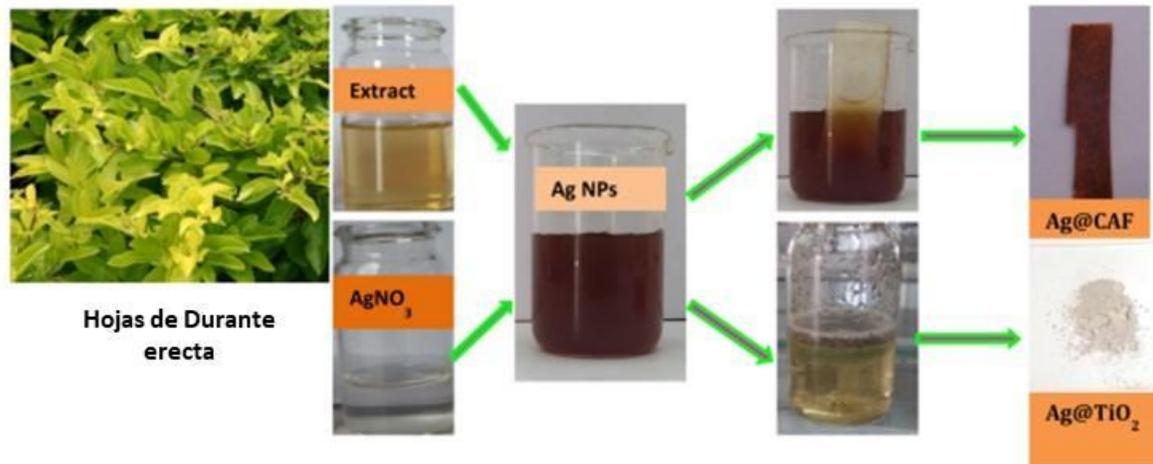


Figura 4. Elaboración de nanomateriales aplicado por Albukhari et al., 2019 usando extractos vegetales para producir Ag @ CAF y Ag @ TiO₂. Fuente: Albukhari et al., (2019)

Resulta de los iones Ag⁺ poseen estructuras de bandas de energía emparejadas, y las NP de iones Ag mejoran de manera significativa la separación de carga fotoinducida (Gao et al. 2019), entonces la forma, el tamaño, el soporte y las caras cristalográficas afectarían la liberación de los Ag⁺, además la presencia de ligandos presentes incrementa su biodisponibilidad y toxicidad, por ello se han usado como escudo ante patógenos en microfiltros cerámicos especialmente en países en desarrollo (Manikandan, et al. 2020).

Bilal et al. (2019) sintetizaron catalizadores con soporte de Ag biosintetizados para desinfectar *Escherichia coli* del agua potable, ya que los materiales inorgánicos antimicrobianos poseen más potencial por su resistencia térmica, estabilidad química y larga duración de acción, estas AgNPs fueron impregnadas con distintos materiales de soporte que incluyo carbón activado, zeolita y MgO, estudiaron sus características con espectrofotómetro UV visible y patrones XRD demostraron su composición, también usaron FE-SEM y EDX demostrando que los catalizadores soportados por AgNP serían más activos porque eliminaron todas las bacterias en el agua potable.

Diversos autores (Najafpoor et al., 2020; Asadi, y Moeinpour, 2019, Liu, et al. 2018) estudiaron nanopartículas magnetizada, por ejemplo el efecto de las NP magnéticas y cargadas de Ag (Ag-MNP) para desinfectar aguas residuales y prepararon distintas dosis y probaron distintos tiempo de contacto y niveles de contaminación de las aguas residuales, para elimina coliformes totales, coliformes fecales, bacterias heterótrofas encontrando que el aumento en la dosis de NP y el tiempo de tratamiento de interacción mejoraron la eficiencia de eliminación bacteriana, por tanto el cambio de MNP a Ag-MNP elimino 6% veces más que el NP singular.

Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017), desinfectaron aguas residuales de tratamientos biológicos usando perlas de quitosano cubiertas con NP-ZnO-Ag y evaluaron el número final más probable (MPN) en 100 mL de agua para un tiempo de tratamiento de 1 hora con luz solar usando una carga de quitosano-Zn Ag de 0.4 mg/L de cada uno, entonces se generaron especies reactivas de oxígeno (ROS), con alta eficiencia de desinfección. Las perlas generaban desinfección residual con 4 ciclos consecutivos y concluyeron que la desinfección exitosa de aguas residuales de tratamiento biológico usando perlas de quitosano cubiertas con NP de ZnO-Ag fue muy efectivo.

La síntesis NP varía mucho y en el caso del de TiO_2 dopadas con cobre, Pedroza-Herrera et al. (2018), uso un procedimiento de dos pasos para producir primero sol-gel y luego un tratamiento hidrotermal asistido por microondas, el sol-gel se preparó disolviendo distintas cantidades de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($\text{Cu}^{2+}/\text{TiO}_2$ 1.0, 1.5 y 2.0% molar) en ácido acético glacial (20 ml), el proceso requiere isopropóxido de Ti en solución de Cu en ácido acético. A parte se preparó goma arábica que fue adicionada a la solución de $\text{Cu}^{2+}/\text{TiO}_2$, esa mezcla se somete a presurización en microondas luego secada a 100°C y calcinada a 350°C . Es importante darles forma a los nanomateriales se suelen raspar porque se han usado suspensión coloidal sol-gel recién preparada para depositar las películas. Respecto a la síntesis de NP de Ag @ TiO_2 pueden prepararse usando un método de síntesis con hidrólisis de isopropóxido de Ti (trietanolaminado) en 2-propanol , posteriormente se reducen los iones de Ag^+ del AgNO_3 acuoso mediante dimetilformamida en una razón molar (1:1.7) Ag:Ti a 450°C (Sreeja y Shetty,

2017). Otro método es la obtención de magneto NP como el Ag-MNP, para ello se disuelven 200 mg de $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en 20 ml de agua desionizada, se mezclan con 1 ml de solución de amoníaco, etanol y solución de AgNO_3 para lograr un precipitado negro con posterior tratamiento (Najafpoor et al. 2020)

La caracterización de los NP es crucial para conocer su estructura, morfología, tamaño de partículas, tolerancia a las temperaturas y composición elemental entre otros factores, esto permite comprender sus naturales y mejorar su eficacia, por medio de difracción de rayos X (XRD), que generan picos de difracción relacionados con las impurezas que no se observan en otros gráficos XRD para confirmar una alta pureza (Dimapilis et al. 2018), picos de difracción más estrechos e intensos implican una buena naturaleza cristalina del ZnO, y un ensanchamiento de picos en la parte inferior indicaran tamaños cristalinos pequeños (El et al. 2015). Otras técnicas muy usadas corresponden al uso de microscopios de alta resolución, de barrido eléctrico (SEM) y microscopio electrónico de transmisión (TEM) ya que estos determinan la morfología, estructura y tamaño de las NP. El método Brunauer-Emmett-Teller (BET) se usa para la determinación del diámetro medio de poro y el área de superficie específica de las NP (Dimapilis et al. 2018).

También el estudio de biopolímeros naturales mediante la encapsulación de NP antimicrobianas de como el ZnO soportadas por bentonita para eliminar *Staphylococcus aureus*, de igual modo la confirmación de los nanocompuestos de alginato implica el uso de TEM, SEM-EDS y XRD (Motshekga et al. 2018).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Esta investigación es de tipo cualitativo, narrativo de tópicos (Fernández, Hernández y Baptista. 2014, p. 470) y revisión sistemática basada en las propiedades fisicoquímicas antimicrobianas de metales semiconductores como Ag^{+1} , Ti^{+2} , Zn^{+2} , en el tratamiento de aguas.

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística

En la tabla 1 se detalla la matriz de categorización apriorística donde señala los objetivos específicos, problemas específicos, las categorías y sub categorías.

Tabla 1. Matriz de categorización apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categorías	Sub categorías	Unidad de análisis
Analizar los métodos de síntesis de los nano materiales basados en Ag ⁺ , ZnO y TiO ₂ para la desinfección de aguas	¿Cómo se sintetizan los nanos materiales basados en Ag ⁺ , ZnO y TiO ₂ para la desinfección de aguas?	Síntesis de los nano materiales basados en Ag ⁺ , ZnO y TiO ₂	dopaje y soportes	Maynez-Navarro et al. (2020), Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017), Pedroza-Herrera et al. (2018), Maynez-Navarro et al. (2020).
Analizar las características fisicoquímicas que presenta los nano materiales basados en Ag ⁺ , ZnO y TiO ₂ para la desinfección de aguas	¿Qué características fisicoquímicas presenta los nanos materiales basados en Ag ⁺ , ZnO y TiO ₂ para la desinfección de aguas?	Caracterización de los nano materiales basados en Ag ⁺ , ZnO y TiO ₂	FTIR, SEM; TEM, SDX, BET, Termogravimetría	Motshekga, Ray y Maity. (2018), Najafpoor et al. (2020), Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017).

<p>Analizar el efecto de los nano materiales basados en Ag+, ZnO y TiO₂ para la desinfección de aguas</p>	<p>¿Cómo afectan los nanos materiales basados en Ag+, ZnO y TiO₂ para la desinfección de aguas?</p>	<p>Efectos de los nano materiales basados en Ag+, ZnO y TiO₂</p>	<p>Tipo de bacterias, niveles de eliminación</p>	<p>Najafpoor et al. (2020), Sreeja y Shetty. (2017), Wang et al. (2017), Bilal et al. (2019).</p>
--	--	---	--	---

3.3. Escenario de estudio

No se presenta un escenario definido, debido a que este estudio es totalmente una revisión bibliográfica sobre la aplicación de nanopartículas de Ag^{+1} , TiO_2 , ZnO con fines de desinfección de aguas que incluyen las aguas residuales. Se ha buscado información básica sobre la síntesis de las nanopartículas, su caracterización y rendimiento en el tratamiento de desinfección.

3.4. Participantes

Se han seleccionado artículos provenientes de Scopus, de Sciencedirect y de la base de datos Google académico, considerando su relevancia para el tema.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se ha desarrollado una búsqueda y colecta de la información aplicando el análisis documental, que sirvió como base para la investigación (Domínguez, 2016, p. 15). El inicio de la búsqueda bibliográfica, dependió del tema central con palabras clave relacionadas con la aplicación de nanopartículas de plata, titanio y cinc para la desinfección de aguas y de efluentes. El aprovechamiento de la información colectada se ha relacionada con el análisis de cada artículo, lo cual ha permitido organizar apropiadamente de manera sistemática los distintos contenidos permitiendo una planificación adecuada de la estructura del informe y de la ruta final aplicada en el trabajo analítico posterior cumplido posteriormente y presentado en este documento final (Cegarra, 2018). De acuerdo con la investigación, se definirán las técnicas de recolección de datos: que pueden ser documentales y observación (Domínguez, 2016, p. 55).

Según lo mencionado anteriormente en esta investigación se hizo uso una base de datos en Excel, la cual incluye información de: título, autor (es), tipo de documento, indexación, objetivo, método, resultado y conclusiones.

3.6. Procedimientos

De manera previa se realizaron revisiones para comprender el concepto de nanopartículas, su uso para la desinfección de las aguas, los tipos de aguas tratadas, las formas de preparación de los nanocompuestos, los dopajes, y soportes y naturaleza de estos como técnicas más recientes en la desinfección de aguas.

3.7. Rigor científico

Para esta investigación se desarrollaron los siguientes criterios descritos por Varela y Vives (2016, p.194), quienes explican aspectos relevantes sobre el criterio de dependencia de la consistencia de la información, mediante los artículos científicos extraídos de bases de datos científicos. También se destaca la credibilidad debida las fuentes confiables, extraídas desde las fuentes científicas acreditadas. La confirmabilidad, se demuestra en los artículos seleccionados para esta investigación escogidos por sus descripciones teóricas.

3.8. Método de análisis de información

La información se agrupó de acuerdo a las categorías y sub categorías, El método comprende la revisión sistematizada de todos documentos que aparecen en la base de datos de la base Scopus que mantiene la Universidad César Vallejo.

3.9. Aspectos éticos

Se ha cumplido con las normas de investigación establecida en la Universidad César Vallejo, y que gobierna la conducta intachable de la originalidad, el aporte de artículos de investigación usados aparecen en las bases de datos de revistas indexadas, que han sido arbitradas internacionalmente y se ha interpretado respetando el derecho de autoría, se ha usado las referencias bibliográficas siguiendo el manual ISO 690 de la Universidad César Vallejo, el análisis de resultados será respaldados por los criterios de rigor científico establecidos, así mismo, esta investigación podrá ser utilizada por cualquier persona que requiera información con respecto al tema de estudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

OE1: Existe una variedad de nanomateriales elaborados a partir de sales de Ag, Zn y Ti, en los últimos años, se han aplicado preparaciones a partir de extractos vegetales o de uso de biopolímeros, así como de minerales arcillosos con otros soportes y la inclusión de sale de Fe y de óxidos de Mg entre otros que han resultado muy beneficiosos.

Motshekga et al. (2017) elaboró nanocompositos poliméricos, bentonita y de nanopartículas de ZnO como nuevos materiales empleados para desinfectar agua contaminada con bacterias. Para tal efecto usó el alginato de sodio, polímero natural el cual fue encapsulado de nanopartículas de ZnO soportadas por material arcillado (bentonita) ZnOBent. La metodología de síntesis consistió en triturar bentonita a un tamaño de 150 μm , activada con H₂SO₄ concentrado. Por otro lado, las NP de ZnO fueron dispersas en etanol y luego calcinados (500 °C) por 5 h, así de produjeron NP en forma de polvo fino. La síntesis de perlas de alginato encapsuladas en nanocompuestos de ZnO-Bent fue formado por aireación constante entre el alginato de sodio y nanocompuesto de ZnOBent con gelificación de la mezcla usando CaCl₂ formándose las perlas de alginato. El objetivo específico para la elaboración de este material fue evaluar la susceptibilidad de bacterias gram positivas (*Staphylococcus aureus*, ATCC 25923) por medio de experimentos por lotes. En cambio, Munnawar, et al. (2017) elaboraron nanopartículas híbridas de óxido de zinc (CS-ZnO HNPS) para aplicarlas en membranas de polietersulfona antiincrustante (PES) para desinfectar agua, aplicando. Para ello se aplicó el método de precipitación química las pruebas se aplicaron para evaluar propiedades antibacterianas sobre *S. Aureus*, *B. Cereus*, *E. coli* y antifúngicas sobre *S. typhi*, *A. fumigatus* y *F. solani*.

También Chatterjee Ghangrekar y Rao (2017), uso otro biopolímero con Ag, y trató un efluente secundario de una planta de tratamiento de aguas residuales PTAR con la finalidad de desinfectar el efluente aplicando perlas sintetizadas de ZnO-Ag-Quitosano bajo luz visible. Las perlas de quitosano recubiertas con NP de ZnO-Ag se elaboraron

a partir de una solución de quitosano con ácido acético y AgNO_3 . Luego nanopartículas de ZnO fueron disueltas en solución de ácido acético para luego ser mezclada con la primera luego la mezcla añadida a una bureta se goteo lentamente sobre una mezcla de NaOH y de NaBH_4 formando perlas de quitosano recubiertas con NP de ZnO-Ag. Posteriormente las perlas se bañaron en glutaraldehído por 24 h para lograr su reticulación. Además, se prepararon perlas de quitosano simple, Ag-quitosano y ZnO-quitosano aplicando el mismo método.

En cambio, Bilal et al. (2019) sintetizó nuevos materiales de Ag usando minerales, elimino bacterias gramnegativas como la *Escherichia coli* patógeno que infecta las aguas y con ella al agua potable, para ello elaboraron nanopartículas de plata (AgNPs) con soportes de carbón activo, zeolita y MgO. La metodología empleada fue la preparación básica del extracto vegetal de hojas frescas de *M. tuberculata* por bidestilación con agua, posterior filtración. Luego se sintetizó el AgNP, usando AgNO_3 mezclándolo con el extracto vegetal de para reducir los iones Ag^+ en la AgNPs, la coloración amarilla pasó a rojo oscuro. Se efectuó otra preparación de tipo químico de AgNPs, pero esta vez con una solución de AgNO_3 e NaOH gota a gota lo que produjo un cambio de color amarillo claro a rojo oscuro formándose AgNP. También se elaboraron catalizadores, para ello las AgNP ya elaboradas (en extracto y en NaOH) fueron impregnadas con zeolita, carbón activado y soporte de MgO, luego estas se pulverizaron sobre en rotavapor se sometieron a secada a $105\text{ }^\circ\text{C}$ por 5 h

De otro lado, la mayoría de investigadores han aplicado componentes químicos para elaborar nuevos materiales. Sreeja y Shetty (2017), empleo nanopartículas bajo una estructura de capa de Ag core- TiO_2 (Ag @ TiO_2) con la finalidad de desinfectar agua cargada de $40\text{E}8$ UFC/mL de células de *Escherichia coli* con irradiación de luz solar de dos maneras: la primera de manera libre y la segunda inmovilizada. Se preparar NP de Ag @ TiO_2 por hidrólisis de titanio- (trietanolaminato) isopropóxido disuelto en 2-propanol, entonces la reducción de iones de Ag a partir del AgNO_3 acuoso se realizó aplicando dimetilformamida con una relación molar de Ag:Ti de 1:1.7 posteriormente calcinado a $450\text{ }^\circ\text{C}$. Posteriormente se efectuó la inmovilización de NP por aplicación

de celulosa Ag @ TiO₂ y acetona una vez evaporada la acetona las películas formadas fueron cortadas en escamas de 1 cm² para ser usados en las pruebas fotocatalíticas como NP inmovilizadas.

Wang et al. (2017) elaboró un microdispositivo purificador de agua potable para ser usado en el campo en el que incluyó criogeles-ZnO para aplicarse como material nanoparticulado y antibacteriano. Para ello, primero se prepararon CNC esféricos y nanohíbridos de CNC/ZnO en forma de flor, a partir de una suspensión de CNC y de Zn (NO₃)₂ a pH = 11 (NaOH) a 110 ° C, posteriormente estos precipitados denominados nanohíbridos CNC/ZnO se secaron a 60 °C. A partir de los nanohíbridos CNC/ZnO se prepararon criogeles de doble respuesta y criogeles inteligentes. Entonces primero mezclaron (NH₄)₂S₂O₈ con N, N, N', N'-tetrametiletilendiamina formando un agente activo iniciador y se mezcló con N, N'-metilen bisacrilamida (reactivos N, N) con la finalidad de obtener una solución de reticulación al cual se incluyó el nanohíbrido tipo flor de CNC/ZnO para ser luego sometidos a ultrasonidos y eliminar gases, finalmente fueron bañados con los reactivos N, N, usados anteriormente, centrifugados y enfriados. Los criogeles híbridos se nombraron como criogeles-ZnO-1%, criogeles-ZnO-5% en función de la masa de híbridos CNC/ZnO usados en los criogeles-6/4.

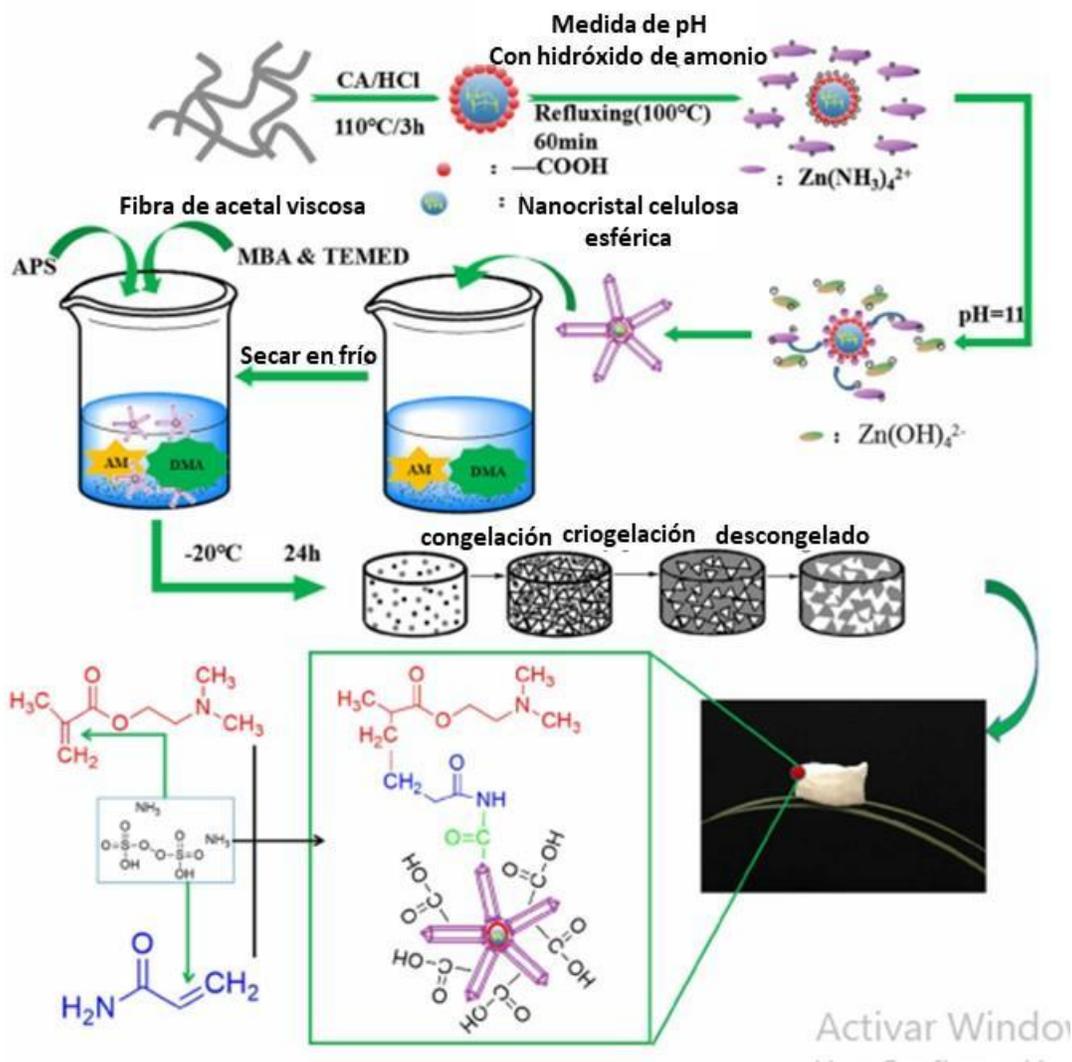


Figura 5. Elaboración de criogeles inteligentes-ZnO basado en proporciones de monómeros AM y DMAEMA y nanohíbridos CNC / ZnO propuesto por Wang et al. 2017. Fuente: Wang et al. (2017)

Pedroza-Herrera et al. (2018) produjeron nanopartículas de TiO₂ dopadas con cobre, activas en luz visible para eliminar bacterias tanto gramnegativas como grampositivas. La metodología comprendió dos etapas en el proceso, la primera consistió en la aplicación de sol-gel con un tratamiento hidrotérmal por microondas, para esto se

disolvió $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ con TiO_2 ($\text{Cu}^{2+}/\text{TiO}_2$) en proporciones molares desde 1.0 a 2.0% y mezcladas con CH_3COOH . Luego se añadió isopropóxido de titanio a la solución de Cu en CH_3COOH . Mientras se preparó adicionalmente goma arábica a 60°C y una vez frio se añadió a la solución de $\text{Cu}^{2+}/\text{TiO}_2$, luego se aplicó presión en microondas durante 45 minutos, luego se calcino, una vez frio se raspo el nuevo material y secada al aire, luego a 100°C y finalmente calcinada a 350°C .

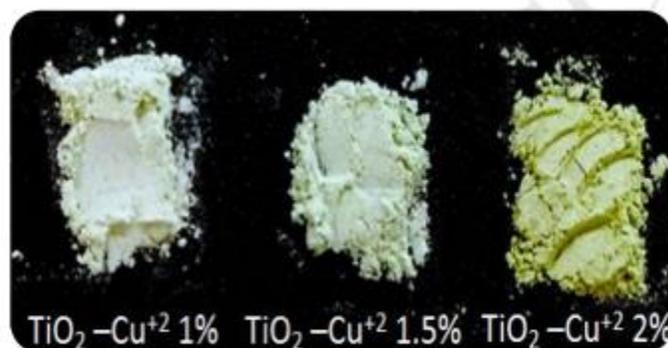


Figura 6 Polvos nanoestructurados de materiales dopados con cobre. Fuente: Pedroza-Herrera et al. (2018)

Najafpoor et al. (2020) estudiaron la respuesta patógena como coliformes totales (CT), los coliformes fecales (FC), las bacterias heterótrofas (HB) de un efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para el reúso del agua, para tal fin se preparó Ag-MNP a partir de una sal de $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en agua de ionizada, con la adición de NH_3 y de PVP con agitación por 45 min. Posteriormente se agregó etanol y una solución de AgNO_3 por lo cual se formó un precipitado pardo negruzco, el cual fue colocado en un horno a 130°C , enjuagado nuevamente. De otro lado, se produjo MNP (a partir de NP Fe_3O_4 puro) bajo el mismo procedimiento sin la adición de AgNO_3 . De esta forma evaluaron 03 patógenos, incluida la reducción logarítmica (reducción logarítmica) en el número de TC, FC y HB, indicando la capacidad de los materiales para desinfectar el efluente de la PTAR.

Maynez-Navarro et al. (2020) un sistema de ZnO incrustado en Fe₃O₄ para su aplicación de en procesos de oxidación avanzada con la generación fotocatalítica de radicales •OH teniendo entre sus objetivos la desinfección del agua mediante la inactivación de la bacteria gramnegativa *Escherichia coli*. Para ello, primero prepararon NP de ZnO por hidrólisis alcalina de Zn (CH₃COOH)₂·2H₂O y LiOH·H₂O (1:2 molar) a 80 ° C por 5 h, luego el sólido se centrifugó y seco a 60°C. En segundo lugar, se elaboraron NP de Fe₃O₄, usando el método de co-precipitación, para ello, soluciones de FeCl₃·6H₂O y FeCl₂·4H₂O se mezclaron con NH₄OH cc para formar una solución negra con precipitado negro el cual fue separado por decantación magnética y estabilizado a pH = 7.0, luego secado a 60 °C y triturado, el tercer paso consistió en elaborar NP de Fe₃O₄/ZnO a partir del precipitado negro que se re-dispersó en ultrasonido con etanol y dicha suspensión fue mezclada con Zn (Ac)₂·2H₂O y LiOH·H₂O (1:2:4 molar), separado magnéticamente y secado convenientemente.

La tabla 2 presenta los resultados obtenidos

Tabla 2. Síntesis de nanomateriales basados en Ag, ZnO y TiO₂

Fórmula	Nanocompuesto	Síntesis de Compuestos NP	Referencia
ZnO-NP	Nanopartículas de ZnO soportadas por Bent	Bentonita (grandes grumos). Molienda y tamizó a 150 µm. Activación química con H ₂ SO ₄ . Producto: Nanopartículas ZnO. Calcinación a 500 °C por 5 h. Polvo de ZnO-NP con soporte de bentonita. Puesto en horno microondas a 60 °C por 20 min de 500 W.	Motshekga, Ray y Maity. (2018).

ZnO-Bent	Síntesis de nanocompuestos ZnO-Bent encapsulados en perlas de alginato	ZnO-Bent encapsulados en perlas de alginato: Sal de alginato de sodio disuelto + nanocompuesto de ZnOBent se gelificación con CaCl ₂ .	Motshekga, Ray y Maity. (2018).
MNPs	Nanopartículas magnéticas (MNPs)	Ag-MNPs: FeCl ₂ .4H ₂ O + agua solución de amoníaco + PVP (sol) + etanol sin AgNO ₃ (sol). Resultado: sedimento color pardo negruzco. Enjuague.	Najafpoor et al. (2020)
Ag-MNPs	Nanopartículas magnéticas cargadas de plata (Ag-MNPs)	Ag-MNPs: FeCl ₂ .4H ₂ O + agua solución de amoníaco + PVP (sol) + etanol + AgNO ₃ (sol). Resultado: sedimento	Najafpoor et al. (2020)
Ag@TiO₂	Nanopartículas estructuradas con capa de Ag core-TiO ₂ (Ag @ TiO ₂)	Hidrólisis de titanio-(trietanolaminato) isopropóxido en 2-propanol y la reducción de iones de plata de AgNO ₃ acuoso usando dimetilformamida con una relación molar de Ag a Ti de 1: 1,7 y calcinación a 450 °C. Luego se adicono acetato de celulosa y acetona para su inmovilización, la película se cortó en escamas de 1 cmx1 cm	Sreeja y Shetty. (2017).

TiO ₂ -dopadas de Cu	Nanopartículas de TiO ₂ dopadas con cobre	Solución de CuSO ₄ .5H ₂ O (Cu ²⁺ /TiO ₂) en ácido acético glacial + isopropóxido de titanio + goma arábica. Agitación por 30 min a 60°C, transferencia a viales presurizados por microondas térmicas por 45 min a 120 °C y 300 psi. Secado a 100oC y calcinado a 350°C por 3 h.	Pedroza-Herrera et al. (2018).
CS-ZnO HNPS	Nanopartículas híbridas de quitosano-óxido de zinc	Óxido de zinc (polvo) + Ácido acético (sol) + quitosano. Ultrasonido, pH =10 + NaOH + calor a 60 °C por 3 h. Centrifugación y filtrado, secado a 50 °C.	Munnawar, I., Iqbal et al. (2017).
Criogeles: criogeles-5/5, criogeles-6/4 y criogeles-8/2.	Sin ZnO	Preparación de nanohíbridos CNC/ZnO en forma de flor: Suspensión de CNC + nitrato de zinc (sol) a pH = 11 (hidróxido de amonio). Reacción a 110 ° C y 2 horas forman precipitados de nanohíbridos CNC/ZnO, secados por 24 h a 60 °C.	Wang et al. (2017).
Criogeles híbridos: criogeles-ZnO-1%, criogeles-ZnO-5%	Con ZnO	Preparación de criogeles de doble respuesta y criogeles inteligentes: APS (solución de iniciadora) + TEMED (solución de agente activo iniciador) + MBA (solución de reticulación) + nanohíbridos tipo flor de CNC/ZnO. Ultrasonidos +	

		<p>desgasificación. Baño de hielo a 0 °C. Adición de APS + TEMED. Centrifugación, enfriamiento 20 h a -50 °C. Criogeles puros (sin adición de ZnO). Criogeles (no tienen ZnO)</p>	
<p>Sistema de ZnO embebido en Fe₃O₄</p>	<p>Nanocompuesto Fe₃O₄/ZnO</p>	<p>Síntesis de nanopartículas de ZnO: Zn (Ac)₂·2H₂O + LiOH·H₂O (molar de 1: 2) en etanol. Calor: 80 °C por 5 h. Centrifugación= 5000 r/min, secado a 60 °C toda la noche.</p> <p>Síntesis de nanopartículas de Fe₃O₄: FeCl₃·6H₂O + FeCl₂·4H₂O + NH₄OH cc. Agitación: 1 h (precipitado negro). Se decanta magnéticamente. Enjuague con TDW, pH = 7.0. Precipitado negro secado a 60 °C. trituración.</p> <p>Síntesis de nanocompuestos Fe₃O₄/ZnO: nanopartículas de</p>	<p>Maynez-Navarro et al. (2020).</p>

		<p>Fe₃O₄ (precipitado negro), enjuague + redispersión (Sonicación en etanol al 96%). Mezcla con Zn (Ac)₂·2H₂O y LiOH·H₂O (relación molar de 1:2:4)+ bajo etanol. Secado: 80 °C por 5 h, pH=7, reposo a 60 °C</p>	
ZnO-Ag- Quitosano	<p>Perlas sintetizadas de ZnO-Ag- Quitosano bajo luz visible.</p>	<p>Solución de quitosano + ácido acético. Agitación 1 hora. + AgNO₃. Nanopartículas de ZnO + ácido acético + NaOH 0,2 M y NaBH₄ para formar perlas de quitosano recubiertas con nanopartículas de ZnO-Ag. Formación de: Quitosano simple, Ag-quitosano y ZnO-quitosano.</p>	<p>Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017).</p>
-	<p>AgNP biosintetizados zeolita pura carbón activado óxido de magnesio</p>	<p>Extracto vegetal: Hojas frescas de M. tuberculata en batidora eléctrica con agua. Filtración del extracto, refrigerado. Síntesis de AgNP. Solución de AgNO₃ + extracto de hoja de M. tuberculata + solución de AgNO₃ forma AgNPs, toma color de amarillo claro a rojo oscuro. Otro: AgNO₃ + NaOH Preparación de catalizadores: AgNPs + zeolita, carbón activado y MgO por impregnación.</p>	<p>Bilal et al. (2019).</p>

OE2: Los instrumentos de alta resolución son usados normalmente para identificar y evaluar las propiedades de los nuevos materiales, con la finalidad de comprender el mecanismo que responde a su aplicación o eficiencia de uso, y con ello mejorar las condiciones de su preparación para elevar la eficiencia y disminuir riesgos de toxicidad. Entre los instrumentos más usados, destacan los ópticos y de medición física y fisicoquímica. Motshekga et al (2018) estudió la morfología de los nanocompuestos ZnO-NP y ZnO-Bent elaborados a partir de poliméricos, bentonita y de nanopartículas de ZnO, para ello usó un microscopio electrónico de transmisión (TEM) de 200 kV, entonces el material en polvo se colocó en un sistema de ultrasonidos y luego se colocó en una de Cu con una película de carbón perforada para su lectura. Los resultados mostraron información de tamaño, la morfología y la dispersión para ZnO-NP y nanocompuesto ZnO-Bent con formas esférica irregulares con tamaños de 20 a 100 nm como nanopartículas bien dispersas en el soporte Bent, esto demostró una mejora en las propiedades de los nanocompuestos porque se minimizó la aglomeración.

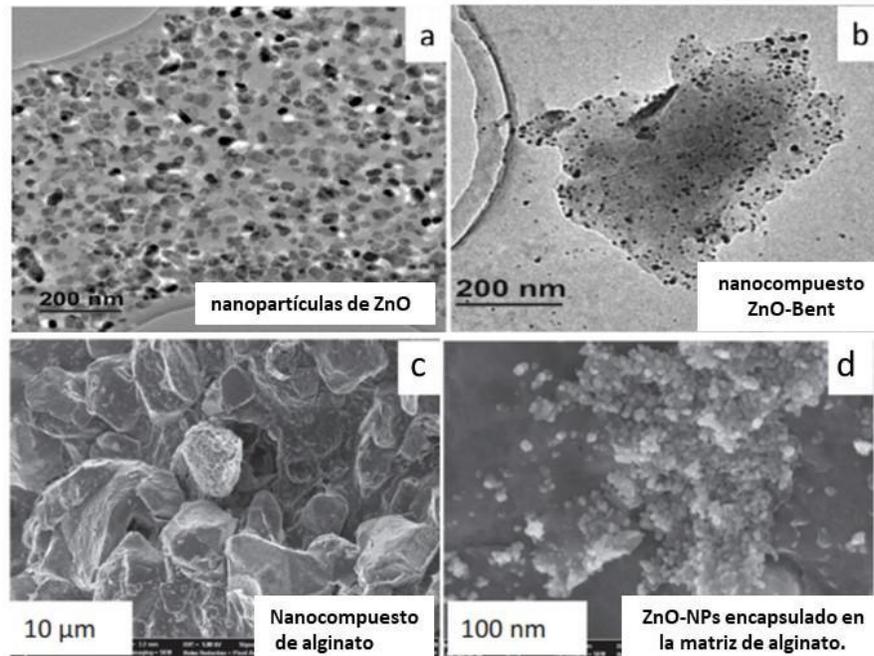


Figura 7. Fotografías de NP obtenidas mediante análisis a) TEM y b) SEM. Fuente: Motshekga et al. (2018)

Motshekga et al (2018), también uso un microscopio electrónico de barrido SEM para medir la morfología de la superficie y la dispersión de los nanocompuestos de ZnOBent en la matriz de alginato. Asimismo, evaluó la cristalinidad de los nuevos materiales por difracción de rayos X usando un difractómetro con irradiación CuK α y determinó la composición elemental de este material por espectroscopía de rayos X de dispersión de energía (EDS). Las imágenes SEM confirmaron la presencia de ZnO-NP en la matriz de alginato con puntos brillantes y aglomeración moderada mientras que el análisis EDS mostró un 6% de Zn²⁺ en el material, pero no fue capaz de distinguir plaquetas de arcilla y esto mostró una limitación en la medición. El análisis de difracción de rayos X (XRD) identificó la presencia de una estructura hexagonal de wurtzita (ZnO), propia y cristalina de las nanopartículas de ZnO, también mostró picos de difracción pequeños pero anchos para el nanocompuesto ZnO-Bent, que muestra una interacción entre ZnO-NP y el soporte Bent y finalmente los espectros de nanocompuestos de alginato mostraron un desorden por la naturaleza amorfa del alginato.

Najafpoor et al. (2020) elaboró nanopartículas NP magnéticas y las NP magnéticas cargadas de plata Ag-MNP y NP de Fe_3O_4 , determinó su morfología y tamaño mediante usando microscopía electrónica de transmisión TEM, y patrones de difracción mediante rayos X –XRD, la propiedad magnética de los materiales identificó mediante un magnetómetro de muestra vibrante VSM la presencia de la Ag y del Fe_3O_4 . Los resultados del análisis TEM mostraron imágenes de las MNP y las Ag-MNP de forma semiesférica y concluyeron que no se podría producir partículas uniforme con un diámetro entre 41 nm (MNP) y 34 nm (Ag-MNP), mientras que el análisis de rayos X demostró picos característicos de Fe_3O_4 puro en la estructura de las MNP y patrones XRD de Ag-MNPs planos de Ag cúbicos además se confirmó las propiedades de los materiales con un comportamiento super paramagnético para ambos por la ausencia de remanencia o coercitividad, sin embargo este aumento de valores se debería a ciertas interacciones de la energía anisotrópica, pero los resultados son contradictorios a los reportados de núcleo-capa de Fe_3O_4 -Ag por Li et al. (2015). Se observó un aumento en los valores con el dopaba Ag en la superficie de las NP de Fe_3O_4 -Ag.

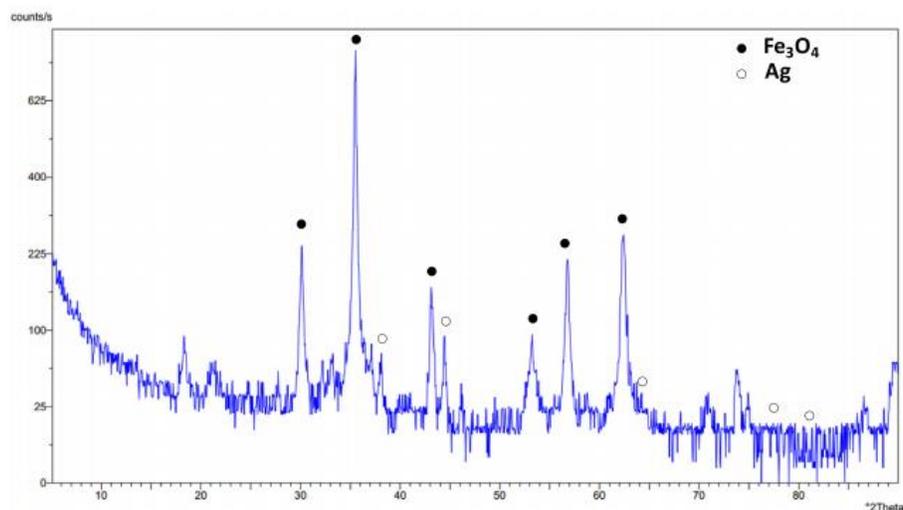


Figura 8. Patrón XRD analizado para el nanocompuesto de Fe_3O_4 y Ag. Fuente: Najafpoor et al (2020).

Pedroza-Herrera et al. (2018) caracterizaron nanopartículas de TiO_2 dopadas con cobre, mediante

Análisis SEM para determinar la morfología, distribución de tamaño, mientras que el EDX se usó para determinar la composición de los materiales y difracción de rayos X, XRD para evaluar la naturaleza cristalina de los materiales, equipo de espectrómetro de fotoelectrones de rayos X (XPS) se estudió mediante difracción de rayos X, XRD. La capacidad de absorción se evaluó por espectroscopia UV-Vis difusa de reflectancia, UV-DRS y se usó un espectrómetro de fotoelectrones de rayos X (XPS) de exploración determinó la composición química de la superficie y analizar la especiación química del dopante. El análisis de microscopía determinó la morfología y la distribución de tamaño de las NP de $\text{TiO}_2\text{-Cu}$ de forma esféricas de 30 nm los materiales soportados mostraron una buena adherencia al sustrato. El análisis XRD demostró patrones de difracción de rayos X del TiO_2 y del TiO_2 dopado con Cu, las cuales mostraron la formación de anatasa sin picos de fases cristalinas del cobre (CuO o Cu_2O) indicando uniformidad en la dispersión en la red de TiO_2 , con cristales de casi 8 nm, por eso no se observó segregación de óxidos de cobre a la superficie, aunque no se produjo sustitución catiónica.

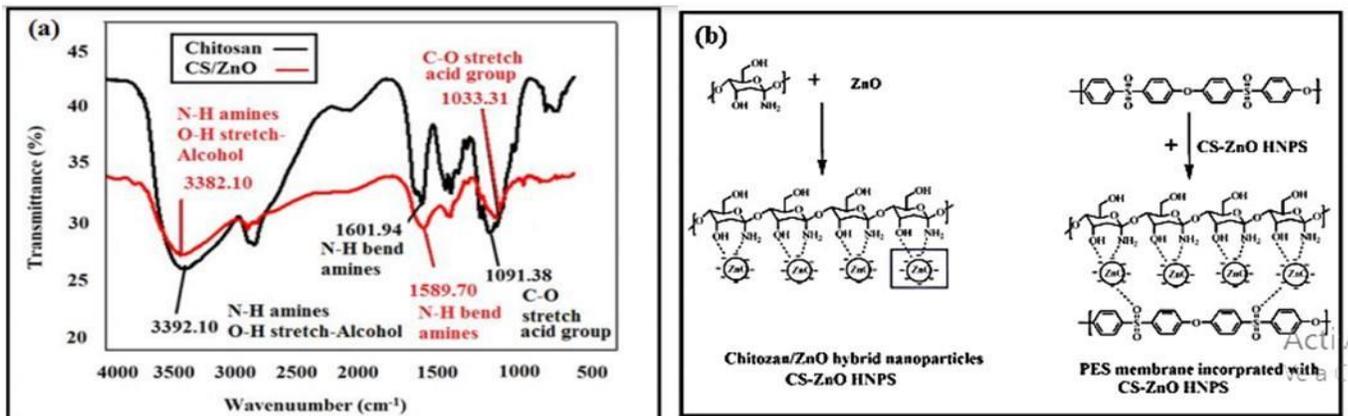
Munnawar et al. (2017), se utilizaron diferentes técnicas de caracterización para caracterizar el CS-ZnO HNPS sintetizado como se describe a continuación. Se realizó microscopía electrónica de barrido (SEM) para investigar la morfología del NPS sintetizado. Se realizó EDS para el análisis elemental del HNPS. La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) se llevó a cabo en una película de KBr para confirmar la inmovilización de óxido de zinc en quitosano. El análisis de difracción de rayos X (XRD) se llevó a cabo para determinar la fase y pureza del NPS. Los XRD permiten identificar la fase cristalina de las nanopartículas y proporcionar la estimación del tamaño de los cristallitos. Análisis de la estructura química de nanopartículas híbridas de quitosano y CS-ZnO efectuada por espectro FTIR demostró una interacción entre las NP ZnO y los grupos funcionales OH y NH_2 del quitosano, con vibración de estiramiento de las aminas primarias OH y NH debido a la inmovilización de Zn^{2+} en OH y NH, asimismo un estiramiento asimétrico de alcanos del grupo C-H, además de curvaturas N-H de las aminas secundarias, deformación N-H, también

exhibió ácidos carboxílicos (C-O) desplazados y estiramientos de N-Zn. En el CS-ZnO HNPS no hubo cambio significativo en las frecuencias por la debilidad de enlaces de H entre el quitosano y el ZnO con la matriz de PES.

Figura 9. (a) Análisis de grupos funcionales por FTIR de quitosano y CS-ZnO HNPS. (b) Estructura química entre los materiales y sus interacciones entre ellos y las nanopartículas de ZnO. Fuente: Munnawar et al. (2017).

El análisis por XRD mostró la naturaleza amorfa del polímero y planos del ZnO con el sistema de cristal de wurzita hexagonal mostrando como el quitosano se transforma de fase amorfa a cristalina.

Wang et al. (2017) elaboró criogeles-ZnO para aplicarse como material nanoparticulado y antibacteriano, entonces se determinó la morfología de los criogeles secos usando el microscopio electrónico de barrido por emisión de campo (FE-SEM) bajo el método del disco de bromuro de potasio (KBr), también se efectuó el análisis por medio de un espectrómetro de infrarrojos por transformada de Fourier (FT-IR) para determinar los grupos funcionales en el rango clásico de 4.000 a 400 cm^{-1} , mientras que las propiedades ópticas se analizaron entre 300 y 700 nm utilizando espectrofotómetro de espectrometría ultravioleta de fase sólida. El análisis de difracción de rayos X en



polvo (XRD) sirvió para determinar la fase cristalina de los nanohíbridos CNC/ZnO y los criogeles. Además, se determinó la termoestabilidad aplicando el TGA analizador termogravimétrico de 30 $^{\circ}\text{C}$ a 600 $^{\circ}\text{C}$.

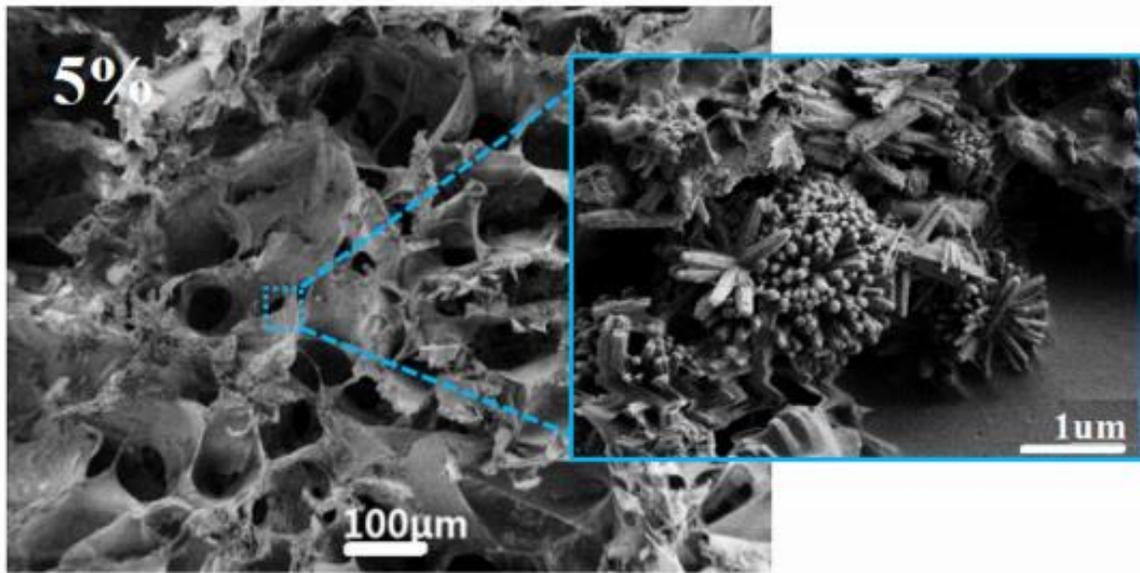


Figura 10. Criogeles-ZnO-5% con nanovarillas de Zn elaboradas por Wang et al. (2017). Fuente: Wang et al. (2017)

Los resultados respecto al análisis de FE-SEM para los crisoles puros señalaron una estructura de tipo tridimensional con una superficie porosa con tamaño de poros entre 161 μm a 479 μm, con paredes laminares delgadas que se encuentran interconectadas, esto determinó una interconectividad entre poros muy pobre, mientras que los criogeles-6/4 por el contrario mostraron distribución de tamaños y porosidad homogénea y ello dependió de la relación molar entre la acrilamida/metacrilato de 2- (dimetilamino) etilo (AM/DMAEMA), lo que influyó además en la morfología del criogel puro. Además, los resultados FTIR mostraron estiramientos N-H, curvados C = O y estiramientos C = O lo cual evidencia el éxito de las reacciones de polimerización del criogel puro. Esto produciría una estabilidad térmica y una capacidad de hinchamiento-deshinchamiento de este material. A esto se suma los resultados TGA y de capacidad de adsorción de los criogeles, lo cual indico una evaporación de agua relacionada al copolímero, pérdida de grupos NH₂ y degradación de cadenas poliméricas de estos criogeles. Otro aspecto evidenciado fue su capacidad

de adsorción entre 19.8 a 30.8 g/g, lo cual se ha logrado modular con las proporciones molares AM/DMAEMA. En cambio los criogeles-6/4 conformaron una fórmula ideal para elaborar criogeles funcionales con una distribución homogénea del tamaño de los poros, estabilidad térmica y reúso, con mayor razón los análisis FE-SEM, FT-IR, solar-UV-vis y XRD el cual confirmó morfología y microestructura de criogeles inteligentes-ZnO similar a los crisoles puros, en formas de racimos de flores por el ZnO en reacciones reticuladas de los grupos carboxilo residuales de la adsorción muy propio de NP ZnO de nanohíbridos 5 y de nanohíbridos CNC/ZnO puro.

Los resultados de degradación térmica TGA y DTG fueron similares entre los criogeles puros T50% de cyrogel-ZnO-1% y cyrogel-ZnO-5% con rangos entre 391.7 y 395.2 °C. Asimismo se observó una alta capacidad de adsorción y equilibrio de adsorción rápida y de hinchamiento-deshinchamiento típico de un gel que se usa como microdispositivo de purificación de agua, especialmente los criogeles- El ZnO (criogeles-5/5 y criogeles-6/4), eso se debería a la interacción de las nanovarillas de ZnO con elevada densidad electrónica causantes de la expansión del volumen libre para absorber más agua debido a su capacidad hidrófila. Estas características con la presencia de Zn actuarían sobre las paredes celulares microbianas.

Maynez-Navarro et al. (2020) produjeron radicales hidroxilos usando NP fotocatalíticas reciclables de $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ para desinfectar agua y para ello analizaron las NP mediante la dispersión dinámica de luz (DLS) para conocer la distribución del tamaño de partículas, dispersando las muestras mediante un baño de ultrasonido y separando 1 ml de la fase líquida. Los grupos funcionales fueron analizados mediante espectros de infrarrojos de transformada de Fourier (FTIR), a partir de sólidos secos y triturados para ser leídos en un espectrofotómetro con un detector de reflectancia total atenuada en una región de 4000 a 400 cm^{-1} . También se efectuaron mediciones de fotoluminiscencia (PL) a temperatura ambiental en un espectrofotómetro con excitaciones desde una fuente de 330 nm, los espectros se de-convolucionaron mediante ajuste gaussiano de múltiples picos, mientras que la morfología se analizó mediante un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo equipado con

detector de espectrómetro de dispersión de energía (EDS) en el cual se depositaron muestras en una cinta conductora de grafito depositadas en clavija de aluminio secadas previamente en el ambiente.

Los resultados del análisis de instrumentación para las soluciones de nanomateriales de Fe_3O_4 , ZnO y $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$, por DLS mostraron distribuciones de tamaño de 566 nm para las NP de Fe_3O_4 , 466 nm para $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ y 580 nm para las NP de ZnO , además en condiciones de pH neutro se registraron potenciales zeta (ζ) igual a + 1.8mV para Fe_3O_4 de - 7.7mV para $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ y de + 3.3mV para ZnO , esto significó que las NP tienden a aglomerarse porque su ζ es cercano a cero, señalando cargas superficiales muy bajas que impiden una repulsión electrostática entre ellas. También los análisis FTIR de ZnO mostraron bandas de absorción menores a 1000 cm^{-1} de vibraciones interatómicas de los enlaces Zn-O confirmando la presencia de ZnO , asimismo se observaron estiramientos de Zn-O típico de la estructura de la wurtzita. También se observaron los estiramientos de Fe-O hacia la estructura de wurtzita indicando que este material se localizó debajo del caparazón de ZnO , esto implicaría una transición de electrones del borde de la banda cercana. El análisis de $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ señalan también transiciones electrónicas entre niveles creadas por defectos estructurales e impurezas por defectos de síntesis, esto significa que la magnetita influye en el material, pero no superará la banda prohibida recombinando el par hueco/electrón, lo que indica que los átomos de Fe sirven como sitios de recombinación

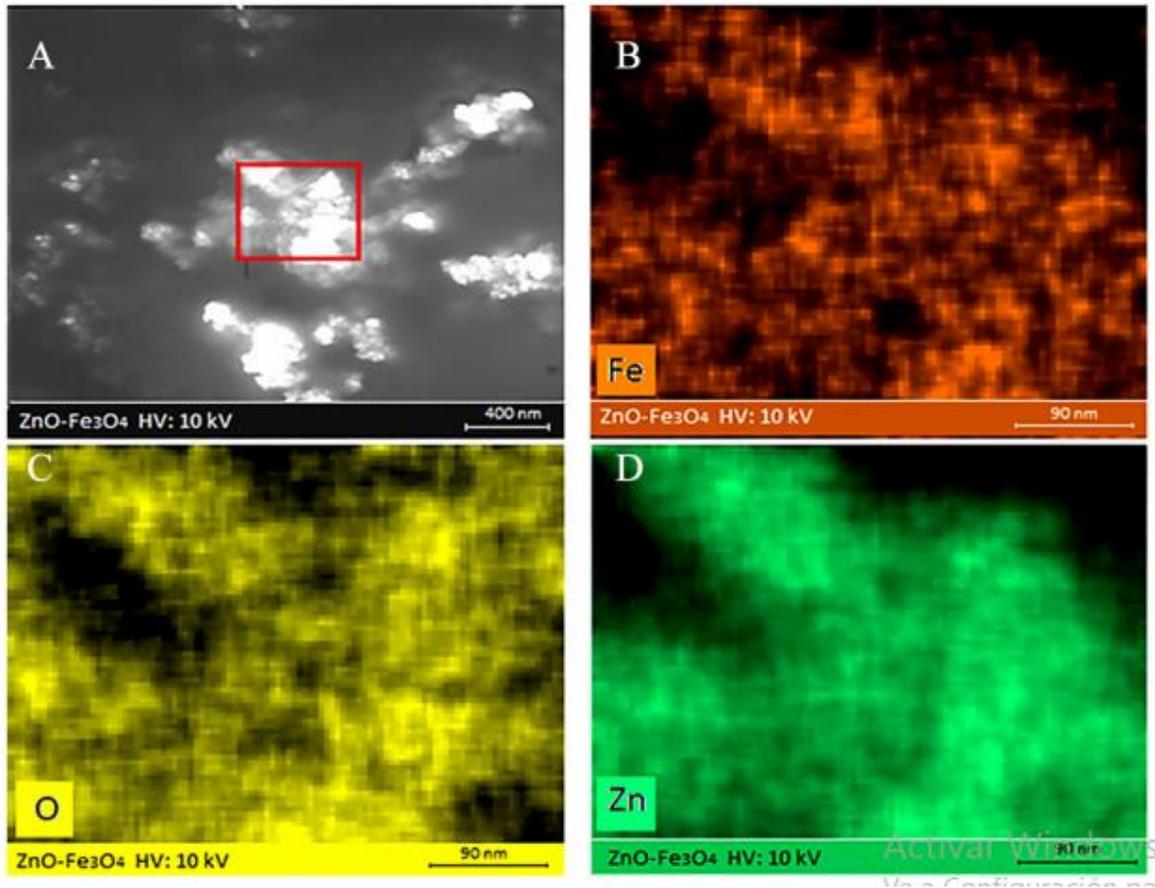


Figura 11. Resultados analíticos basados en imágenes SEM-EDS para $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$: a) SEM; de b a d) mapeo de elementos Fe, O y Zn en el área seleccionada de a), efectuado por Maynez-Navarro et al. (2020). Fuente: Maynez-Navarro et al. (2020)

Respecto a la morfología de los materiales los análisis SEM y de composición química mostraron a los NP de ZnO en forma de varilla con un diámetro menor a 100 nm y longitudes de hasta 500 nm; mientras que el análisis de EDS mostró la presencia de Zn y O y tamaños de NO para el Fe_3O_4 , entre 20 y 50 nm más grandes que el ZnO que recubre múltiples centros de Fe_3O_4 . La composición química se analizó por EDS mostrando bandas con una composición de C (grafito) (65.33%), O (27.27%), Zn (6.49%) y Fe (0.92%) y se demostró que las nanopartículas magnéticas se recubrieron uniformemente por ZnO, de $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ con superficie de partículas compuestas principalmente por ZnO y que el Fe_3O_4 se ubica debajo de la capa de ZnO.

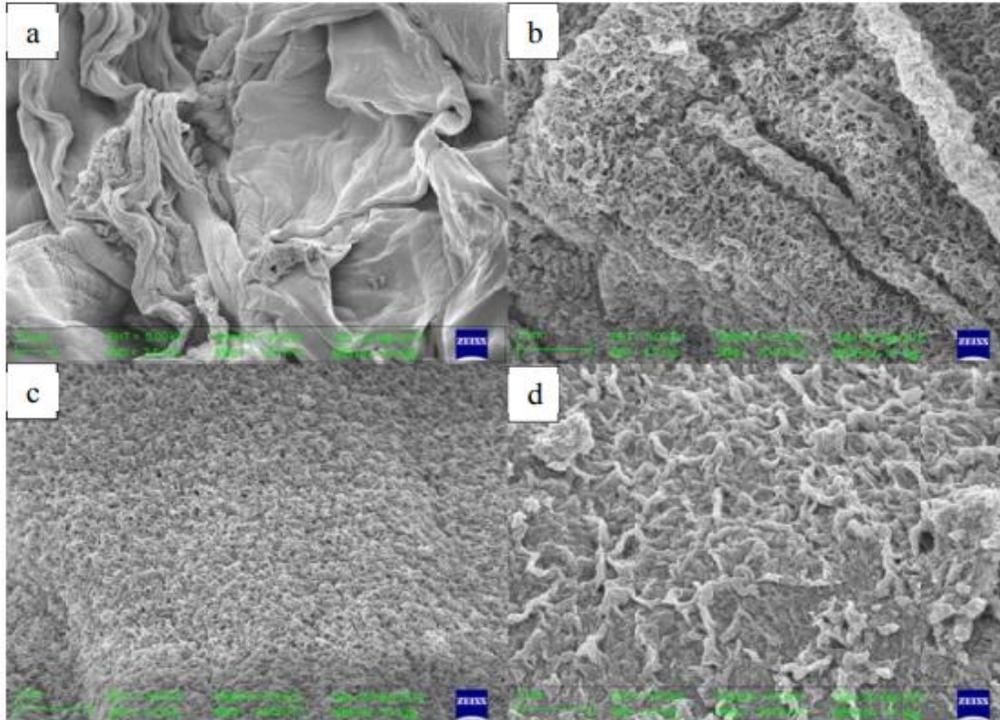


Figura 12. Perlas de: Quitosano a) perlas, b) Ag-Quitosano c) ZnO-Quitosano, d) ZnO-Ag-Quitosano, elaboradas y analizado en SEM; -EDS por Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017). Fuente: Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017).

Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017) sintetizaron perlas de quitosano recubiertas con nanopartículas de ZnO-Ag, la estructura de las perlas de alginato y su composición elemental se estudió mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM) con espectrómetro de electrodifracción (EDAX), los resultados confirmaron que las perlas de quitosano estaban recubiertas con NP ZnO-Ag de tal forma que se formó un agente desinfectante, así, las interacciones interfaciales quitosano-Ag-ZnO cambian la morfología superficial de las perlas, esto influiría en el mecanismo desinfectante de las perlas recubiertas. Se comprobó la forma esférica y secas de las perlas de alginato con tamaños de 1 mm con superficie lisa con formas de escamas laminares y algunas onduladas y rugosas. Mientras que las perlas cubiertas con ZnO o Ag o ZnO-Ag, fueron irregularidades en la superficie. La composición obtenida por análisis EDAX en las

perlas fue 11.5 % para ZnO-Ag-Chitosan, 7.87% para Ag y 33.2 % para ZnO-Chitosan y 15.1% para Ag-Chitosan con composiciones de C (63.3%), N (2.2%) y O (15.2%)

Bilal et al. (2019) biosintetizaron catalizadores con soporte de plata y los caracterizaron para determinar la estabilidad térmica usando un analizador térmico TG/DTA para lo cual las muestras fueron calentadas a 10 °C/min hasta 800 ° C en atmósfera nitrógenada, mientras que su morfología superficial y análisis elemental se hizo en un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FE-SEM) y EDX. De otro lado, los patrones de difracción de rayos X en polvo (XRD) se analizó usando un difractómetro de rayos X con radiación Cu-K α 1 a 40.0 kV y 35.0 mA.

El análisis de XRD del polvo de catalizadores de plata soportados mostró picos de MgO puro y C-Ag/MgO y B-Ag/MgO demostró la presencia de plata y MgO con cristales cúbicos de MgO y de para Ag/MgO mostraron cristales cúbicos centrados en la cara de AgNPs impregnados en soporte de MgO, con tamaños de cristalito de un C-Ag/MgO de 47 nm; cristalitos de AgNP sintetizados biológicamente de 42 nm, los patrones XRD para la plata corresponden a cristales cúbicos centrados en la cara de AgNP dopados con activado carbón.

El tamaño de cristalito C-Ag/AC fue 29 nm y de cristalito de AgNP sintetizados biológicamente de 25 nm, cristalitos AgNP sintetizados químicamente dopados en zeolita de 92 nm, cristalitos AgNP sintetizados biológicamente de 46 nm. Imágenes FE-SEM de C-Ag/MgO fueron similares con formas irregulares con aglomeraciones y estructura polidispersa de 30-100 nm de diámetro con soportes dispersos y geometría esférica de AgNP, mientras que para los tratamientos químicos y biológicos influyeron en el tamaño de catalizadores dopados con zeolita. El tratamiento biológico también cambió la morfología y tamaño de las partículas como la AgNP de forma esférica que los AgNP sintetizados químicamente, debido a la creciente capacidad de reducción de los AgNP facilitados por NaOH sobre la superficie de las zeolitas aumentando su tamaño.

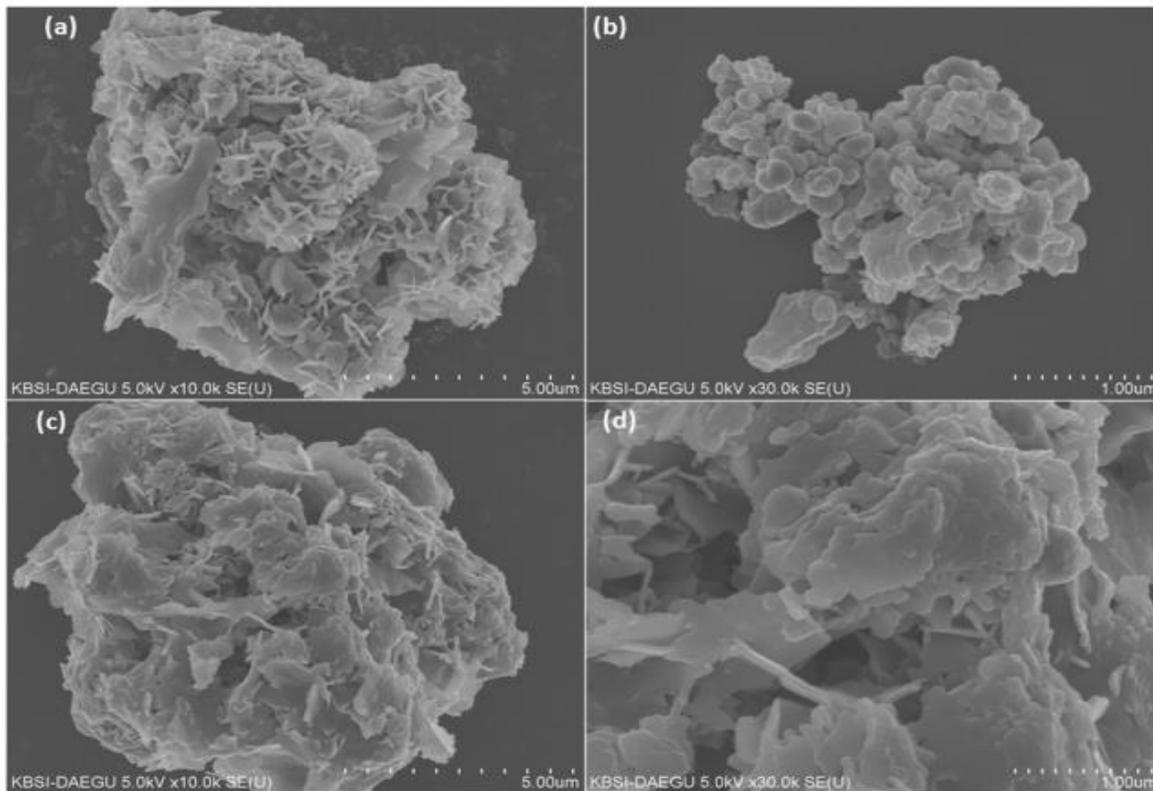


Figura 13. FE-SEM: a) y b) B-Ag/MgO, c) y d) C-Ag/MgO analizados y elaborados por Bilal et al. (2019). Fuente: Bilal et al. (2019).

El análisis de EDX de catalizadores de plata soportados confirmaron dispersiones de iones de plata sobre el soporte y los materiales BAg/MgO y C-Ag/MgO mostraron picos para la plata por una síntesis exitosa de AgNP, picos de magnesio y oxígeno, mostraron además los análisis de B-Ag/MgO y C-Ag/MgO mostraron que los AgNP están impregnados en la superficie de MgO y mientras que un análisis termogravimétrico (TGA) de los catalizadores soportados preparados demostraron la desorción de moléculas de agua absorbidas físicamente y de los compuestos orgánicos volátiles adsorbidos también en las superficies catalizadoras, mientras que B-Ag/MgO a 220°C genera una conversión de $Mg(OH)_2$ en MgO, la deshidratación de la muestra como proceso endotérmico, muestra la descomposición del MgOH. De otro lado los perfiles termogravimétricos de carbón activado y NP dopadas con Ag muestran pérdidas de peso neto total del 25% debido a la desorción de agua absorbidas y de compuestos

orgánicos volátiles adsorbidos en NP soportado cubriendo superficie de NP de C-Ag/AC, B-Ag/AC y carbón activado. También se demostró que por SEM y XRD, que el tamaño de NP biosintetizadas fue más pequeño que NP facilitadas por NaOH sintetizadas químicamente.

Tabla 3. Características de los nanomateriales basados en elementos metálicos como Ag, ZnO y TiO₂

Nano componentes	Características	Resultados	Referencia
ZnO-NP ZnO-Bent	<p>La morfología se determinó a la muestra en polvo en un instrumento TEM a 200 kV. La cristalinidad se analizó por difracción de rayos X, por radiación CuKα filtrada con Ni usando una rendija a 45 kV y 40 mA. La morfología de la superficie y la dispersión de ZnOBent en alginato se analizaron en un SEM</p> <p>La composición elemental: Espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDS)</p> <p>La lixiviación de ZnO-NP se midió en ICP-MS</p>	<p>Imágenes TEM para ZnO-NP: Tamaño de 20 a 100 nm, partículas dispersas en el soporte Bent. Imágenes SEM de los nanocompuestos de alginato, presencia de ZnO-NP en la matriz de alginato en forma de puntos brillantes con moderado grado de aglomeración.</p> <p>Análisis EDS: Composición de 6% de Zn²⁺ en el nanocompuesto.</p> <p>Análisis XRD para conocer la formación del nanocompuesto de alginatomostro para ZnO-NPs planos (1 0 0), (0 0 2), (1 0 1), (1 0 2) y (1 1 0) de ZnO, para nanocompuesto ZnO-Bent, no se observaron claramente por la naturaleza amorfa del alginato</p>	Motshekga et al. (2018).

<p>MNPs Ag-MNPs</p>	<p>La morfología y tamaño: Microscopía electrónica de transmisión TEM Patrones de difracción de rayos X (XRD) Propiedad magnética: Magnetómetro de muestra vibrante (VSM)</p>	<p>Imágenes de TEM mostraron formas MNP y el Ag-MNP casi semiesférico. La imagen TEM de los Ag-MNP fue más oscura. Tamaño de partículas: 41 nm MNP y 34 nm Ag-MNP. Análisis de difracción de rayos X implica Fe₃O₄ puro en la estructura de las MNP. Patrones XRD de Ag-MNPs a (111), (200), (220), (311) y (222) planos de Ag cúbicos. análisis VSM Valores de magnetización de saturación (Ms): 62 emu/g MNP y 67 emu/g Ag-MNP</p>	<p>Najafpoor et al. (2020).</p>
<p>TiO₂ dopado con Cu</p>	<p>Morfología: microscopía electrónica de barrido (SEM) Distribución de tamaño: y Composición: detector EDX Naturaleza cristalina: Difracción de rayos X, XRD Absorción de los materiales: Espectroscopia UV-Vis difusa de reflectancia, UV-DRS, Composición química de la superficie: Espectrómetro de fotoelectrones de rayos X</p>	<p>SEM morfológico: Esferas. Tamaño: 19.6 - 23.24 nm (TiO₂-Cu 1-2%). Cristales uniformes. Análisis de EDS y XPS: Ti, oxígeno (O), cobre (Cu) y carbono (C). Análisis XRD: Formación de anatasa con cristales de CuO/Cu₂O. Análisis Raman: Desplazamiento hacia el rojo por el Cu. Composición de O/Ti con ligero exceso de O-Cu)</p>	<p>Pedroza-Herrera et al. (2018).</p>

	(XPS) Estabilidad química de materiales: Espectroscopia de absorción atómica, AAS		
CS-ZnO HNPS	Microscopía electrónica de barrido (SEM): Morfología del NPS sintetizado. EDS: Análisis elemental del HNPS. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para evaluar grupos funcionales. Análisis de difracción de rayos X (XRD): Análisis de pureza del NPS e identificación de la fase cristalina y estimación del tamaño de los cristalitas.	SEM: CS-ZnO HNPS presentó morfología globular porosa, partículas de 58 nm. EDX: Composición elemental de CS-ZnO HNPS: 21.4% C, 22.56% O y 56.03% Zn. Grupos funcionales de CS-ZnO HNPS, presentaron cambios de las frecuencias de CS a un número de onda más bajo, con frecuencias de vibración tras la adición de CS / ZnO. CS: naturaleza amorfa del polímero y CS / ZnO HNPS: cristal de wurzita hexagonal	Munnawar, et al. (2017).

<p>Criogeles: criogeles-5/5, criogeles-6/4 y criogeles-8/2.</p>	<p>Morfología de criogeles secos: Microscopía electrónica de barrido por emisión de campo (FE-SEM).</p> <p>Grupos funcionales Espectrómetro de infrarrojos por transformada de Fourier (FT-IR), rango de 4.000 a 400 cm^{-1}.</p> <p>Propiedades ópticas: Espectrofotómetro de espectrometría ultravioleta de fase sólida (Solid UV-vis, longitud de onda entre 300 y 700 nm)</p> <p>Fase cristalina: Difractómetro de rayos X en polvo (XRD) (CNC/ZnO y los criogeles).</p> <p>Radiación monocromática de Cu $K\alpha$ a $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$ (rango 2θ de 15–80 °). Velocidad de exploración de 2°/min, 40 kV y 30 mA.</p> <p>Termoestabilidad de criogeles: Analizador termogravimétrico (TGA)</p> <p>Propiedades mecánicas de criogeles: Medición de la compresión uniaxial.</p>	<p>FE-SEM: Estructura tridimensional (3D) porosa compuesta de paredes de láminas delgadas interconectadas, partículas: 161 μm a 479 μm. FTIR: Estiramiento N-H, al curvado C = O y al estiramiento C = O, NH y C = O.</p> <p>TGA: Pérdida de NH_2 y degradación de cadenas poliméricas en criogeles: Temperaturas de descomposición (T50%) criogeles: 5/5 (379.5 °C), 6/4 (389.7°C), y 8/2 (393.6 °C). Capacidad de adsorción: 19.8 – 30.8 g/g.</p>	<p>Wang (2017)</p>
---	---	---	--------------------

<p>Nanocompuesto Fe₃O₄ / ZnO</p>	<p>Caracterización de nanocompuestos Dispersión dinámica de luz (DLS): Tamaño de partícula espectros de infrarrojos de transformada de Fourier (FTIR): Grupos funcionales Fotoluminiscencia (PL): espectrofotómetro microscopio electrónico de barrido de emisión de campo con espectrometría de dispersión de energía (EDS): análisis morfológicos</p>	<p>Picos muestran enlaces Zn-O, confirma la presencia de ZnO, estiramiento de Zn-O que insinúa una estructura de wurtzita. Pico de estiramiento de Fe-O de estructura de wurtzita. Indicación de que este material está debajo del caparazón de ZnO. Fotoluminiscencia para Fe₃O₄ / ZnO, ZnO y Fe₃O₄. ZnO muestra transición de electrones del borde de la banda cercana. Fe₃O₄/ZnO: la magnetita tiene influencia en el material y no superará la banda prohibida, lo que lleva a la recombinación del par hueco / electrón. Átomos de Fe sirven como sitios de recombinación.</p>	<p>Maynez-Navarro et al. (2020)</p>
<p>Perlas sintetizadas de ZnO-Ag-Quitosano bajo luz visible.</p>	<p>La estructura de las perlas y su composición elemental se analizaron mediante microscopio electrónico de barrido (SEM) en espectrómetro de electro difracción (EDAX).</p>	<p>Perlas de quitosano ZnO-Ag: Superficie de perlas húmedas eran esféricas secas de 1 mm y superficie lisa. Perlas recubiertas con ZnO o Ag o ZnO-Ag, irregularidades en su superficie. La presencia de material conductor de plata o ZnO en la superficie aumentó la rugosidad de la superficie. Composición de Perlas de ZnO-</p>	<p>Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017)</p>

		Ag-Chitosan: Zn (11.5%) y Ag (7.8%). Composición de ZnOChitosan: Zn (33.2%) y Ag (15.1%) en Ag-Chitosan. Composición química: C (63.3%), N (2.2%) y O (15.2%) además de Zn y Ag	
	Patrones XRD, FE-SEM y EDX: Característicos a los AgNP en el soporte.	El análisis XRD mostró que las nanopartículas preparadas eran de naturaleza cristalina y que los diferentes métodos de preparación y soportes influyen en la cristalinidad de los AgNP. tamaño de las nanopartículas biosintetizadas era más pequeño en comparación con las nanopartículas mediadas por hidróxido de sodio sintetizadas químicamente	Bilal et al. (2019)

OE3: Motshekga, Ray y Maity (2018) produjeron alginato de sodio, polímero natural encapsulando NP antimicrobianas de ZnO soportadas por bentonita para inactivar bacterias con resultados de alta eficacia ya que lograron eliminarlos en el agua sintética y superficial. Una dosis de 0.5 g de Nanocompuestos, eliminaron bacterias con una concentración inicial de 200 ufc/ml para agua sintética después de 70 minutos de tiempo de contacto y también eliminaron en un minuto una concentración de 200 ufc/ml de bacterias de las aguas superficiales que superan estándares de calidad acuática evidenciado por pocas colonias bacterianas alrededor del nanocompuesto, esto es debido a la acción bactericida de los iones Zn^{+2} y a la cantidad del material los nanocompuestos. Esto podría deberse a la unión de bacterias sobre las superficies de nanocompuestos que activó la acción bactericida de tal forma que las células bacterianas se unieron al material debido a sus cargas opuestas, así el Zn^{+2} perforaron las paredes celulares de las bacterias provocando la muerte celular y también los nanocompuestos se habrían comportado como adsorbentes y desinfectantes.

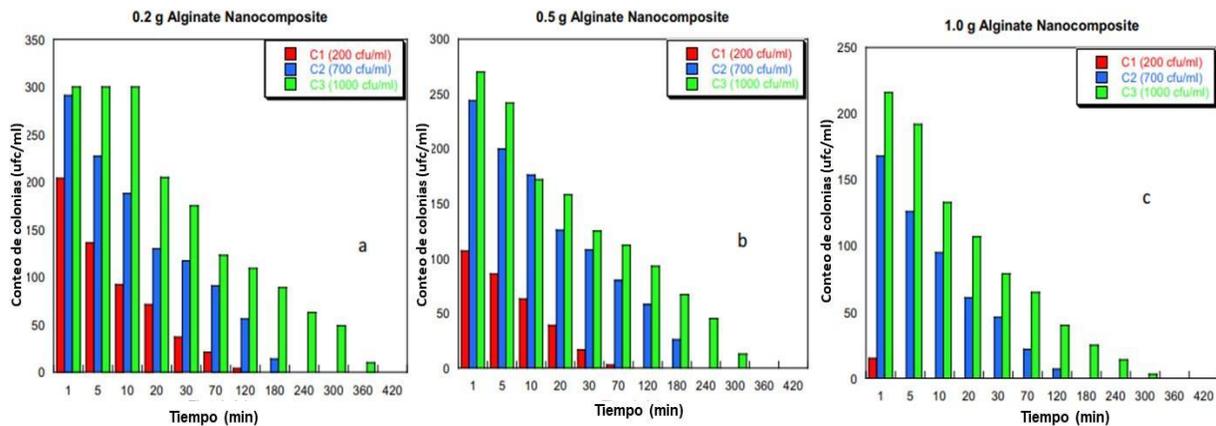


Figura 14. Prueba bactericida de nanocompuestos de alginato con distinta concentración de bacterias y de nanocompuestos realizada por Motshekga, Ray y Maity (2018). Fuente: Motshekga, Ray y Maity (2018)

De otro lado, los nanocompuestos de alginato no resultaron por sí mismo tan efectivos en el agua superficial porque contenía recuentos viables de coliformes fecales (4

ufc/100 ml), así como *Escherichia coli* (4 ufc/100 ml) y de coliformes totales (80 ufc/100 ml).

Najafpoor, et al. (2020) estudiaron el efecto de las nanopartículas magnéticas MNP y las nanopartículas magnéticas cargadas de plata Ag-MNP en la desinfección de efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) mediante tratamiento avanzado, con la finalidad de proteger los cuerpos receptores y reusar el agua, entonces se examinaron la acción bactericida de los magnetocompuestos en los coliformes totales (CT), los coliformes fecales (FC), las bacterias heterótrofas (HB). Los resultados demostraron que las MNP de 41 nm y Ag-MNP de 34 nm, con una magnetización de saturación de 62 y 67 emu/g, respectivamente en una dosis de 105 mg/L, después de 70 min de contacto eliminaron bacterias presentes inicialmente del 55% con una reducción logarítmica de 0.65 TC, 0.48 FC y 0.58 HB, esto significo que el cambio de MNP a Ag-MNP reduce 0.06 veces más el contenido de las bacterias. Esto se debería a la acumulación de Ag-NP en la pared celular bacteriana y luego a la penetración en la célula causando la muerte bacteriana y cuando se aumentó la concentración de NP aumentó la superficie de adsorción del contaminante, se produjo una mayor liberación de iones Ag⁺ que penetraron en la célula dándole muerte mejorando la eficiencia de eliminación.

Sreeja y Shetty (2017) desinfecto agua mediante un proceso fotocatalítico de irradiación solar usando nanopartículas estructuradas núcleo-capa de Ag@TiO₂, los cuales resultaron eficientes en condiciones de irradiación de luz solar en forma libre e inmovilizada. Los análisis previos reportaron un contenido microbiano de 40E8 UFC/mL de células de *Escherchia coli* las cuales fueron exterminadas en su totalidad después de los 15 min de tratamiento foto catalítico solar en la forma libre de las bacterias al usar una dosis de 0.4 g/L de Ag@TiO₂ descubriéndose la superioridad de estos nanomateriales en comparación con el de TiO₂ en la desinfección solar. Entonces observaron que la tasa de fotocátalisis aumentó con el incremento den la dosis del catalizador y disminución de la concentración celular. Sin embargo, se formaron endotoxinas ante la muerte celular las que también fueron eliminadas por NP

Ag@TiO₂. En cambio, cuando el nanocompuesto Ag@TiO₂ fue inmovilizado Ag@TiO₂ la tasa de desinfección disminuyó ante la menor difusión y penetración de la luz. En general el rebrote de bacteria fue despreciable.

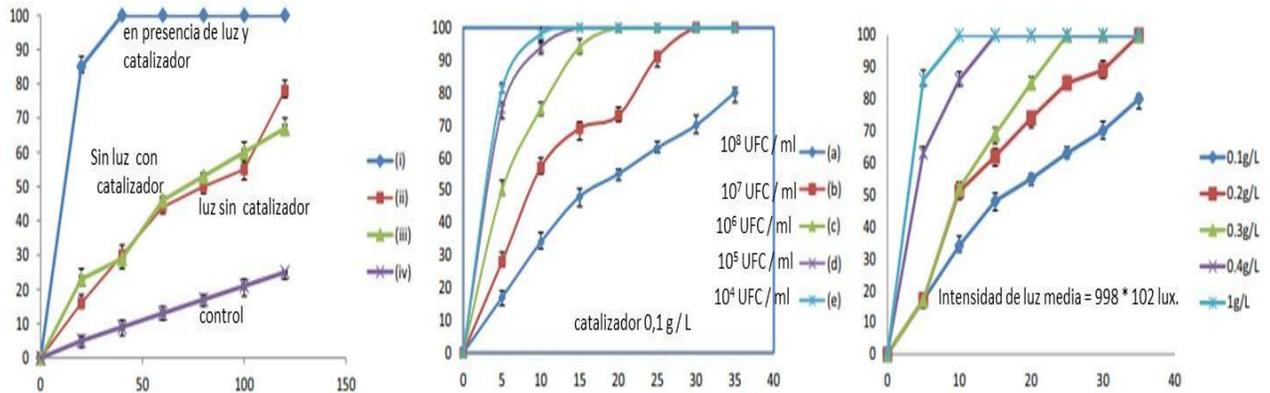


Figura 15. Pruebas de eliminación de *Echearichia Coli* a) en presencia/ausencia de catalizador y luz, b) distintas concentraciones bacterianas y c) dosis de NP, efectuado por Sreeja y Shetty (2017). Adaptado de Sreeja y Shetty (2017).

Pedroza-Herrera et al. (2018), también probaron la actividad fotocatalítica de NP TiO₂ dopadas con Cu para purificar (desinfectar) efluentes industriales, la aplicación de este NO lograron una desinfección de los efluentes después de cinco horas del tratamiento con luz visible mientras que el peróxido de hidrógeno mejoró la actividad fotocatalítica de las NP por la liberación de iones Cu²⁺ que combinó el mecanismo de degradación como una fotocatalisis + foto-Fenton, de esta manera se demostró propiedades antibacterianas gramnegativas y grampositivas y no ejercen citotoxicidad en células sanguíneas humanas.

Munnawar et al. (2017) evaluaron el efecto sinérgico de NP híbridas de quitosano-óxido de zinc en la desinfección de agua y antiincrustante de membranas de nanocompuestos de polietersulfona de matriz mixta y demostraron que la aplicación exhibían permeabilidad muy significativa al agua, hidrófilo y efectivo ante el ensuciamiento microbiano por sus propiedades bactericidas y antifúngicas debido a

la sinergia entre el quitosano (CS) y el ZnO contra las bacterias *S. Aureus*, *B. Cereus*, *E. coli* y contra hongos *S. typhi*, *A. fumigatus* y *F. solani*.

En este caso, las NP híbridas CS-ZnO mostraron prominencia de inhibición bajo 3 dosis de CS- ZnO HNPS (50%, 75% y 100%), de tal forma que cuanto mayor fue la dosis entonces la zona de inhibición aumentaba especialmente sobre las bacterias gram positivas debido a que ZnO produce especies reactivas de oxígeno, entonces las membranas bacterianas gramnegativas resultan más resistentes por la membrana externa que posee las gramnegativas en su pared celular, este presenta resistencia contra las especies reactivas de oxígeno (ROS) y esto se produce por las fuertes interacciones entre la superficie de la pared celular electronegativa con el CS-ZnO HNPS de carga positiva, penetrando la membrana celular para filtrar los principales componentes directamente involucrados con el crecimiento bacteriano.

Respecto a la actividad antifúngica NP se evaluaron zonas de inhibición las que aumentaron con la dosis de las NP, siendo la especie *A. fumigatus* las más afectada frente a *F. solani* especialmente con dosis del 100% de NPS, esta zona de inhibición superó la obtenida al aplicar anfotericina que es un fármaco antifúngico considerado como control en la prueba. La efectividad se debió a la quelación del quitosano con Zn^{+2} , que frecuenta una mayor interacción con la membrana aniónica fúngica causando la destrucción generalizada de las hifas del hongo.

Wang et al. (2017) sintetizaron criogeles de adsorción-desinfección ultrarrápidos formando racimos de nanocristales de celulosa/nanovarillas de ZnO para ser usados como micro dispositivos portátil en la purificación de agua del campo, estos también se han denominado criogeles inteligentes p criogeles-ZnO restaron contenidos nanohíbridos en su microestructura, con propiedades térmicas, antibacterianas con capacidad de adsorción y capacidad estable de hinchamiento-deshinchamiento, así las cantidades de UFC de agua de campo simulada disminuyeron de 1862 UFC/ml a 6 UFC/ml lo cual significó un buen rendimiento frente al estándar de calidad de agua potable en China (100 UFC/mL), con una dosis de 14.3-16.1 g de criogeles-ZnO /g de agua potable desinfectada

Maynez-Navarro et al. (2020) generó radicales hidroxilo con NP fotocatalíticas de $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ capaces de ser reusadas desinfectando aguas y su rendimiento en este tratamiento se midió con pruebas de inactivación de la *Escherichia coli* bajo distintas concentraciones (0.1, 1.0 y 5.0 mg/mL) del NP $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$, de los cuales una dosis de 0.1 mg/mL (90%) resultó más efectiva luego de 30 minutos de irradiación UV, es importante destacar que este material se podía recuperar magnéticamente de manera muy simple y su rendimiento equivale a un reuso de 3 ciclos consecutivos. Este material NP $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ magnético y fotoactivo demostraron un buen rendimiento, superior para la desinfección del agua.

Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017) sintetizó perlas de quitosano recubiertas con nanopartículas de ZnO-Ag (ZnO-Ag-Quitosano) para desinfectar aguas residuales secundarias y reusarlas, los resultados se midieron en función del número final más probable (MPN/100 mL). Una dosis de 0.4 mg/L de quitosano, Zn y Ag fue usada bajo la luz solar en 1 hora de tratamiento, en este proceso se generaron especies reactivas de oxígeno se logró una remoción de 10% y de 20% con 4 usos de reciclado, sin embargo, la eficiencia en la desinfección de las perlas disminuyó por incremento de nitrato en un 10%.

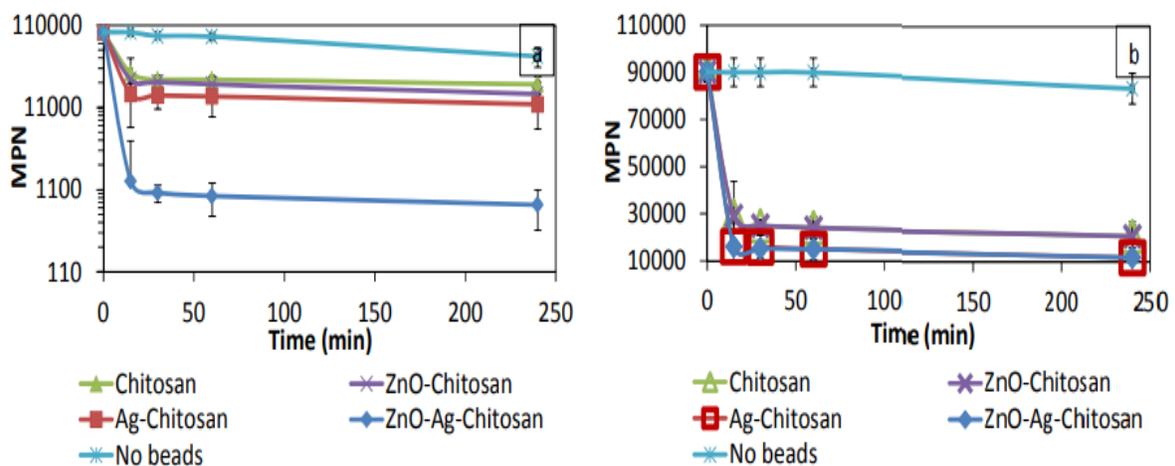


Figura 16. Prueba antibacteriana con distintas perlas de 0.4 mg/L de Ag, Zn y Quitosano: a) con luz sola y b) en el interior de laboratorio efectuado por Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017).

Bilal et al. (2019) produjo nanopartículas de plata (AgNPs) por métodos químicos y biológicos y luego se impregnaron con diferentes materiales de soporte incluyendo carbón activado, zeolita y óxido de magnesio para desinfectar agua potable de la *Escherichia coli*. Los resultados indicaron que los catalizadores soportados por AgNP fueron los que mejor respuesta tuvieron, ya que fueron más activos logrando inhibir a todas las bacterias en el agua potable. De otro lado, el carbón activado y la zeolita son inactivos contra *E. coli*, pero el MgO si logro una actividad bacteriostática de manera sinérgica con las NP Ag indicando una mayor actividad de los catalizadores de Ag soportados por MgO, también se encontró que el catalizador C-Ag/MgO tuvo mejor muestra contra *E. coli* comparado con B-Ag/MgO debido a la impregnación de Ag en C-Ag/MgO frente a B-Ag/MgO. La alta actividad de los AgNP para eliminar *E. coli* se debería a la interacción de la Ag con la membrana celular de la bacteria ya que la Ag es más afín para reaccionar con biomoléculas que contienen fósforo/azufre en la pared celular bacteriana, el orden de actividad bactericida para estos catalizadores de Ag soportados fue: C-Ag/MgO > B-Ag/MgO > C-Ag/AC > B-Ag/Zn > CA /Z > B-Ag/CA.

Tabla 4. Efectos de la aplicación de NP en la desinfección de aguas

Nano compuestos	Tipo de muestra	Dosis	Tiempo	Bacterias iniciales	Bacterias finales	Referencias
ZnO-NP ZnO-Bent	agua superficia I	0,2 g por 100 ml de agua sintética	120 min de tiempo de contacto	bacterias de 200 ufc / ml	0	Motshekga, Ray y Maity (2018)
ZnO-NP ZnO-Bent	agua superficia I	1,0 g	primeros 70	bacterias de 200 ufc / ml	0	
ZnO-NP ZnO-Bent	agua contaminada	-	1 min	recuentos viables de Coliformes fecales (4 ufc / 100 ml), <i>Escherichia coli</i> (4 ufc / 100 ml) y Coliformes totales (80 ufc / 100 ml)	0	
MNPs	Agua residual PTAR	48.5 a 161.5 mg/L	40.3 a 99.7 min	Puntos de muestreo en PTAR: TC: 5.77 UFC/mL	Reducción logarítmica: TC: 0.52 a 0.71 FC: 0.40 a 0.49 HB: 0.47 a 0.62	Najafpoor, et al. (2020)

Ag-MNPs	Agua residual PTAR	48.5 a 161.5 mg/L		FC: 1.24 UFC/mL HB: 8.61 UFC/mL	Reducciones logarítmicas: TC: 0.58 a 0.77 FC: 0.47 a 0.56 HB: 0.53 a 0.69	
capa de Ag core-TiO ₂ (Ag @ TiO ₂)	luz y catalizador	Intensidad lumínica media de 970 102 lux. Dosis: 0.4 g/L	15 min	células viables de <i>Escherchia coli</i> de 40E8 UFC/ml	25%	Sreeja, y Shetty (2017).
	catalizador o en ausencia de luz	0.4 mg/L	120 min		67%	
	luz sin catalizador	intensidad lumínica media de 970 102 lux	120 min		78%	

TiO ₂ dopado con Cu	Efluente Industrial	TiO ₂ -Cu 2,0%.	420 min	<i>E. coli</i>	0	Pedroza-Herrera et al. (2018)
CS-ZnO HNPS	Agua inoculada	15%	-	<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 653) (3.17 x 10 ⁹) <i>Bacillus cereus</i> (3.5 x 10 ⁹), <i>Escherichia coli</i> (ATCC 8739) (3.2 x 10 ⁹), <i>Salmonella typhi</i> (ATCC 6539) (3.7 x 10 ⁹) Unidad formadora de colonias (UFC / ml)	<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 653) (a 0,36 x 10 ⁹) <i>Bacillus cereus</i> (0,40 x 10 ⁹), <i>Escherichia coli</i> (ATCC 8739) (0.48 x 10 ⁹), <i>Salmonella typhi</i> (ATCC 6539) (0.61 x 10 ⁹)	Munnawar et al. (2017)
	Agua inoculada		-	<i>F. solani</i> 4.5 x 10 ⁴ y <i>A. fumigatus</i> 8 x 10 ⁴ recuento de esporas/ml	<i>F. solani</i> 3.33 x 10 ⁴ y <i>A. fumigatus</i> 5 x 10 ⁴ recuento de esporas/ml	
criogeles-ZnO	Agua sintética inoculada	1% en peso de CNC / ZnO	45 minutos	1862 UFC / ml <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i> , ATCC 25922) y	6 UFC / ml.	Wang et al. (2017)

				<i>Staphylococcus aureus</i> (<i>S. Aureus</i> , ATCC 27217)		
nanocompuesto Fe ₃ O ₄ / ZnO		0.1 mg/mL	30 minutos	<i>Escherichia coli</i>	0.9	Maynez-Navarro et al. (2020)
Perlas sintetizadas de ZnO-Ag-Quitosano bajo luz visible. En laboratorio	Efluente de UASB	de 0.4 mg / L	1 hora	Coliformes: 3.6E4 a 1.01E5 MPN/100 mL.	46000 NMP/100 ml (Sin perlas) 24000 NMP/100 ml (Perlas de ZnO-quitosano) 24000 NMP/100 ml (Perlas de quitosano) 15000 NMP/100 ml (Perlas de ag-quitosano) 15000 NMP/100 ml (ZnOAg-quitosano)	Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017)
Perlas sintetizadas de ZnO-Ag-Quitosano bajo luz	Efluente de UASB	0.4 mg / L	1 hora	Coliformes 3.6E4 a 1.01E5 MPN/100 mL	29000 NMP/100 ml (Sin perlas) 24000 NMP/100 ml (Perlas de ZnO-quitosano) 21000 NMP/100 ml (Perlas	

visible. Con luz solar					de quitosano) 15000 NMP/100 ml (Perlas de ag-quitosano) 920 NMP/100 ml (ZnOAg-quitosano)	
C-Ag/MgO: NP Ag químicamente reducido impregnado en MgO	75 min	<i>Escherichia coli</i> (700)	0	Bilal et al. (2019)		
B-Ag / MgO: NP Ag biológicamente reducido impregnado en MgO	75 min	<i>Escherichia coli</i> (700)	0			
C-Ag / AC: NP Ag químicamente reducido recubierto de C activado	75 min	<i>Escherichia coli</i> (700)	13			
B-Ag / AC: NP Ag biológicamente reducido recubierto de C activado	75 min	<i>Escherichia coli</i> (700)	0			
C-Ag / Z: NP Ag químicamente reducido recubierto de zeolitas	75 min	<i>Escherichia coli</i> (700)	9			
B-Ag / Z: NP Ag biológicamente reducido recubierto de zeolitas	75 min	<i>Escherichia coli</i> (700)	2			

V. CONCLUSIONES

OE1: Se ha demostrado que las nanopartículas mantienen propiedades importantes que permiten su aplicación como adsorbentes y bactericidas o antifúngicas en el tratamiento de aguas incluidas las aguas residuales, su riqueza de área superficial que es más grande que las partículas gruesas además de su funcionalidad con las diferentes especies químicas mejoran y aumentan su afinidad hacia las paredes celulares microbiológicas con una alta capacidad de penetración y destrucción generada por los iones y aniones metálicos entre otros. Se ha demostrado que la síntesis y eficacia de las nanopartículas de Ag @ TiO₂ para la desinfección de agua aplicada con irradiación de luz solar encontrándose que la aplicación de NP de Ag @ TiO₂ resulta superior a las NP TiO₂ aisladas en el tratamiento avanzado de desinfección del agua por fotocatalisis, con una variabilidad de los iones de Zn, Ag y Ti.

La aplicación de nanocompositos de polímeros naturales acoplados a metales, como el alginato, es muy prometedor porque además ofrecen menores costos para su elaboración, eso permite su producción a gran escala en el lugar de aplicación. El caso de las NP híbridas de quitosano-óxido de zinc (CS-ZnO HNPS) en las que se incorpora ZnO en la matriz de polietersulfona se ha identificado una alternativa efectiva además ha sido aplicada en membranas poliméricas antiincrustantes han resultado también antibacterianas y han sido denominadas membranas de NP híbridas. Los extractos vegetales también se vienen desarrollando con efectividad, el caso del NP Ag en extracto de hoja de la especie vegetal *M. tuberculata* (*M. tuberculata*-AgNP) como reactivo biológico natural, debido a sus diversas interacciones metal-soporte, producen deposiciones de NP Ag sobre soportes que resultan eficientes en la desinfección de aguas, son de bajo costo.

De otro lado, también se han usado polímeros químicos y compuestos de sol-gel modificados y activados mediante tratamientos hidrotermales asistidos por microondas para producir nanocompuestos, el caso de las NP de TiO₂-Cu₂₊, ha permitido reducir el tiempo de preparación aumentando la posibilidad de su implementación a gran

escala. Destacan los criogeles inteligentes elaborados de manera exitosa por copolimerización con distintos monómeros como los DMAEMA y AM que forman racimos de nanovarillas CNC/ZnO con formas de flor, estos nanocompuestos poseen una estructura de poros, propiedades térmicas y de hinchamiento en función de la relación molar aplicada entre los monómeros que facilitan la adsorción y destrucción de las paredes celulares.

Sin embargo la elaboración de NP magnéticos ha cobrado especial interés por su rápida regeneración, como es el caso de Fe_3O_4 dopados con iones Ag (Ag-MNP) ha logrado reducir el tamaño de las partículas y ha aumenta sus propiedades magnéticas, estas son de forma esférica y su tamaños promedio de 40 nm, su poder de magnetismo es mayor comparados con las Fe_3O_4 puro, así como $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ nanoestructurado, las propiedades fotocatalíticas, estructurales y químicas superaron a la de sus componentes ZnO y Fe_3O_4 , resultan ventajosas por su bajo costo, tiempo de reacción corto son de fácil separación y sus grupos funcionales se modifican de acuerdo al ion metálica usado como las NP-Ag.

OE2: Las nanopartículas elaboradas con productos naturales como las NP híbridas de quitosano-ZnO (CS-ZnO HNPS) caracterizados normalmente por instrumentación de microscopio de alta resolución SEM, rayos X como XRD y espectrómetros infrarrojos-FTIR brindan una caracterización efectiva de los nanocompuestos. En este caso las pruebas de XRD y FTIR para este tipo de NP confirmaron la inmovilización de ZnO en aminas con el grupo hidroxilo del quitosano. Su aplicación en membranas de filtración de agua demostró que un incremento de CS-ZnO HNPS mantiene un efecto significativo en la porosidad de la membrana, su hidrofiliidad, rugosidad y permeabilidad con propiedades antibiofouling capaces de reducir el recuento de colonias bacterianas y esporas. También se han producido NPde Ag usando extracto de hoja de *M. tuberculata*, cuyos análisis XRD demostraron una naturaleza cristalina AgNP basada en los distintos soportes usados, los resultados del análisis SEM y XRD, demostraron nanopartículas biosintetizadas más pequeñas comparadas con otras como NaOH elaboradas con compuestos químicos. La impregnación de AgNP

biosintetizados demuestra una excelente dispersión de los iones Ag sobre el soporte con actividades de reducción catalítica y antibacteriana.

También se ha demostrado las propiedades fisicoquímicas de las NP sintéticos como sol-gel modificado y activado con $\text{TiO}_2\text{-Cu}_2^+$, que ha presentado su naturaleza cristalina, con un tamaño reducido pero uniforme, con actividad ante la luz visible y biocompatible a la degradación, sin embargo el $\text{TiO}_2\text{-Cu}_2^+$ es el agente que logra la desinfección y su eficiencia ha sido comprobada sobre las aguas residuales industriales muy relacionada con la lixiviación de iones Cu_2^+ , especialmente cuando se combina con un ataque de oxidación fotocatalítico con TiO_2 , estas propiedades son atractivas por su eficiencia para el reciclaje de aguas a partir de los efluentes industriales.

A este tipo se suman las características de nanocriogeles inteligentes elaborados por co-polimerización a partir de monómeros sintéticos DMAEMA y AM que forman racimos de nanovarillas combinadas con CNC/ZnO posee propiedades térmicas y de hinchamiento, que dependen de la dosis de iones metálicos usados, los criogeles-6/4 resultaron ideales por los nanohíbridos CNC/ZnO por sus propiedades antibacterianas, especialmente en proporciones de criogeles-ZnO-5% con elevado contenido nanorrellenado, presentaron racimos de nanovarillas de CNC/ZnO homogéneos depositados en la superficie de los poros mostrando elevada capacidad de absorción y capacidad de hinchamiento-deshinchamiento muy rápido y de doble respuesta con muchos ciclos de reuso sin pérdida mecánica.

Respecto a las NP magnéticas como el $\text{Ag-Fe}_3\text{O}_4\text{@C}$ resultan muy eficientes para lograr una separación magnética óptima y de actividades antibacteriana, los compuestos magnéticos fotocatalítico como el $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ son también recuperables a diferencia de sus componentes solitarios caso ZnO y Fe_3O_4 , la formación de radicales $\bullet\text{OH}$ bajo irradiación UV, es mucho más efectiva con una pérdida pobre de su actividad.

OE3: Las diversas combinaciones metálicas han resultado muy efectivas en el tratamiento antibacterianos, especialmente los AgNP dopados con plata resultan

efectivos, mientras que el uso de soportes de zeolita pura y carbón activado resultan inactivos y el óxido de magnesio en cambio puede mejorar la actividad para el caso de eliminación de *E. coli*, estas resultan muy segura ambientalmente.

En cambio, la incursión en la aplicación de materiales naturales combinados con los metales también ha resultado más ecológico, la aplicación de NP híbridas de quitosano-ZnO (CS-ZnO HNPS) sobre membranas de filtración de agua producen una reducción significativa de bioincrustación en el recuento de colonias de bacterias y de hongos. Las perlas de quitosano combinadas con iones Ag y Zn en forma de híbridos ZnO-Ag-Chitosan presentan un potencial de desinfección de aguas residuales por sus efectos antimicrobianos asistido por luz visible esto se debe a los efectos combinados de las especies h^+ , OH^\bullet , $O_2^{\bullet-}$ y el ión Ag. Este material posee micro esferas que pueden ser usadas hasta en cinco ciclos.

El uso de NP con compuestos orgánicos sintéticos como los criogeles inteligentes-ZnO exhibieron una desinfección eficiente en agua porque eliminaron UFC desde 1862 UFC/ml hasta 6 UFC/ml después de 45 min de tratamiento lo cual se considera como un microdispositivo de purificación de agua portátil aplicable como socorro en casos de desastre.

Actualmente el desarrollo de NP magnéticas fotocatalíticas de Fe_3O_4 / ZnO no solo han presentado un alto rendimiento en la foto blanqueo de materiales sino también son rendidores en la inactivación de *E coli* comparable al del ZnO puro, gracias a la generación de radicales $\bullet OH$ posee una ventaja sobre otros sistemas fotoactivos no magnéticos, que no son recuperables. Otro caso de NP Fe_3O_4 dopados con Ag (Ag-MNP) confirman la eficacia significativa en la desinfección de aguas residuales por la reducción logarítmica bacteriana sobre coliformes totales, coliformes fecales y helmintos, implicando una mejora en el tratamiento avanzado para las aguas residuales de los PTARS, finalmente oro nanomaterial efectivo es la combinación de $Ag@TiO_2$ contra la *E. coli* que asistida por la intensidad de la luz mostró efectos adicionales no solo en la eliminación de las bacterias gramnegativas sino por la destrucción de las endotoxinas generadas en la desinfección.

VI. RECOMENDACIONES

Conforme se ha avanzado en las nuevas alternativas, es necesario realizar más estudios sobre los efectos residuales de los compuestos nanoparticulados para asegurar que el uso de catalizadores presente la seguridad ambiental para los distintos sistemas hídricos.

REFERENCIAS

ADEFISOYE, M., & OKOH, A. (2017). Ecological and Public Health Implications of the Discharge of Multidrug-Resistant Bacteria and Physicochemical Contaminants from Treated Wastewater Effluents in the Eastern Cape, South Africa. *Water*, 9(8), 562. doi:10.3390/w9080562

ALBUKHARI, S. M., ISMAIL, M., AKHTAR, K., & DANISH, E. Y. (2019). Catalytic reduction of nitrophenols and dyes using silver nanoparticles @ cellulose polymer paper for the resolution of waste water treatment challenges. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. doi:10.1016/j.colsurfa.2019.05.058

ALI, T., AHMED, A., ALAM, U., UDDIN, I., TRIPATHI, P., & MUNEER, M. (2018). Enhanced photocatalytic and antibacterial activities of Ag-doped TiO₂ nanoparticles under visible light. *Materials Chemistry and Physics*, 212, 325–335. doi:10.1016/j.matchemphys.2018.03.052

ASADI, S., & MOEINPOUR, F. (2019). Inactivation of *Escherichia coli* in water by silver-coated Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe₂O₄ magnetic nanocomposite: a Box–Behnken design optimization. *Applied Water Science*, 9(1). doi:10.1007/s13201-019-0901-4

ASHRAF M.A., LIU Z., PENG W. X., JERMSITTIPARSERT K., HOSSEINZADEH G., HOSSEINZADEH R.,(2019). Combination of sonochemical and freeze-drying methods for synthesis of graphene/Agdoped TiO₂ nanocomposite: A strategy to boost the photocatalytic performance via well distribution of nanoparticles between graphene sheets, *Ceramics International* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.11.241>.

BAPTISTA, P. V., MCCUSKER, M. P., CARVALHO, A., FERREIRA, D. A., MOHAN, N. M., MARTINS, M., & FERNANDES, A. R. (2018). *Nano-Strategies to Fight Multidrug Resistant Bacteria—“A Battle of the Titans.”* *Frontiers in Microbiology*, 9. doi:10.3389/fmicb.2018.01441

BAEK, S., JOO, S. H., & TOBOREK, M. (2019). Treatment of antibiotic-resistant bacteria by encapsulation of ZnO nanoparticles in an alginate biopolymer: Insights into treatment mechanisms. *Journal of Hazardous Materials*. doi:10.1016/j.jhazmat.2019.03.072

BILAL, M., KHAN, S., ALI, J., ISMAIL, M., KHAN, M. I., ASIRI, A. M., & KHAN, S. B. (2019). Biosynthesized silver supported catalysts for disinfection of *Escherichia coli* and organic pollutant from drinking water. *Journal of Molecular Liquids*. doi:10.1016/j.molliq.2019.02.087

CEGARRA S. J. (2018). Metodología de la investigación científica y tecnológica. <https://cienciaenlautn.files.wordpress.com/2018/08/cegarra-metodologacc81-de-la-investigaciocc81n-cienticc81fica-y-tecnolocc81gica-cap-2-3-y-4-unidad-1.pdf>

CLOUTIER, M., MANTOVANI, D., Y ROSEI, F. (2015). Antibacterial Coatings: Challenges, Perspectives, and Opportunities. *Trends in Biotechnology*, 33(11), 637–652. doi:10.1016/j.tibtech.2015.09.002

CHATTERJEE, P., GHANGREKAR, M. M., & RAO, S. (2017). Disinfection of secondary treated sewage using chitosan beads coated with ZnO-Ag nanoparticles to facilitate reuse of treated water. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92(9), 2334–2341. doi:10.1002/jctb.5235

DIMAPILIS, E. A. S., HSU, C.-S., MENDOZA, R. M. O., & LU, M.-C. (2018). Zinc oxide nanoparticles for water disinfection. *Sustainable Environment Research*, 28(2), 47–56. doi:10.1016/j.serj.2017.10.001

DOMINGUEZ GRANDA, J. B. (2016). Manual de Metodología de la Investigación Científica. [en línea] Libros ULADECH Católica. Issued: 09-07-2016 [Fecha de consulta 23 de octubre 2020] Disponible en: <http://repositorio.uladech.edu.pe/handle/123456789/6404> ISBN: 978-612-4308-01-7

DODOO-ARHIN, D., BOWEN-DODOO, E., AGYEI-TUFFOUR, B., NYANKSON, E., OBAYEMI, J. D., SALIFU, A. A., ... SOBOYEJO, W. O. (2021). Modified

nanostructured titania photocatalysts for aquatic disinfection applications. *Materials Today: Proceedings*. doi:10.1016/j.matpr.2020.07.710

EL SAEED, A. M., EL-FATTAH, M. A., & AZZAM, A. M. (2015). Synthesis of ZnO nanoparticles and studying its influence on the antimicrobial, anticorrosion and mechanical behavior of polyurethane composite for surface coating. *Dyes and Pigments*, 121, 282–289. doi:10.1016/j.dyepig.2015.05.037

ESMAILZADEH, H., SANGPOUR, P., SHAHRAZ, F., HEJAZI, J., & KHAKSAR, R. (2016). Effect of nanocomposite packaging containing ZnO on growth of *Bacillus subtilis* and *Enterobacter aerogenes*. *Materials Science and Engineering: C*, 58, 1058–1063. doi:10.1016/j.msec.2015.09.078

DESHMUKH, S. P., PATIL, S. M., MULLANI, S. B., & DELEKAR, S. D. (2019). Silver nanoparticles as an effective disinfectant: A review. *Materials Science and Engineering: C*. doi:10.1016/j.msec.2018.12.102

GAO, D., ZHENG, S., WANG, L., WANG, C., ZHANG, H., & WANG, Q. (2019). SILAR preparation of visible-light-driven TiO₂ NTs/Ag₂WO₄-AgI photoelectrodes for waste water treatment and photoelectric conversion. *Separation and Purification Technology*, 224, 308–314. doi:10.1016/j.seppur.2019.05.050

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto., FERNÁNDEZ CALLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, María del Pilar. *Metodología de la investigación*, [en línea] 2014. (6ª ed.). México D. F.: McGraw Hill. 0. Fecha de consulta [28 de diciembre 2020] Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf> ISBN: 978-1-4562-2396-

KUMAR, H., CAI, W., LAI, J., CHEN, P., GANESAN, S. P., BORDOLOI, S., ... MEI, G. (2020). Influence of in-house produced biochars on cracks and retained water during drying-wetting cycles: comparison between conventional plant, animal, and nano-biochars. *Journal of Soils and Sediments*. doi:10.1007/s11368-020-02573-8

LIU, M., TAN, H., & HE, X. (2019). Effects of nano-SiO₂ on early strength and microstructure of steam-cured high volume fly ash cement system. *Construction and Building Materials*, 194, 350–359. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.10.214

LIU, R., YU, Q., LIU, Y., LIU, X., WANG, F., & XU, Y. (2018). Optimization of Citrate-Gel Preparation Process for Magnetic Ni–Zn Ferrite Nanoparticles. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 18(4), 2838–2843. doi:10.1166/jnn.2018.14308

MANIKANDAN, S., KARMEGAM, N., SUBBAIYA, R., KARTHIGA DEVI, G., ARULVEL, R., RAVINDRAN, B., & KUMAR AWASTHI, M. (2020). Emerging nano-structured innovative materials as adsorbents in wastewater treatment. *Bioresource Technology*, 124394. doi:10.1016/j.biortech.2020.124394

MAYNEZ-NAVARRO O. D., MENDEZ-ROJAS M .A, FLORES-CERVANTES D. X. AND SANCHEZ-SALAS J. L. (2020). Hydroxyl Radical Generation by Recyclable Photocatalytic Fe₃O₄/ZnO Nanoparticles for Water Disinfection. *Air, Soil and Water Research* Volume 13: 1–11. <https://doi.org/10.1177/1178622120970954>

MAZHAR, M.A., KHAN, N.A., AHMED, S., KHAN, A.H., HUSSAIN, A., RAHISUDDIN, CHANGANI, F., YOUSEFI, M., AHMADI, S., VAMBOL, V., (2020). Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water – A review. *J. Clean. Prod.* 273, 123159. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123159>

MIRGANE, N. A., SHIVANKAR, V. S., KOTWAL, S. B., WADHAWA, G. C., & SONAWALE, M. C. (2020). Waste pericarp of ananas comosus in green synthesis zinc oxide nanoparticles and their application in waste water treatment. *Materials Today: Proceedings*. doi:10.1016/j.matpr.2020.06.045

MOTSHEKGA, S. C., SINHA RAY, S., & MAITY, A. (2018). Synthesis and characterization of alginate beads encapsulated zinc oxide nanoparticles for bacteria disinfection in water. *Journal of Colloid and Interface Science*, 512, 686–692. doi:10.1016/j.jcis.2017.10.098

MUNNAWAR, I., IQBAL, S. S., ANWAR, M. N., BATOOL, M., TARIQ, S., FAITMA, N., ... AHMAD, N. M. (2017). Synergistic effect of Chitosan-Zinc Oxide Hybrid Nanoparticles on antibiofouling and water disinfection of mixed matrix polyethersulfone nanocomposite membranes. *Carbohydrate Polymers*, 175, 661–670. doi:10.1016/j.carbpol.2017.08.036

NAJAFPOOR, A., NOROUZIAN-OSTAD, R., ALIDADI, H., ROHANI-BASTAMI, T., DAVOUDI, M., BARJASTEH-ASKARI, F., & ZANGANEH, J. (2020). Effect of magnetic nanoparticles and silver-loaded magnetic nanoparticles on advanced wastewater treatment and disinfection. *Journal of Molecular Liquids*, 303, 112640. doi:10.1016/j.molliq.2020.112640

OJEMAYE, M. O., ADEFISOYE, M. A., & OKOH, A. I. (2020). Nanotechnology as a viable alternative for the removal of antimicrobial resistance determinants from discharged municipal effluents and associated watersheds: A review. *Journal of Environmental Management*, 275, 111234. doi:10.1016/j.jenvman.2020.111234

PEDROZA-HERRERA, G., MEDINA-RAMÍREZ, I. E., LOZANO-ÁLVAREZ, J. A., & RODIL, S. E. (2018). Evaluation of the Photocatalytic Activity of Copper Doped TiO₂ nanoparticles for the Purification and/or Disinfection of Industrial Effluents. *Catalysis Today*. doi:10.1016/j.cattod.2018.09.017

PULIT-PROCIAK, J., CHWASTOWSKI, J., KUCHARSKI, A., & BANACH, M. (2016). Functionalization of textiles with silver and zinc oxide nanoparticles. *Applied Surface Science*, 385, 543–553. doi:10.1016/j.apsusc.2016.05.167

RAKHI, R. B., NAYAK, P., XIA, C., & ALSHAREEF, H. N. (2016). Novel amperometric glucose biosensor based on MXene nanocomposite. *Scientific Reports*, 6(1). doi:10.1038/srep36422

SIRELKHATIM, A., MAHMUD, S., SEENI, A., KAUS, N. H. M., ANN, L. C., BAKHORI, S. K. M., ... MOHAMAD, D. (2015). Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism. *Nano-Micro Letters*, 7(3), 219–242. doi:10.1007/s40820-015-0040-x

SREEJA, S., & SHETTY K, V. (2017). Photocatalytic water disinfection under solar irradiation by Ag@TiO₂ core-shell structured nanoparticles. *Solar Energy*, 157, 236–243. doi:10.1016/j.solener.2017.07.057

SONIA, H. S. LINDA JEEVA KUMARI, K. RUCKMANI, M. SIVAKUMAR. (2017). Antimicrobial and antioxidant potentials of biosynthesized colloidal zinc oxide nanoparticles for a fortified cold cream formulation: A potent nanocosmeceutical application, *Materials Science & Engineering C* (2017), doi: 10.1016/j.msec.2017.05.059

VARELA RUIZ, MARGARITA Y VIVES VARELA, T. (2016). Autenticidad y calidad en la investigación educativa cualitativa: multivocalidad. *Investigación educ. médica* [online]. 5, n.19, pp.191-198. ISSN 2007-5057. <https://doi.org/10.1016/j.riem.2016.04.006>.

WANG, D.-C., YU, H.-Y., SONG, M.-L., YANG, R.-T., & YAO, J.-M. (2017). Superfast Adsorption–Disinfection Cryogels Decorated with Cellulose Nanocrystal/Zinc Oxide Nanorod Clusters for Water-Purifying Microdevices. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(8), 6776–6785. doi:10.1021/acssuschemeng.7b01029

WU, M.-C., LIN, T.-H., HSU, K.-H., & HSU, J.-F. (2019). Photo-induced disinfection property and photocatalytic activity based on the synergistic catalytic technique of Ag doped TiO₂ nanofibers. *Applied Surface Science*. doi:10.1016/j.apsusc.2019.04.028

YE, Y., FENG, Y., BRUNING, H., YNTEMA, D., & RIJNAARTS, H. H. M. (2018). Photocatalytic degradation of metoprolol by TiO₂ nanotube arrays and UV-LED: Effects of catalyst properties, operational parameters, commonly present water constituents, and photo-induced reactive species. *Applied Catalysis B: Environmental*, 220, 171–181. doi:10.1016/j.apcatb.2017.08.040

ZHANG, Y., SIVAKUMAR, M., YANG, S., ENEVER, K., & RAMEZANIANPOUR, M. (2018). Application of solar energy in water treatment processes: A review. *Desalination*, 428, 116–145. doi: 10.1016/j.desal.2017.11.020

ZHANG, S., TIAN, Y., GUO, Y., SHAN, LIU, R. (2021). Manganese release from corrosion products of cast iron pipes in drinking water distribution systems: effect of water temperature, pH, alkalinity, SO₄²⁻ concentration and disinfectants.

Chemosphere 262, 127904

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127904>

ANEXO

Anexo 01. Matriz de categorización apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categorías	Sub categorías	Unidad de análisis
Analizar los métodos de síntesis de los nano materiales basados en Ag ⁺ , ZnO y TiO ₂ para la desinfección de aguas	¿Cómo se sintetizan los nanos materiales basados en Ag ⁺ , ZnO y TiO ₂ para la desinfección de aguas?	Síntesis de los nano materiales basados en Ag ⁺ , ZnO y TiO ₂	dopaje y soportes	Maynez-Navarro et al. (2020), Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017), Pedroza-Herrera et al. (2018), Maynez-Navarro et al. (2020).
Analizar las características fisicoquímicas que presenta los nano materiales basados en Ag ⁺ , ZnO y TiO ₂ para la desinfección de aguas	¿Qué características fisicoquímicas presenta los nanos materiales basados en Ag ⁺ , ZnO y TiO ₂ para la desinfección de aguas?	Caracterización de los nano materiales basados en Ag ⁺ , ZnO y TiO ₂	FTIR, SEM; TEM, SDX, BET, Termogravimetría	Motshekga, Ray y Maity. (2018), Najafpoor et al. (2020), Chatterjee, Ghangrekar y Rao (2017).

<p>Analizar el efecto de los nano materiales basados en Ag⁺, ZnO y TiO₂ para la desinfección de aguas</p>	<p>¿Cómo afectan los nanos materiales basados en Ag⁺, ZnO y TiO₂ para la desinfección de aguas?</p>	<p>Efectos de los nano materiales basados en Ag⁺, ZnO y TiO₂</p>	<p>Tipo de bacterias, niveles de eliminación</p>	<p>Najafpoor et al. (2020), Sreeja y Shetty. (2017), Wang et al. (2017), Bilal et al. (2019).</p>
---	---	--	--	---



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad del Autor / Autores

Yo, DANIEL PABLO QUISPE VILCA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a la Tesis titulada: **Uso de Nanopartículas en la Purificación de Aguas. Revisión Sistemática 2021**, es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Apellidos y Nombres del Autor	Firma
DANIEL PABLO QUISPE VILCA DNI: 43647515 ORCID: 0000-0001-5093-4491	