

# TEXTILES FUNCIONALES PARA LA INHIBICIÓN DE BACTERIAS.

FUNCTIONAL TEXTILES TO INHIBITION OF  
BACTERIAS.

Juan Alberto Alcántara-Cárdenas<sup>1</sup>  
Miriam Sarai Cruz Leal<sup>2\*</sup>  
Oscar Goiz-Amaro<sup>3</sup>  
Gerardo Francisco Pérez-Sánchez<sup>2\*</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-2056-2698>  
<https://orcid.org/0000-0001-7413-2362>  
<https://orcid.org/0000-0002-7116-282X>  
<https://orcid.org/0009-0004-4534-6918>

NÚMERO ESPECIAL POSGRADO ICUAP  
Recibido: 20/diciembre/ 2023  
Aprobado: 26/febrero/ 2024  
Publicado: 7/marzo/ 2024

A1. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, C.P. 07340, México. [jalcantarac@ipn.mx](mailto:jalcantarac@ipn.mx)

2. Centro de Investigación en Físicoquímica de Materiales, ICUAP, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Eco Campus Valsequillo VAL-3, San Pedro Zacachimalpa, Puebla, C.P. 72960, México

[francisco.perezsanchez@correo.buap.mx](mailto:francisco.perezsanchez@correo.buap.mx)

3. Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, C.P. 07340, México.

[ogoiza@ipn.mx](mailto:ogoiza@ipn.mx)

\*Autor de correspondencia: [miriamsarai.cruzleal@viep.com.mx](mailto:miriamsarai.cruzleal@viep.com.mx)

## RESUMEN

Los nanomateriales han dado un giro a la industria textil, mejorando las propiedades de los tejidos funcionales, añadiendo distintos materiales para mejorar la durabilidad, repelencia al agua, autolimpieza, antibacteriano, protección UV, entre otros. En particular, las características antibacterianas han sido de interés en textiles para ropa médica y deportiva. Se ha descubierto que la combinación plata-zeolita tiene un efecto biocida, que está relacionado con el estado de oxidación de las especies de plata y el tamaño de las partículas, dichas propiedades biocidas ayudan a la inhibición de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* (*E. coli*) y *Candida albicans* (*C. albicans*). En este trabajo, se estudió el efecto inhibitorio de la proliferación de *Escherichia coli* (*E. coli*) a diferentes concentraciones de zeolita intercambiadora de plata sobre un sustrato de algodón. La zeolita de intercambio iónico  $Ag^+$  se caracterizó mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) y difracción de rayos X (DRX); además, se evaluó la eficiencia antibacteriana en el tejido mediante el Método Kirby-Bauer. De acuerdo con los resultados, se aprecia que el material desarrollado a base de zeolita  $Ag^+$  tiene el efecto antimicrobiano, toda vez que después de 24 horas de cultivo de la bacteria *E. coli* sobre el textil, no se aprecia la presencia de dichas bacterias.

*Palabras clave:* Nanomateriales, plata, zeolita, *E. coli*, MEB, DRX, Kirby-Bauer.

## INTRODUCCIÓN

Los nanomateriales antimicrobianos ofrecen un enfoque nuevo y diferente en el campo del control de infecciones y podrían ser uno de los avances necesarios para abordar este importante desafío. La acción de estos nanomateriales es fundamentalmente diferente al de los antibióticos clásicos y se cree que limita el desarrollo de resistencia, es eficaz contra las súper bacterias, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, las súper bacterias son bacterias multirresistentes que provocan infecciones que no pueden tratarse con medicamentos antimicrobianos (OMS, 2024). Los nanomateriales generalmente pueden resistir condiciones en las que los antibióticos convencionales serían desactivados, y pueden integrarse en diferentes matrices (p. ej., papel, tela, polímeros, etc.), confiriendo actividad antibacteriana también a materiales que no pueden

## ABSTRACT

Nanomaterials have turned the textile industry on its head, improving the properties of functional fabrics by adding different materials to improve durability, water repellency, self-cleaning, antibacterial, UV protection, among others. In particular, antibacterial characteristics have been of interest in textiles for medical and sportswear. Silver-zeolite has been found to have a biocidal effect, which is related to the oxidation state of the silver species and the particle size, such biocidal properties help the inhibition of *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* (*E. coli*) and *Candida albicans* (*C. albicans*). In this work, different concentrations of silver exchange zeolite were studied on a cotton substrate and the effect of inhibiting the proliferation of *Escherichia coli* (*E. coli*). The  $Ag^+$  ion exchange zeolite was characterized by scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD); furthermore, the antibacterial efficiency on the fabric was evaluated by the Kirby-Bauer Method.

*Keywords:* Nanomaterials, silver, zeolite, *E. coli*, SEM, XRD, Kirby-Bauer.

soportar temperaturas de esterilización. Además, los nanomateriales pueden adaptarse para convertirse en antibióticos versátiles, con mayor estabilidad (Shrivastava, S. et al 2007) y, por lo tanto, una vida útil prolongada (Shi, L. et al 2008).

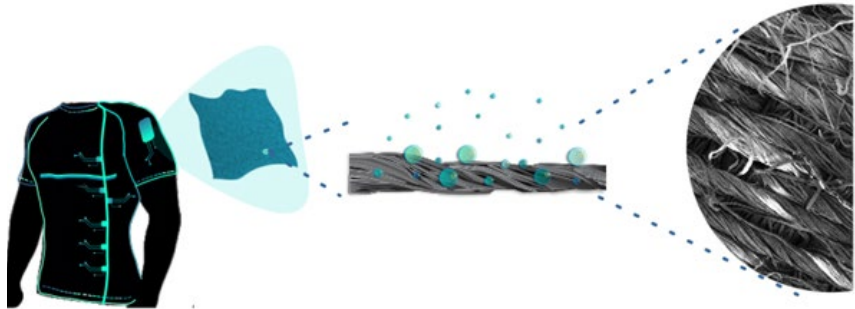


Figura 1. Representación de la aplicación de nanopartículas antibacterianas para textiles, (elaboración propia)

Además, muchos nanomateriales pueden matar o inhibir no sólo las bacterias, sino también los virus y los hongos, lo que muestra una solución nueva y eficiente para la desinfección general de superficies, agua, dispositivos médicos, etc. (Dizaj, SM. et al 2014). Por otro lado, se ha añadido nanomateriales como dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), plata Ag y dióxido de cobre ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) para inhibir el crecimiento de bacterias y otros microorganismos en los textiles (Abdul-Reda Hussein, U. et al 2023).

La plata es un biocida natural contra bacterias, hongos y ciertos virus considerados muy poco tóxicos para los humanos, por lo que ha sido ampliamente utilizada en instrumental hospitalario y vendajes médicos (Khatami, M. et al 2018). Otro de los materiales más efectivos son las llamadas zeolitas, las cuales son minerales con estructuras únicas que pueden absorber y liberar líquidos fácilmente. Estos minerales se llaman aluminosilicatos, es decir, están conformados por óxido de aluminio y óxido de silicio. Estos minerales se encuentran en diferentes entornos geológicos, como rocas sedimentarias, rocas volcánicas, basaltos alterados y depósitos de arcilla. Aunque existen muchos tipos de zeolitas en el mundo, la zeolita FAU-Y ha causado un gran interés debido a su potencial aplicación en el tratamiento de heridas (Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 2023).

## Mecanismos antimicrobianos de nanomateriales.

Los nanomateriales, pueden definirse generalmente como estructuras con al menos una dimensión entre 1 y 100 nm. En comparación con su contraparte a macroescala, los nanomateriales, exhiben diferentes propiedades fisicoquímicas, electrónicas y cristalinidad modificada.

Los nanomateriales, pueden convertirse en agentes antimicrobianos, a menudo, el mismo sistema material puede explotar mecanismos múltiples y concurrentes, aumentando su capacidad antimicrobiana. Implica que tendrían que ocurrir múltiples mutaciones concurrentes para que un microorganismo desarrolle resistencia.

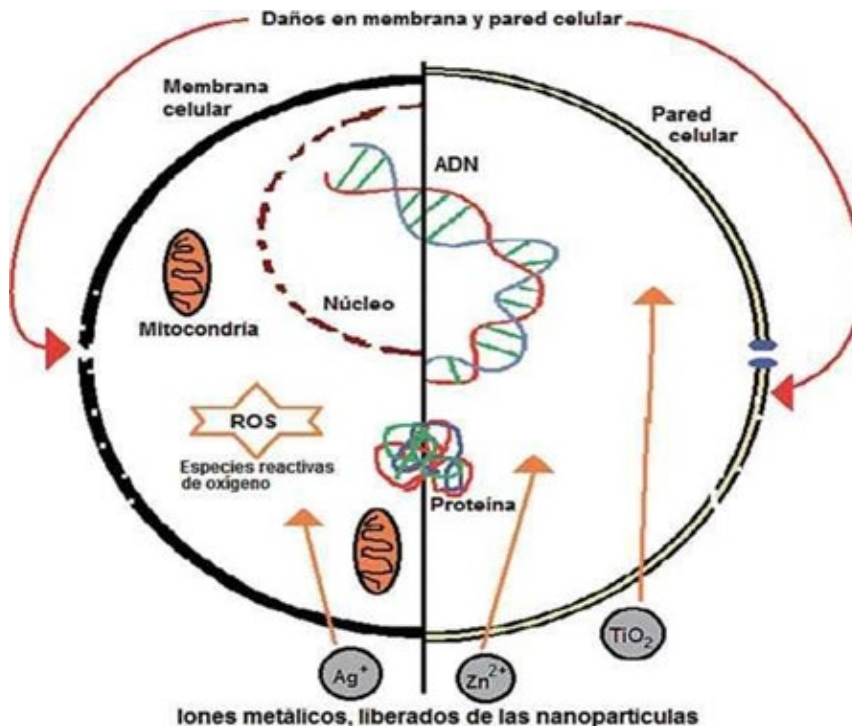


Figura 2. Efectos de las NPs metálicas más comunes: AgNPs, ZnONPs y TiO<sub>2</sub>NPs. Fuente: <https://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/48707/62154>

Además, es importante destacar que los nanomateriales presentan la ventaja inherente de tener una razón superficial extremadamente alta, esta propiedad permite un contacto muy íntimo entre el material activo y el microorganismo objetivo, asegurando una acción antimicrobiana eficiente. A continuación, se ofrece una descripción general de los mecanismos antimicrobianos relevantes.

### 1. Alteración de la membrana celular

Los nanomateriales, pueden interactuar mecánicamente con la pared celular y dañar permanentemente partes de ella. La alteración de la membrana provoca la fuga del citoplasma de la célula y la muerte celular (Pal, S. et al 2015).

## **2. Daño al ADN**

Ciertos nanomateriales pueden penetrar la pared celular y atacar o modificar la morfología (plegamiento) del ADN, impidiendo la duplicación celular y provocando la muerte celular (Feng, QL. et al 2000).

## **3. Liberación de iones de metales pesados**

Los iones de metales pesados desactivan los microorganismos uniéndose a grupos tiol en enzimas/proteínas y comprometiendo su función biológica. La liberación de iones de metales pesados aumenta al reducir el tamaño del material de partida, lo que convierte a los nanomateriales de metales pesados en una excelente fuente de iones biocidas (Feng, QL. et al 2000).

## **4. Transporte transmembrana interrumpido de electrones/iones**

Los nanomateriales pueden interactuar con la pared celular, dificultando el intercambio electrónico e iónico a través de la membrana, interrumpiendo la respiración celular y provocando la muerte celular (Lemire, JA. et al 2013). Sin embargo, el uso de los nanomateriales han sido cuestionados por sus impactos en la salud y el medio ambiente, a continuación se mencionan algunas de las principales desventajas.

### **Desventajas de los nanomateriales**

Aunque los nanomateriales antimicrobianos representan una solución fascinante y prometedora para la prevención y el tratamiento de enfermedades infecciosas, es necesario realizar muchos esfuerzos para implementarlos en el uso clínico del mundo real. Los principales desafíos incluyen no sólo la evaluación exhaustiva de su interacción con las células, tejidos y órganos humanos, sino también el impacto ambiental tras su liberación. Además, un aspecto importante a tener en cuenta es la acumulación de nanomateriales en el interior del cuerpo humano. La exposición a los nanomateriales puede ocurrir a través de tres vías principales: oral, dérmica y por inhalación, siendo esta última considerada la más peligrosa para los humanos (Djurišić, A. B., et al 2015).

De igual forma, por su tamaño, son capaces de penetrar la pared celular y transitar a través de células epiteliales y endoteliales, alcanzando los sistemas de circulación sanguínea y linfática. Se ha observado que las nanopartículas inyectadas por vía intravenosa se acumulan en el colon, los pulmones, la médula ósea, el hígado, el bazo y los vasos linfáticos, y que las nanopartículas inhaladas alcanzan los pulmones, el hígado, el corazón, el bazo y el cerebro (Huh, AJ. et al 2011).

En cuanto a la toxicidad de los nanomateriales, es un tema de investigación importante que ha ganado impulso en los últimos años, por ejemplo, la generación de radicales libres podría provocar estrés oxidativo en las células del hígado y los pulmones, generando así hepatotoxicidad

y toxicidad pulmonar (Huh, A.J. et al 2011). En general, la controversia de la toxicidad potencial de los nanomateriales está abierta, aunque cuestionada por la falta de un procedimiento de prueba estándar común e incluso una definición estandarizada para la dosis de nanomateriales en términos de masa, número, área de superficie y especímenes biológicos objetivos.

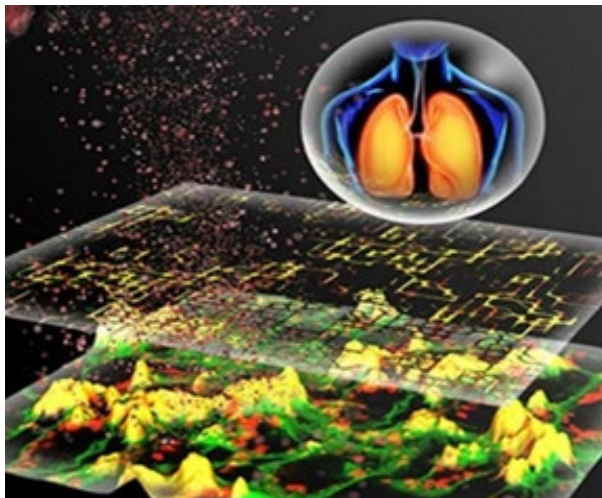


Figura 3. Modelización en silicio de las interacciones entre partículas y células para la predicción de la toxicidad de las nanopartículas respiratorias. Fuente: <https://www.quimica.es/noticias/1168834/el-metodo-sin-animales-predice-la-toxicidad-de-las-nanopartículas-para-materiales-industriales-mas-seguros.html>

La liberación de nanomateriales en el medio ambiente (p. ej., agua y suelo) y su impacto en la población microbiológica beneficiosa es otro aspecto importante que debe considerarse desde el punto de vista de la producción y el uso a gran escala de estas nuevas estructuras. Los microbios que favorecen al ecosistema a través de procesos como la biorremediación, ciclo de elementos y fijación de nitrógeno. Por ejemplo, la toxicidad de las nanopartículas de plata hacia las bacterias responsables de la conversión de amoníaco y nitrito siendo pasos clave del proceso de nitrificación, para el correcto crecimiento de las plantas (Hajipour, MJ. et al 2012).

La importancia de la Plata en los últimos tiempos

Su uso en la salud se remonta al año 1000 a.C, con informes sobre la utilización de plata para la purificación del agua. Más recientemente, para el tratamiento de heridas, la plata fue empleada en el siglo XVIII, y la Administración de Alimentos y Medicinas de EE. UU (FDA, por sus siglas en inglés) . Permitió su uso para manejo de heridas en la década de 1920 (Dutta P, 2019).

La creciente resistencia a los antibióticos ha renovado el interés en la

plata como antimicrobiano de amplio espectro con baja toxicidad (Zhao, G. et al 1998). Las formas de la plata utilizadas incluyen sales de plata, nanopartículas de plata y plata metálica. La plata se utiliza en cosméticos, artículos de limpieza, suplementos dietéticos, industria de la construcción, industria textil, dispositivos electrónicos, juguetes, comida, dispositivos médicos, pinturas, revestimientos y purificadores (Pulit-Prociak, J. et al 2016).

Las concentraciones de plata en el agua potable y en los alimentos están reguladas en muchos países. La Agencia Europea de Seguridad Alimentaria permitió un límite legal de 50 ppb de liberación de iones  $Ag^+$  en los alimentos, mientras que la FDA ha aprobado la zeolita de plata en superficies en contacto con alimentos a niveles de <5% (Dutta P, 2019).

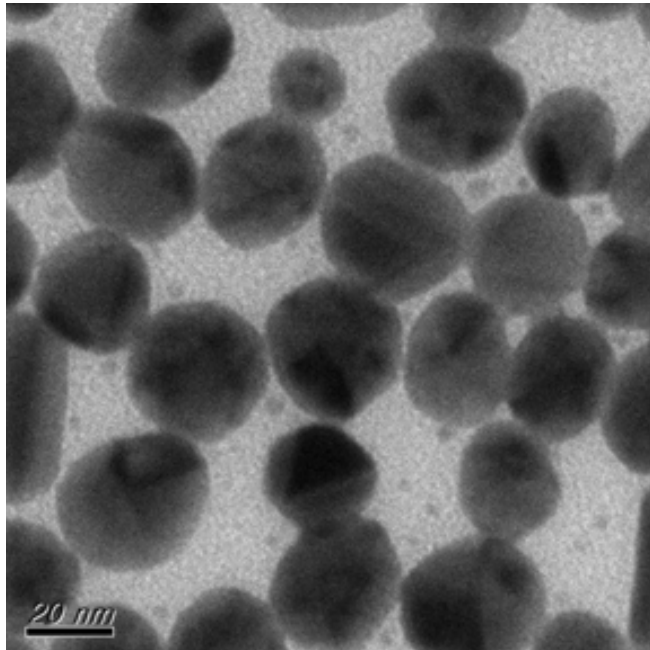


Figura 4. Micrografía de nanopartículas de Plata. Fuente: [https://www.tripod-nano.com/products\\_detail/72](https://www.tripod-nano.com/products_detail/72)

## Zeolita

En 1756, el mineralogista sueco Axel Fredrik Cronstedt descubrió la zeolita de origen natural. Desde entonces, se han descubierto alrededor de 40 tipos de zeolitas naturales, la mayoría de las cuales tienen una baja relación silicio y aluminio (Si/Al). Esto es debido a la ausencia de agentes directores de estructura orgánica, necesarios para la formación de zeolitas silíceas. A veces las zeolitas naturales se encuentran como grandes monocristales

en la naturaleza, sin embargo, es muy difícil fabricar cristales tan grandes en el laboratorio. Las zeolitas con alta porosidad como la faujasita (FAU), cuyos ejemplos sintetizados en laboratorio son zeolitas X/Y, son escasas en la naturaleza. Dos zeolitas naturales utilizadas ampliamente en la industria son la mordenita (MOR) y la clinoptilolita (HEU). Estos materiales se han utilizado en agronomía, horticultura y remediación de suelos para mejorar las propiedades químicas y físicas del suelo, tratamiento de efluentes que contienen contaminantes radiactivos u otros metales pesados, o como tamiz molecular para atrapar o separar gases en la agricultura (por ejemplo, amoníaco). Las zeolitas naturales se pueden utilizar como catalizadores, pero su actividad catalítica está limitada por sus impurezas y sus bajas áreas superficiales (Noyen, JV. et al 2012).



Figura 5. Zeolita mordenita. Fuente: <https://thecrystalcouncil.com/crystals/mordenite>

Las características de las zeolitas y la posibilidad de sintonizar sitios ácidos y básicos o incorporar otros elementos en su estructura, así como la misma modificación de su estructura, abren un amplio campo de aplicaciones de las zeolitas en procesos químicos y ambientales. Las zeolitas pertenecen a la conocida familia de aluminosilicatos cristalinos que muestran una combinación hasta ahora incomparable de propiedades como alta superficie, microporosidad bien definida, alta (hidro) estabilidad térmica y actividad intrínseca, y la capacidad de confinar especies metálicas activas en sus poros. Mientras que la acidez de las zeolitas se ha estudiado ampliamente debido a sus propiedades catalíticas: la mayoría de las reacciones de hidrocarburos, así como muchas transformaciones de compuestos funcionalizados, están catalizadas únicamente por sitios protónicos (Guisnet, M. Zet al 2001).



# Aplicación de Zeolitas

Las zeolitas tienen un amplio uso en industrias como la de detergentes, separación de gases, desecantes y catalizadores. Las zeolitas naturales se utilizan principalmente en aplicaciones de minerales a granel debido a su menor costo (Li Y., et al 2017). A continuación se describen las propiedades de la zeolita modificada con plata y su efecto en la bacteria E.coli.

La zeolita modificada con plata posee una amplia actividad antibacteriana debido al ión de plata, Dicho efecto se ha determinado tanto hacia Gram (+) como Gram (-) (Dutta P, 2019). En este sentido, la zeolita es considerada un portador de la plata, la cual puede liberar iones de plata de forma controlada proporcionando un efecto antibacterial de largo plazo (Wattanawong et al 2021). Se ha determinado que este efecto depende de la relación dosis y concentración, así como del tiempo y del tipo de microorganismo (Jiraroj et al., 2014). Los enfoques antibacterianos que utilizan zeolitas naturales se centran principalmente en modificaciones de liberación de plata obtenidas mediante diferentes procedimientos que dan como resultado zeolitas modificadas que contienen iones de plata, nanopartículas de plata metálica o nanocompuestos de plata (Matsamura, 2003).

Por otro lado, Escherichia coli, comúnmente conocida como E. coli, es una bacteria que se encuentra normalmente en el intestino del ser humano y de los animales de sangre caliente. Pertenece a la familia Enterobacteriaceae y es un bacilo corto Gram negativo. Aunque la mayoría de las cepas de E. coli son inofensivas y desempeñan un papel importante en la digestión, algunas cepas pueden causar enfermedades en los seres humanos. La E. coli puede transmitirse a través del consumo de alimentos o agua contaminados, contacto directo con animales infectados o personas enfermas, o incluso por el contacto con superficies contaminadas. Algunas cepas de E. coli pueden producir toxinas que causan enfermedades gastrointestinales, como diarrea, cólicos abdominales, náuseas y vómitos. En casos más graves, puede provocar infecciones del tracto urinario, infecciones respiratorias, infecciones de la piel y, en casos extremos, síndrome urémico hemolítico. Es importante tener en cuenta las medidas de higiene adecuadas, como lavarse las manos con frecuencia, cocinar los alimentos a temperaturas seguras y evitar el consumo de agua o alimentos contaminados, para prevenir la infección por E. coli. En caso de presentar síntomas de enfermedad gastrointestinal, es recomendable buscar atención médica para un diagnóstico y tratamiento adecuados. Por último, es importante mencionar que es un organismo ampliamente estudiado en el campo de la microbiología y la epidemiología, y su comprensión es fundamental para prevenir y controlar las infecciones asociadas a esta bacteria (Nataro, JP. et al 1998).

# Características de la E. coli

(Rodríguez A., 2022)

- Es una bacteria que se encuentra normalmente en el intestino del ser humano y de los animales de sangre caliente.
- Pertenece a la familia Enterobacteriaceae y es un bacilo corto Gram negativo.
- Es móvil y tiene flagelos peritricos que le permiten moverse.
- No forma esporas.
- No utiliza citrato como fuente de carbono.
- Es capaz de fermentar la lactosa.
- Algunas cepas de E. coli pueden ser patógenas y causar enfermedades gastrointestinales en los seres humanos.
- Puede transmitirse a través del consumo de alimentos o agua contaminados, contacto directo con animales infectados o personas enfermas, o incluso por el contacto con superficies contaminadas.
- Algunas cepas de E. coli pueden producir toxinas que causan enfermedades como diarrea, cólicos abdominales, náuseas y vómitos.
- En casos más graves, puede provocar infecciones del tracto urinario, infecciones respiratorias, infecciones de la piel y, en casos extremos, síndrome urémico hemolítico.



Figura 6. Bacteria Escherichia coli. Fuente: <https://www.imperial.ac.uk/news/245517/understanding-colis-evolution-could-lead-treatments/>

Zeolita intercambiadora de Plata sobre un sustrato de algodón para la eliminación de la bacteria *Escherichia coli*

Una de las propuestas que han surgido para el desarrollo de textiles funcionales con efecto antimicrobiano es la utilización de partículas metálicas como la plata. En nuestro grupo de investigación se ha propuesto profundizar en los efectos de diferentes concentraciones de nitrato de plata soportadas en la Zeolita FAU para colocarlas sobre fibras de algodón y conocer el efecto antimicrobial contra la bacteria *E. coli*. Los detalles de la metodología utilizada pueden consultarse en (Cruz-Leal, M. et al 2023), y de forma general se describen a continuación.

Una muestra de algodón fue lavada con Triton™ y NaOH bajo agitación constante a 90 °C durante 1 hora para eliminar los componentes no celulósicos del algodón y las impurezas añadidas, luego se enjuagó con agua desionizada y se secó en una campana de flujo laminar. Por otro lado, las zeolitas se prepararon utilizando un procedimiento convencional de intercambio iónico en solución acuosa de  $\text{AgNO}_3$  y agua desionizada, variando la concentración de intercambio  $\text{Ag}^+$  de 8 a 100%. Posteriormente, se aplicó la solución al algodón, en la figura 7 se observa una imagen de microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés de scanning electron microscopy) del tejido de algodón con el material antimicrobial.

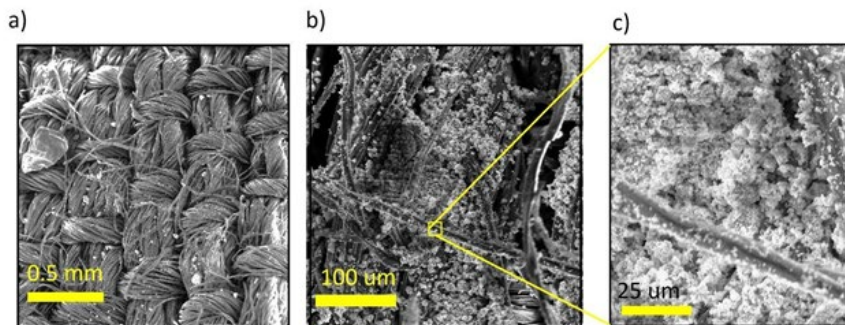


Figura 7. Imagen SEM de la superficie de algodón con el material antimicrobiano, recuperado de (Cruz Leal, et al. 2023)

Posteriormente, se analizó la eficacia antibacteriana del algodón frente a *Escherichia coli* mediante la prueba de Kirby-Bauer, para ello se impregnaron discos de algodón con diferentes concentraciones de Ag y se cultivaron las bacterias (Fig. 8a); para conocer la eficiencia del material antimicrobiano, se midió el halo de inhibición formado (Fig. 8b), es decir; durante el cultivo de la bacteria sobre el textil se mide el crecimiento de las bacterias, y si es el caso de tratarse de un material antimicrobiano, no se observarán bacterias con lo que se formará un halo, el cual es medido para determinar la eficacia del material, en este caso, las muestras mostraron un diámetro de 12 mm de inhibición después de 72 h (Fig. 8c), lo que demuestra su efectividad para la inhibición de *E. coli*.

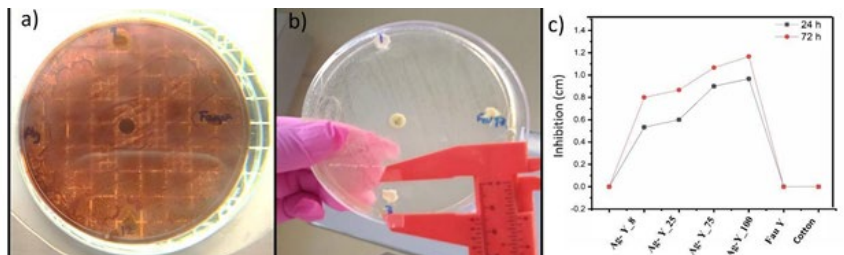


Figura 8. Metodología de la prueba de Kirby-Bauer, (Cruz-Leal, M. et al 2023).

## Conclusiones

La nanotecnología ha revolucionado el mundo y está presente en muchos de los materiales que vemos y usamos en nuestra vida cotidiana, desde aplicaciones en medicina, producción de energía, sensores inteligentes, medio ambiente y, por supuesto, en textiles, donde se han reportado avances en la creación de nuevos tejidos funcionales, cuya función busca la autolimpieza de la tela, la regulación térmica, la repelencia a líquidos, o la capacidad antimicrobiana.

En este trabajo, nos hemos concentrado en las propiedades antimicrobianas, mostrando que las nanopartículas de plata soportadas en zeolitas pueden actuar como agentes antimicrobianos, inhibiendo el crecimiento de bacterias y otros microorganismos en los textiles. Esto puede ser especialmente útil en textiles para aplicaciones médicas, como material de curación, o bien, en ropa deportiva que se utiliza en ambientes húmedos y cálidos.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno.

## DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONAHCYT por la beca posdoctoral otorgada a M. Cruz Leal y el invaluable apoyo recibido por parte de la VIEP-BUAP mediante el proyecto ID-00295 y al IPN a través del proyecto SIP-20231327. Agradecemos también el apoyo técnico de Nicolás Morales López y Cristian Javier Domínguez Santos.

# REFERENCIAS

- Alexander, J. W. (2009). History of the medical use of silver. *Surgical Infections*, 10(3), 289-292. <https://doi.org/10.1089/sur.2008.9941>
- Cruz-Leal, M., Goiz, O., Niño, T. I. M., Coutino-Gonzalez, E., Albarado-Ibáñez, A., Pérez-Sánchez, G. F., & Chen, J. (2023). Silver cluster supported in zeolite as antimicrobial agent to textiles. *MRS Advances*. <https://doi.org/10.1557/s43580-023-00741-9>
- Dizaj, S. M., Lotfipour, F., Barzegar-Jalali, M., Zarrintan, M. H., & Adibkia, K. (2014). Antimicrobial activity of the metals and metal oxide nanoparticles. *Materials Science and Engineering: C*, 44, 278-284. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2014.08.031>
- Djurišić, A. B., Leung, Y. H., Ng, A. M. C., Xu, X., Lee, P. K. H., Degger, N., & Wu, R. (2015). Toxicity of metal oxide nanoparticles: mechanisms, characterization, and avoiding experimental artefacts. *Small*, 11(1), 26-44. <https://doi.org/10.1002/sml.201303947>
- Dutta, P., Wang, B., (2019), Zeolite-supported silver as antimicrobial agents, *Coordination Chemistry Reviews*, 383, <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2018.12.014>
- Feng, Qing & Wu, J. & Chen, Guo-Qiang & Cui, Fu-Zhai & Kim, T. & Kim, J.. (2000). A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Journal of Biomedical Materials Research - J BIOMED MATER RES*. 52. 662-668. [https://doi.org/10.1002/1097-4636\(20001215\)52:4%3C662::AID-JBM10%3E3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/1097-4636(20001215)52:4%3C662::AID-JBM10%3E3.0.CO;2-3)
- Guisnet, M., Influence of zeolite composition on catalytic activity, from Supported catalysts and their applications; The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2001; p.55. <https://doi.org/10.1039/9781847551962-00055>
- Hajipour, M. J., Fromm, K. M., Ashkarran, A. A., De Aberasturi, D. J., De Larramendi, I. R., Rojo, T., Serpooshan, V., Parak, W. J., & Mahmoudi, M. (2012). Antibacterial properties of nanoparticles. *Trends in Biotechnology*, 30(10), 499-511. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.06.004>
- Huh, A. J., & Kwon, Y. J. (2011). "Nanoantibiotics": A new paradigm for treating infectious diseases using nanomaterials in the antibiotics resistant era. *Journal of Controlled Release*, 156(2), 128-145. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2011.07.002>
- Hussein, U. A., Mahmoud, Z. H., Alaziz, K. M. A., Alid, M. L., Yasin, Y., Ali, F. K., Faisal, A. N., Ahmed, N., & Kianfar, E. (2023). Antimicrobial finishing of textiles using nanomaterials. *Brazilian Journal of Biology*, 84. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.264947>
- Instituto de Ciencias de la BUAP. (2023,30 de agosto). ¿Qué son las zeolitas y Cómo pueden contribuir a la ciencia? [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=LXCCtbUKzY>
- Jiraroj, Duangkamon & Tungasmita, Sukkaneste & Nuntasri, Duangamol. (2014). Silver ions and silver nanoparticles in zeolite A composites for antibacterial activity. *Powder Technology*. 264. 418-422. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.05.049>
- Khatami, M., Varma, R. S., Zafarnia, N., Yaghoobi, H., Sarani, M., & Kumar, V. (2018). Applications of green synthesized AG, ZNO and AG/ZNO nanoparticles for making clinical antimicrobial wound-healing bandages. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 10, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2018.08.001>
- Lemire, J., Harrison, J. J., & Turner, R. J. (2013). Antimicrobial activity of metals: mechanisms, molecular targets and applications. *Nature Reviews Microbiology*, 11(6), 371-384. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3028>

- Li Y., Li L., Yu J., Applications of Zeolites in Sustainable Chemistry, *Chem*, 3(6), pp. 928-949 (2017), <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2017.10.009>
- Matsumura, Y., Yoshikata, K., Kunisaki, S. -i., & Tsuchido, T. (2003). Mode of Bactericidal Action of Silver Zeolite and Its Comparison with That of Silver Nitrate. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(7), 4278–4281. <https://journals.asm.org/doi/10.1128/aem.69.7.4278-4281.2003>
- Nataro, J. P., & Kaper, J. B. (1998). Diarrheagenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*, 11(1), 142-201. <https://doi.org/10.1128/cmr.11.1.142>
- Noyen JV, Wilde AD, Schroeven M, et al., Ceramic Processing Techniques for Catalyst Design: Formation, Properties, and Catalytic Example of ZSM-5 on 3-Dimensional Fiber Deposition Support Structures, *International Journal of Applied Ceramic Technology*. 9: 902–910 (2012). <https://doi.org/10.1111/j.1744-7402.2012.02781.x>
- Organización Mundial de la Salud (2024, 26 de febrero) <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>
- Pal, S., Tak, Y. K., & Song, J. M. (2015). Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the Gram-Negative bacterium *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(6), 1712-1720. <https://doi.org/10.1128/aem.02218-06>
- Pulit-Prociak, J., & Banach, M. (2016). Silver nanoparticles a material of the future? *Open Chemistry*, 14(1), 76-91. <https://doi.org/10.1515/chem-2016-0005>
- Rodríguez-Angeles, G. (2002). Principales características y diagnóstico de los grupos patógenos de *Escherichia coli*. *Salud pública de México*, 44(5), 464-475. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0036-36342002000500011](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342002000500011)
- Shi, L., Zhao, Y., Zhang, X., Su, H., & Tan, T. (2008). Antibacterial and anti-mildew behavior of chitosan/Nano-TiO<sub>2</sub> composite emulsion. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 25(6), 1434-1438. <https://doi.org/10.1007/s11814-008-0235-7>
- Shrivastava, S., Bera, T., Roy, A., Singh, G., Ramachandrarao, P., & Dash, D. (2007). Retracted: Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 18(22), 225103. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/18/22/225103>
- Zhao, G., Stevens, S.E. (1998). Multiple parameters for the comprehensive evaluation of the susceptibility of *Escherichia coli* to the silver ion. *Biomaterials* 11, 27–32 <https://doi.org/10.1023/A:1009253223055>
- Wattanawong, N., & Aht Ong, D. (2021). Antibacterial activity, thermal behavior, mechanical properties and biodegradability of silver zeolite/poly(butylene succinate) composite films. *Polymer Degradation and Stability*, 183, 109459. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109459>