

USO DE ACTINOBACTERIAS EN LA SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS METÁLICAS CON ACTIVIDAD TERAPÉUTICA

Autoras: Ana Cecilia Zarate Jiménez, Lucía Ortega Cabello, Liliana Hernández Vázquez,
Aida Hamdan Partida

Resumen

Las actinobacterias son un grupo diverso de bacterias Gram positivos con morfología variada, que incluye principalmente las formas cocoides. Las cuales han capturado la atención debido a su capacidad multifacética en diversos entornos como es el ambiental, alimentaria y farmacéutica. Sin embargo, es en este último donde revelan su mayor potencial, ya que los metabolitos secundarios que liberan poseen propiedades antitumorales, antivirales, antibióticas y antifúngicas. No obstante, otro potencial de las actinobacterias es la síntesis verde, facilitada por antioxidantes derivados de sus metabolitos secundarios. Esto permite la producción de nanopartículas metálicas (mNP) estables en diversas formas y tamaños. Están principalmente compuestas de oro y plata; A las cuales se les ha encontrado aplicaciones en la detección temprana de enfermedades, el transporte selectivo de fármacos y la promoción de la formación de nuevos

tejidos. Además, en el ámbito farmacéutico, muestran propiedades terapéuticas como antibióticos, antivirales y antitumorales. Estas características hacen de las mNP herramientas versátiles y prometedoras en diversas áreas tanto científicas como tecnológicas. Sin embargo, también conlleva desafíos éticos, ambientales y en la seguridad en su uso especialmente en aplicaciones médicas. La estandarización de la síntesis y la comprensión de cómo estas nanopartículas interactúan con el entorno son esenciales para su producción a gran escala así como en su aplicación práctica. En última instancia, la investigación continua tanto en las actinobacterias como en las mNP que prometen llevarnos a un futuro donde estas brindan soluciones innovadoras y sostenibles para los desafíos que enfrenta la humanidad.

PALABRAS CLAVE: Nanotecnología, Síntesis Verde, mNP, Actinobacterias, Metabolitos Secundarios.

Introducción

En el mundo microscópico existen grupos de bacterias que poseen asombrosas habilidades y aplicaciones prácticas que van más allá de lo que se imagina. Las actinobacterias, son grupo diverso de microorganismos Gram positivos y aerobios, las cuales han cautivado la atención científica gracias a su versatilidad y habilidades únicas (Torres, 2012). Su variada morfología, que incluye estructuras de cocoides alargadas, lo que les permite sobrevivir en una amplia gama de hábitats, desde ambientes acuáticos hasta superficies rocosas, incluso en condiciones extremas de temperatura, salinidad y presión (Torres, 2012; Ortega et al., 2016). Aunque algunas familias pueden ser patógenas, su contribución en la biorremediación y el ciclo de nutrientes es crucial, ya que degradan contaminantes y facilitan la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Beato, 2021). Estas bacterias poseen una gran importancia debido a que se destacan por su potencial biotecnológico y su capacidad para producir una amplia variedad de compuestos útiles en la industria alimentaria y farmacéutica (Torres, 2012).

Sin embargo, la verdadera magia de las actinobacterias radica en su habilidad secreta: la síntesis de nanopartículas metálicas de manera eco amigable (Abril, 2022). A medida que el mundo busca alternativas a los métodos químicos tradicionales, las actinobacterias emergen como productoras eficientes de nanopartículas metálicas estables mediante un proceso conocido como síntesis verde. Esta

técnica sostenible, impulsada por antioxidantes producidas por las bacterias, ofrece una solución prometedora para la obtención de nanopartículas con aplicaciones terapéuticas, tecnológicas y medioambientales (Gómez, s.f.). Estas nanopartículas metálicas tienen propiedades únicas y un potencial terapéutico sorprendente. Su tamaño nanométrico les permite interactuar a nivel celular, lo que los convierte en herramientas valiosas para el diagnóstico temprano y el tratamiento específico de enfermedades, incluido el cáncer. Además, como vehículos de transporte de medicamentos y facilitadores de la ingeniería de tejidos, las nanopartículas metálicas abren nuevas posibilidades en la medicina moderna (Mata, 2022; Ghilini, 2020).

A pesar de estas promesas, la síntesis de nanopartículas metálicas plantea desafíos y cuestiones éticas. La seguridad en su uso, la estandarización de la producción y la comprensión de su impacto ambiental son consideraciones fundamentales.

Es esencial abordar estas preocupaciones con un enfoque ético y equitativo, garantizando que las innovaciones beneficien a todos y minimicen los posibles riesgos (Mata, 2022; Ghilini, 2020).

Actinobacterias: microorganismos multifacéticos

Antes de adentrarnos a las grandes aplicaciones terapéuticas de las nanopartículas metálicas es importante conocer a las actinobacterias; Estas bacterias fueron llamadas por

mucho tiempo actinomicetos, donde actino significa «rayo» por algo filamentoso y micetos es el sufijo de «mico» que refiere a los hongos.

Durante mucho tiempo, también se los ha visto como un conjunto de organismos “exóticos” debido a que tienen rasgos morfológicos parecidos tanto a bacterias principalmente cocoides, es decir en forma de guisantes alargados (Figura 1) como a hongos ya que forman hifas y micelios (Figura 2); sin embargo con técnicas de biología molecular, genotípicas y taxonómicas se reclasificaron como actinobacterias debido a que poseen características principalmente de bacterias.

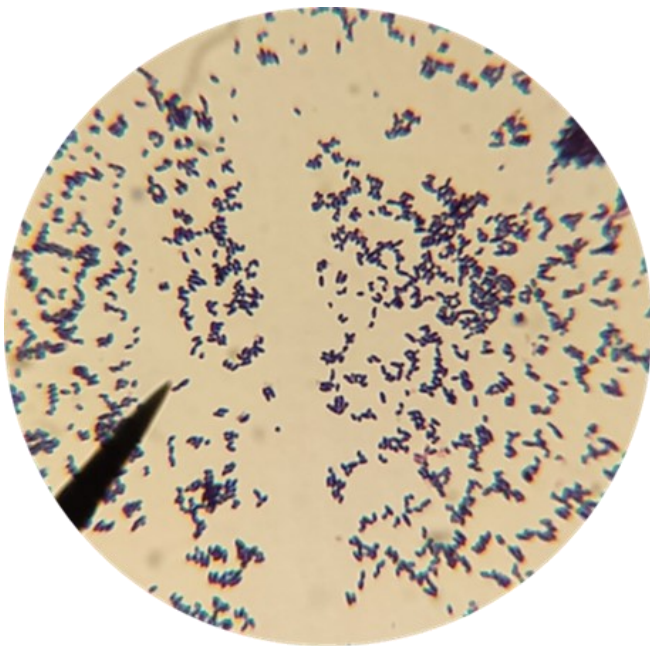


Figura 1. Actinobacterias en tinción de Gram observadas a través de un microscopio.

Fuente: Elaboración propia.

Estas bacterias se caracterizan por ser Gram positivas lo que indica que tiene una pared celular gruesa y aerobias debido a que requieren de oxígeno para vivir, se han gana-

do una reputación notable debido a su diversidad, además de su capacidad para sobrevivir en condiciones extremas, debido a que son bacterias muy versátiles logrando habitar tanto ambientes acuáticos como terrestres, del mismo modo se pueden encontrar en superficies rocosas, sin embargo algunas familias pueden ser patógenas en humanos lo que significa que son responsables de varias enfermedades como es el caso de la *Mycobacterium tuberculosis* que provoca tuberculosis, *Nocardia brasiliensis* principal responsable de la micetoma, *Actinomyces israelii* causante de actinomycosis y *Mycobacterium leprae* la cual provoca la lepra, entre otros (Torres, 2012; Ortega et al., 2016).



Figura 2. Colonias de Actinobacterias en forma de micelio en medio GYEA.

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo las actinobacterias desempeñan un papel crucial en la biorremediación debido a que tienen la capacidad de degradar contaminantes ambientales, como hidrocarburos y

metales pesados, transformándolos en formas menos tóxicas o no tóxicas para el medio ambiente (Ortega et al., 2016). así también participa en el ciclo de nutrientes convirtiendo el nitrógeno atmosférico en una forma más disponible para las plantas por lo que ayuda en su crecimiento, sin dejar de mencionar que estas bacterias producen compuestos que son útiles para la formación de fertilizantes y fungicidas. Otra capacidad importante de las actinobacterias es la producción de enzimas las cuales son mayormente utilizadas para la industria alimentaria en la producción de diversos colorantes, edulcorantes y productos lácteos (Zarate, 2019).

No obstante, su principal virtud radica en ser una considerable fuente de metabolitos secundarios de significativa importancia en biotecnológica y farmacéutica, dado que ciertos compuestos presentan propiedades antitumorales como por ejemplo la actinomicina D, antiviral como la Antimicina A1a, antibacteriana como estreptomycin, antifúngica como Anfotericina B y antiparasitaria como Ivermectina (Cuesta, 2004); Estos metabolitos secundarios son compuestos que producen las actinobacterias que no son fundamentales para su crecimiento o desarrollo pero que sirven para defenderse de otras bacterias de su alrededor que compiten con ella por los nutrientes y el espacio. Además estos metabolitos son una fuente alta en actividad antioxidante debido a la presencia principalmente de metabolitos como carotenoides, flavonoides, fenoles o exopolisacáridos (Mata, 2022; Ghilini, 2020).

Los antioxidantes son sustancias que juegan un papel clave en la protección de las células contra daños provocado por el estrés oxidativo y por lo tanto evitar su envejecimiento así como de diversas enfermedades (López et al., 2012). Encima existe un creciente interés en la búsqueda de compuestos antioxidantes ya que estos son importantes herramientas para la síntesis de nanopartículas metálicas (mNp) (Abril, 2022) y por lo tanto nos proporciona una síntesis amigable con el medio ambiente, a comparación con la producción tradicional de mNp por métodos químicos (Llacuna & Mach, 2012).

Por todo lo anteriormente mencionado se tiene creciente interés en la investigación de estas bacterias y su aplicación en diferentes campos.

Nanopartículas metálicas: un universo en miniatura:

Es importante entender qué son las nanopartículas metálicas (mNP) y por qué son tan valiosas. Las mNP se definen como partículas sólidas con un tamaño nanométrico, el cual es muy pequeño para ser visible al ojo humano por lo que requiere de ser observada por instrumentos especiales como microscopios muy potentes; estas mNP son principalmente de oro y plata (Sánchez et al., 2009; Mohanraj & Chen, 2006).

Las nanopartículas metálicas han demostrado poseer propiedades especiales en aplicaciones innovadoras (¿Qué son las nanopartículas?, 2019); Por ejemplo, pueden exhibir

propiedades ópticas como marcadores para diagnóstico altamente sensibles, ya que pueden ser diseñadas para interactuar con células y tejidos específicos en el cuerpo para detectar enfermedades como el cáncer en etapas tempranas, mejorando así la precisión del diagnóstico médico permitiendo una detección temprana, lo que las convierte en un recurso valioso en diversas áreas de la ciencia y la tecnología (Vera et al., 2023). Además las mNP tiene gran potencial como vehículo para transportar fármacos que mejoran la selectividad del tratamiento, debido a que pueden llevar medicamentos directamente a las células o tejidos afectados, minimizando los efectos secundarios en otras partes del cuerpo y con una eficacia de tan sólo segundos, en comparación con fármacos en formas farmacéuticas convencionales que pueden hacer efecto después de 10 o 15 minutos.

Sin dejar de mencionar que pueden actuar como sistemas de entrega de fármacos, controlando su liberación en el cuerpo a lo largo del tiempo; Esto puede mejorar la eficacia de los tratamientos y reducir la frecuencia de administración de medicamentos (Mata, 2022). Otra importante aplicación es en la ingeniería de tejidos, en donde las mNP pueden ser utilizadas para promover la formación de nuevos tejidos en áreas dañadas o afectadas, además de mejorar la adhesión celular ya que ayuda a las células a unirse y formar nuevas capas de tejido en implantes médicos (Ghilini, 2020).

Pero sus capacidades no terminan ahí, han

demostrado tener diversas aplicaciones en el campo farmacéutico debido a que las nanopartículas metálicas muestran actividades terapéuticas contra diversos microorganismos y tumores (Beato, 2021).

Estas acciones terapéuticas se deben a su habilidad para producir especies reactivas de oxígeno, las cuales pueden inducir daño celular, daño en el material genético y por ende provocar la apoptosis o muerte celular de las células cancerosas; Además de que estas nanopartículas liberan iones metálicos los cuales dañan la pared celular e interfieren con las funciones vitales de las células microbianas y por ende provocar muerte celular (Morales et al., s.f.).

"La magia de las actinobacterias detrás de la síntesis: explorando las etapas de formación"

Las mNP existen principalmente dos enfoques para obtenerlas: (a) mediante un proceso físico que implica la división mecánica del metal, y (b) mediante un proceso químico que abarca la nucleación y el desarrollo de las partículas a partir de los átomos metálicos (Figura 3); En general, la síntesis química se lleva a cabo mediante el empleo de un precursor metálico, un agente reductor y un agente estabilizante (Monge, 2009).

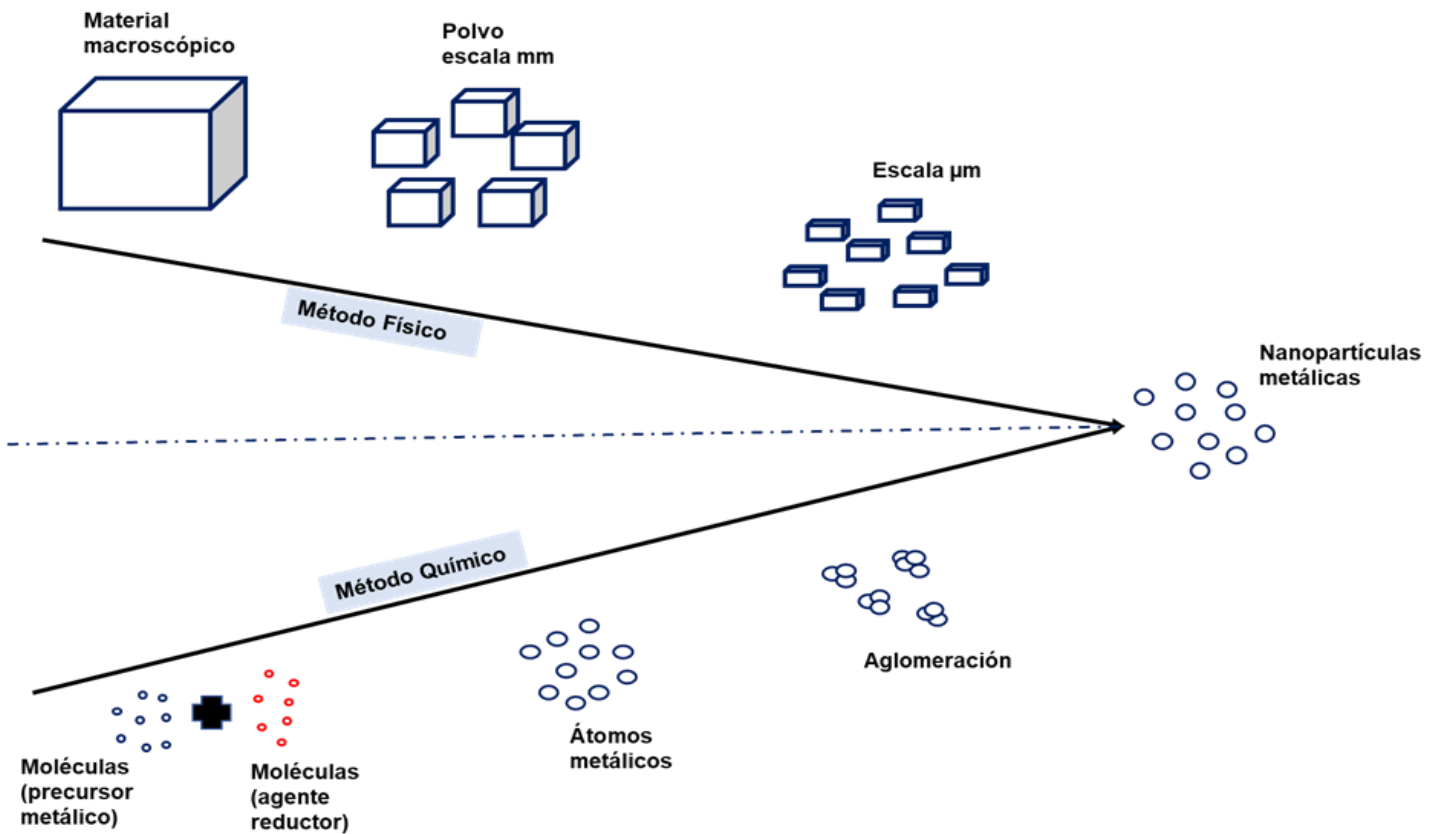


Figura 3. Síntesis de nanopartículas metálicas por método físico y método químico.

Fuente: Elaboración propia

Los primeros métodos químicos descritos es con ácido cloroáurico (HAuCl_4) como precursor metálico y citrato de sodio ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) como agente reductor, para la obtención de nanopartículas de oro y la reacción entre nitrato de plata (AgNO_3) y el borohidruro de sodio (NaBH_4) como agente reductor para nanopartículas de plata sin embargo, utilizan materiales tóxicos como son los agentes reductores que pueden afectar el medio ambiente (Monge, 2009). Varios problemas negativos, como la contaminación del agua y el suelo, al igual que inconvenientes de salud como intoxicación, el estrés oxidativo y los cambios en la respuesta inmunológica, han sido relacionados con las

nanopartículas metálicas (mNP) fabricadas principalmente mediante métodos químicos. Estos efectos se deben a sustancias perjudiciales que se adhieren a la superficie de las mNP debido al uso de compuestos tóxicos como los agentes reductores. Debido a esto, se ha dirigido la atención hacia la exploración de nuevas opciones para la creación de nanopartículas, con el objetivo de evitar cualquier impacto negativo en el medio ambiente y en nuestra salud (Torres et al., 2012). Las actinobacterias tienen un talento secreto que ha llamado la atención de los científicos, la cual es su habilidad para producir metabolitos secundarios con importante actividad antioxidante como

compuestos polifenólicos, proteínas, ácidos orgánicos y carotenoides.

Esta versatilidad de metabolitos hace de estas bacterias importantes herramientas para la síntesis verde de mNP; la cual busca ser amigable con el medio ambiente, a comparación con la producción tradicional por métodos químicos (Abril, 2022).

Para llevar a cabo la síntesis verde, es necesario una solución de la sal metálica de interés (precursor metálico) y un extracto acuoso con alto contenido de compuestos con actividad antioxidante (agente reductor), debido a que estos son los principales

compuestos que participan en los mecanismos de bio-reducción y nucleación para formar nanopartículas estables (Figura

4). Su simplicidad otorga una amplia flexibilidad en la generación de diversas formas y dimensiones de mNp, superando los inconvenientes de métodos previos, que además resultan más costosos y carecen de capacidad de producción a gran escala.

Este proceso de síntesis se ha convertido en un enfoque prometedor para la obtención de nanopartículas de manera sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Llacuna & Mach, 2012).

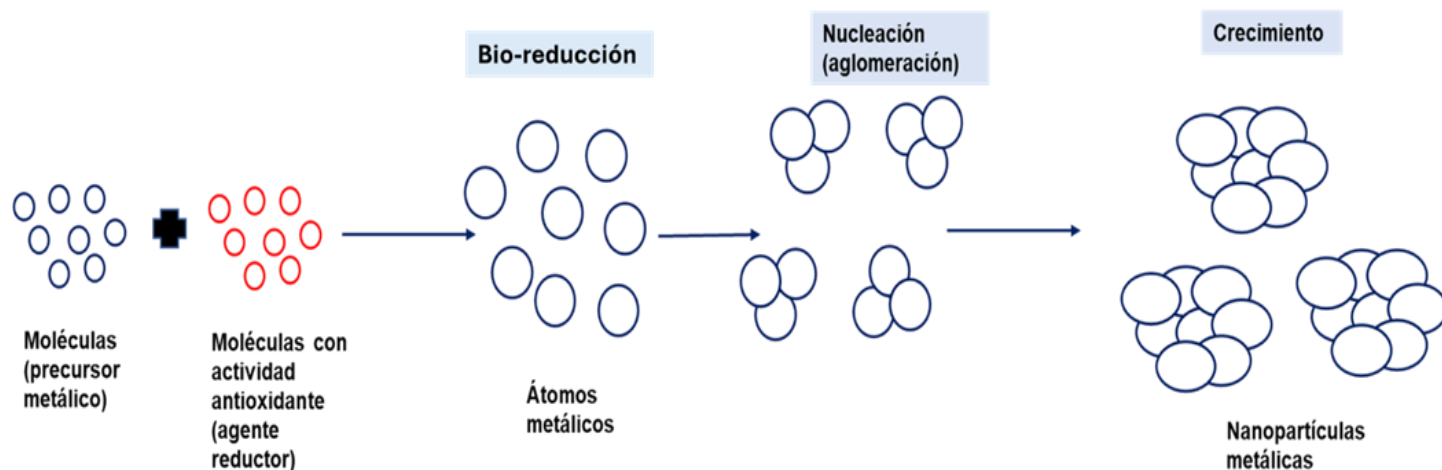


Figura 4. Síntesis verde de nanopartículas metálicas. Fuente: Elaboración propia.

Esta sorprendente capacidad de síntesis ha despertado un gran interés en la investigación y ha llevado a la identificación de géneros específicos de actinobacterias, como *Streptomyces*, *Nocardia* y *Rhodococcus*, como productores eficientes de nanopartículas metálicas (Torres et al., 2012; Zarate, 2019).

Desafíos y consideraciones éticas:

A pesar de las emocionantes perspectivas que las actinobacterias y sus nanopartículas metálicas ofrecen, también hay desafíos y consideraciones éticas que deben abordarse.

La seguridad en el uso de nanopartículas en aplicaciones médicas y ambientales es fundamental para evitar efectos adversos en la salud humana y el ecosistema (Morales et al., s.f.). Además garantizar la estabilidad y la reproducibilidad de la síntesis es fundamental para la producción a gran escala y la aplicación práctica de las nanopartículas.

Las condiciones de laboratorio, los reactores y los métodos de síntesis deben ser rigurosamente estandarizados. Es importante entender cómo las nanopartículas de plata sintetizadas pueden afectar al medio ambiente una vez liberadas. Podrían tener impactos negativos en los ecosistemas acuáticos y terrestres si no se manejan adecuadamente (Mata, 2022).

La investigación debe cumplir con altos estándares éticos en cuanto al uso de datos y la experimentación en animales, asegurando un tratamiento ético y respetuoso de todos los seres involucrados. Y, por último, si las aplicaciones médicas de las nanopartículas de plata se desarrollan con éxito, es importante garantizar un acceso equitativo a estas terapias, especialmente en comunidades desfavorecidas o con menos recursos (Ghilini, 2020).

Por lo tanto es necesario realizar investigaciones adicionales para comprender completamente los posibles riesgos y tomar medidas preventivas adecuadas.

Conclusión

Las actinobacterias son microorganismos multifacéticos que han conquistado la atención científica debido a su invaluable contribución en áreas como la biorremediación, la producción de enzimas industriales y su potencial farmacéutico; Además con una relevancia significativa en la biotecnología debido a su capacidad para sintetizar nanopartículas metálicas de manera ecoamigable. La síntesis verde, impulsada por antioxidantes, ha revolucio-

nado la forma en que percibimos las nanopartículas metálicas.

Estas diminutas estructuras, poseen un potencial ilimitado en campos tan diversos como la medicina y la tecnología. Desde su función como marcadores de diagnóstico altamente sensibles hasta su papel como vehículos de administración de medicamentos y promotores de la ingeniería de tejidos, las nanopartículas metálicas están redefiniendo los límites de lo posible, lo que abre un abanico de oportunidades para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades.

Aunque aún existen desafíos por superar, el estudio y aplicación de las actinobacterias en la síntesis de nanopartículas metálicas continúa siendo de gran interés en la investigación, y su potencial impacto positivo en la sociedad es prometedor. Por lo que la optimización de los procesos de síntesis, la estandarización de las técnicas y la comprensión de los mecanismos detrás de la síntesis de nanopartículas son áreas que requieren una investigación más profunda.

Además, es necesario evaluar adecuadamente la seguridad y el impacto ambiental de estas nanopartículas antes de su aplicación a gran escala. A medida que la investigación avanza, es probable que sigamos descubriendo más sobre estas pequeñas maravillas y su potencial para mejorar nuestras vidas de formas inimaginables.

Glosario

Ácidos Orgánicos: compuestos químicos que contienen átomos de carbono y tienen la capacidad de liberar protones en solución acuosa.

Antifúngico: Medicamento que trata las infecciones causadas por hongos

Antioxidantes: Son sustancias que protegen a las células del cuerpo contra el daño causado por los radicales libres, que son moléculas inestables que pueden dañar las células y contribuir al envejecimiento y diversas enfermedades

Antitumorales: Relacionado con lo que impide el crecimiento anormal de las células

Biología molecular: Es una rama de la biología que estudia los procesos biológicos a nivel molecular, centrándose en la estructura, función y composición de las moléculas que constituyen las células, como el ADN, ARN y proteínas.

Biorremediación: Empleo de microorganismos para la recuperación del medio ambiente.

Carotenoides: Son pigmentos naturales que se encuentran en microorganismos y tienen propiedades antioxidantes.

Edulcorantes: Son sustancias utilizadas para agregar sabor dulce a los alimentos y bebidas.

Enzimas: Proteína que acelera las reacciones químicas en el cuerpo.

Estrés Oxidativo: Condición que surge debido a un exceso de moléculas inestables conocidas como radicales libres en el organismo, y no hay suficientes antioxidantes para eliminarlos. Esta situación puede provocar deterioro en las células y los tejidos.

Exopolisacáridos: Son moléculas producidas por microorganismos que pueden formar

una capa alrededor proporcionándoles protección contra condiciones ambientales adversas y facilitando la captura de nutrientes.

Fenoles: Estos compuestos se encuentran en una variedad de plantas y tienen propiedades antioxidantes y antimicrobianas.

Fertilizantes: Son sustancias químicas o naturales que se aplican al suelo o a las plantas para mejorar su crecimiento y aumentar la producción de cultivos.

Filamentoso: Se refiere a la cualidad de tener una estructura alargada y delgada, similar a un hilo.

Flavonoides: Sustancias son conocidas por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, y se cree que ofrecen diversos beneficios para la salud.

Fungicidas: Productos químicos diseñados para controlar, prevenir o eliminar el crecimiento de hongos patógenos que pueden dañar cultivos y plantas.

Genotípicas: Se refiere a las características o rasgos que están determinados por los genes de un organismo.

Hidrocarburos: Componentes básicos de los combustibles fósiles como el petróleo y el gas natural.

Hifas: Son estructuras filamentosas y ramificadas que componen el cuerpo principal de los hongos.

Marcadores de diagnóstico: Son biomoléculas o características biológicas que se utilizan para detectar la presencia de una enfermedad o condición médica específica.

Material genético: Es la información hereditaria contenida en los genes de un organismo, que determina sus características y funciones biológicas.

Mecanismos de bio-Reducción: Proceso en el cual el agente reductor hace que el metal

pase a una forma de átomos metálicos.

Micelios: Son estructuras filamentosas formadas por hongos, como mohos.

Microorganismos: Son organismos vivos extremadamente pequeños que solo pueden ser vistos con un microscopio. Incluyen bacterias, virus, hongos y protistas, entre otros.

Morfología bacteriana: Se refiere a la forma y estructura física de las bacterias, que pueden variar considerablemente entre diferentes especies y cepas.

Multifacéticos: Implica que algo puede ser versátil, adaptable o tener una variedad de habilidades, atributos o características que los hacen únicos o interesantes.

Pared celular: Es una capa rígida y resistente que rodea la membrana de las bacterias la cual proporciona soporte estructural y protección a la célula, ayudándola a mantener su forma.

Proteínas: Son macromoléculas presentes en todas las células vivas, las cuales entre otras funciones importantes, son consideradas como una gran fuente de antioxidantes.

Respuesta inmunológica: Es la reacción del sistema inmunológico del cuerpo ante la presencia de agentes extraños, como bacterias, virus, parásitos o células anormales.

Selectividad del tratamiento: Se refiere a la capacidad de un tratamiento médico o terapéutico para dirigirse específicamente a una estructura o función particular en el organismo.

Síntesis verde: Es un enfoque de la química que busca desarrollar procesos de síntesis de nanopartículas de plata de manera sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Taxonomía: Ciencia que clasifica y nombra los organismos vivos en grupos jerárquicos basados en sus similitudes evolutivas.

Referencias

- Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM. (2 de agosto de 2019). ¿Qué son las nanopartículas?. Fundación UNAM. <https://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/la-unam-te-explica-que-son-las-nanoparticulas>
- Abril-Ibarra, Z. (2022). Antioxidantes producidos por microorganismos acuáticos y terrestres con uso potencial en cosméticos. *Revista de Actualidades Biológicas*, 44 (116), 1-19. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v44n116a02>
- Beato Sánchez, Y. (2021). Empleo de nanopartículas en el tratamiento del cáncer. [Tesis de Licenciatura. Universidad de Sevilla]. Depósito de Investigación Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/132519?show=full>
- Cuesta Amat, G. (2004). Detección y caracterización por métodos fenotípicos y moleculares de mycolata formadores de espumas en estaciones depuradoras de aguas residuales domésticas con sistemas de fangos activos. [Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Valencia]. Repositorio Institucional de la Universitat Politècnica de Valencia. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/2665>
- Ghilini, F. (2020). Multifuncionalización de superficies de titanio con nanopartículas de plata y biomoléculas para mejorar el desempeño de dispositivos implantables. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Plata]. Repositorio Institucional de la UNLP. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/93242>
- Gómez Villarraga, F. (s.f.). Nanopartículas metálicas y sus aplicaciones. https://innovacionyciencia.com/documentos/nanoparticulas_metalicas_y_sus_aplicaciones.pdf
- Llacuna, L., & Mach, N. (2012). Papel de los antioxidantes en la prevención del cáncer. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*. 16(1), 16-24. [https://doi.org/10.1016/S2173-1292\(12\)70067-4](https://doi.org/10.1016/S2173-1292(12)70067-4)
- Lopez, L. A., Fernando A., C., Lazarova, Z., Bañuelos V., R., & Sánchez R. , S.H.(2012). Antioxidantes, un paradigma en el tratamiento de enfermedades. *Revista ANACEM*, 6 (1), 48-53. <https://>

www.researchgate.net/profile/Argelia-Lopez-Luna/publication/264233113_Antioxidantes_un_paradigma_en_el_tratamiento_de_enfermedades/links/53d53f600cf228d363ea0852/Antioxidantes-un-paradigma-en-el-tratamiento-de-enfermedades.pdf

Mata Ramírez, J. A. (2022). Diseño de un sistema nanoestructurado acarreador/liberador de principios activos para combatir la epilepsia. [Tesis Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional DGBSDI-UAQ. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/3582>

Mohanraj, V. J., & Chen, Y. (2006). Nanoparticles A Review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 5 (1), 561-573. <https://www.bioline.org.br/pdf?pr06007>

Monge, M. (2009). Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. *Anales de Química de la RSEQ*, 105 (1), 33-41. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2931286>

Morales, J., Morán, J., Quintana, M., & Estrada, W. (2009). Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata por la ruta sol-gel a partir de nitrato de plata. *Revista de la Sociedad Química de Perú*. 75 (2). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2009000200004

Ortega Cabello, L., Pérez Méndez, H.I., Manjarrez Álvarez, N., López-Luna, A., Solís Oba, A. & Solís Oba, M. (2016). Comparación de la actividad antioxidante de carotenoides en extractos crudos y pre-purificados de actinobacterias marinas. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 47 (2), 60-65. <https://www.redalyc.org/pdf/579/57956610007.pdf>

Sánchez Mejias, Y., Cabrera Cruz, N., Toledo Fernández, A. & Duany Machado, O. J. (2009). Nanotechnology and its possibilities of application in the scientific-technological field. *Revista Cubana de Salud Pública*, 35, (3), 1-8. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21418847006>

Torres-Beltrán, M., Cardoso-Martínez, F., Millán-

Aguñaga, N., Becerril-Espinosa, A., & Soria-Mercado, I. (2012). Evaluación del Golfo de California como fuente potencial de actinobacterias marinas bioactivas. *Ciencias Marinas*, 38 (4), 609-624. <https://doi.org/10.7773/cm.v38i4.2131>

Vera García, P.F., Guerrero Dimas, L.A., Cedillo Portillo, J.J., Martínez Anguiano O.A., Sáenz Galindo, A., Narro Cespedes, R.I., Acuña Vazquez, P. & Castañeda Facio, A.(2023). PVA Blends and Nanocomposites, Properties and Applications: A Review. *Green-Based Nanocomposite Materials and Applications*. Editorial Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-18428-4>

Zarate-Jiménez, A. C. (2019). Validación de la técnica de DPPH-CLAR como método para la actividad antioxidante de metabolitos secundarios lipofílicos extraídos de actinobacterias. [Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana]. Repositorio UAM Xochimilco. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/26199>

Autoras:

Ana Cecilia Zarate Jiménez

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco
cecy1997zarate@gmail.com

Lucía Ortega Cabello

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco
lortegac@correo.xoc.uam.mx

Liliana Hernández Vázquez

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco
lhernandez@correo.xoc.uam.mx

Aida Hamdan Partida

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco
ahamp@correo.xoc.uam.mx