

## Changes in the silver particles radiating with different wavelengths and order of application

Cambios en las partículas de plata irradiando con diferentes longitudes de onda y orden de aplicación

Guzmán García Luis Eduardo<sup>1</sup> Alcocer Aguilar Katia Itzel<sup>2</sup>, Vargas Sánchez Daniela<sup>3</sup>, Ochoa Ramírez Ramiro<sup>4</sup>, Paniagua Vera Lorena Yazmin<sup>5</sup>, Camargo Carmona Yatziri<sup>6</sup>, Ortiz Jiménez Orlando<sup>7</sup>, Trejo Duran Monica<sup>8</sup>.

Avenida Universidad Sn., Colonia Yacatitas Yuriria Guanajuato, Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Universidad de Guanajuato.  
[le.guzmangarcia@ugto.mx](mailto:le.guzmangarcia@ugto.mx)<sup>1</sup>, [ki.alcoceraguilar@ugto.mx](mailto:ki.alcoceraguilar@ugto.mx)<sup>2</sup>, [d.vargassanchez@ugto.mx](mailto:d.vargassanchez@ugto.mx)<sup>3</sup>, [r.ochoaramirez@ugto.mx](mailto:r.ochoaramirez@ugto.mx)<sup>4</sup>, [lv.paniaguavera@ugto.mx](mailto:lv.paniaguavera@ugto.mx)<sup>5</sup>,  
[y.camargocarmona@ugto.mx](mailto:y.camargocarmona@ugto.mx)<sup>6</sup>, [o.ortiz@ugto.mx](mailto:o.ortiz@ugto.mx)<sup>7</sup>, [mtrejo@ugto.mx](mailto:mtrejo@ugto.mx)<sup>8</sup>.

### Resumen

En este trabajo se cambió la morfología de nanopartículas de plata esféricas, irradiándolas con luz UV y con uno de los siguientes colores azul, verde, amarillo, naranja, rojo y blanco; bajo la secuencia UV + color + UV + color. Cada irradiación duró 24 horas y al finalizar cada una de ellas se tomó un espectro UV-vis. Se encontró que para cada una de las longitudes de onda las muestras reaccionaron de manera diferente y en algunos casos se obtuvo una morfología adicional, como son triángulos, rodillos e incluso esferas más grandes, lo cuales se determinaron gracias al espectro UV-vis. Concluimos que el UV únicamente genera esferas más grandes, el verde genera triángulos, el amarillo produce rodillos, el naranja además de rodillos produce una morfología aún no determinada, el rojo no generó cambios significativos y el blanco indica que genera todos los cambios anteriores, pero en menor medida.

**Palabras clave:** nanopartícula; morfología; longitud de onda; UV-vis.

### Introducción

En el ámbito de la investigación cada día se obtienen nuevos descubrimientos e interesantes temas de estudio, que permiten a los investigadores conocer más sobre temas desconocidos, como al encontrar materiales pequeños, que se nombraron nanopartículas cuyas propiedades dependen de su tamaño, forma, distribución y formulación química. Las nanopartículas son una gama de materiales pequeños con al menos una dimensión inferior a 100 nm<sup>1</sup>. Actualmente, podemos encontrarlas en diversos aspectos del campo biomédico, como la medicina, la bio-detección, la administración de fármacos y los nano dispositivos<sup>2</sup>.

Existen diferentes tipos de nanopartículas, unas de los cuales son las nanopartículas de plata (AgNPs) que se conocen por tener potentes efectos antibacterianos<sup>3,4,5,6</sup>, eliminación de amplio espectro, así como la inhibición de una amplia gama de microorganismos patógenos<sup>7</sup>, es por ello por lo que son muy importantes en los campos de la biología y la medicina<sup>8</sup>.

Existe un incremento en la variedad de métodos para la producción y aplicación de las AgNP. Las diferentes rutas de síntesis de NP conducen a tamaños variables, morfología, e incluso estabilidad. Estos métodos se pueden clasificar en tres grandes categorías: síntesis física, química y biológica (o verde)<sup>9,10,11</sup>. En 2008, se estudió la influencia de iones de cloro en nanopartículas de plata para la transformación de forma triangulares en discos<sup>12</sup>. Otro trabajos previos irradio nanopartículas esféricas con luz verde amarillo durante 5 días, obteniendo morfologías de rodillos<sup>13</sup>. En algunos trabajos se ha estudiado la foto transformación usando leds de diferentes colores en medios ricos en oxígeno, determinando así la influencia del oxígeno en el cambio de morfología<sup>14</sup>. En otros trabajos, han modificado la morfología de fibras de plata convirtiéndolas en esferas, haciendo uso de luz laser y comparándolas con lo obtenido aplicando calor<sup>15</sup>, y otros aplicaron leds verdes y midieron sus propiedades ópticas no lineales<sup>16</sup>. En este trabajo se obtuvieron morfologías y tamaños diferentes de nanopartículas de plata, usando medios físicos como la luz led, se aplicaron longitudes de onda como la del ultravioleta visible, azul, verde, amarillo, naranja, rojo y blanco.

### Materiales y síntesis

## Materiales

Para este experimento, se utilizó borohidruro de sodio, citrato de sodio y nitrato de plata de Sigma-Aldrich como reactivos. Para la irradiación se utilizaron lámparas de ledes de color UV, azul, verde, amarillo, naranja rojo y blanco. Para la obtención de los espectros UV-vis se utilizó un analizador de espectros Ocean Optics modelo HG-4000-UV-VIS\_NEAR junto con una celda de cuarzo.

## Síntesis de nanopartículas esféricas

Para la creación de las nanopartículas, se llevaron a cabo tres pasos: Primero se preparó una solución de borohidruro de sodio al 0.008 M, la mezcla se mantuvo en refrigeración mientras se llevaban a cabo los siguientes pasos. El segundo paso consistió en diluir 0.0551 gramos de citrato de sodio en 142.5 mL de agua destilada. Tercer paso, a la solución del tercer paso se le agregan 7.5 mL de una solución de AgNO<sub>3</sub> al 0.002 M y se agita vigorosamente, posteriormente y bajo agitación se le agrega 1.5 mililitros de la solución del primer paso. La solución final debe ser de color amarillo, que es el indicativo de la formación de las nanopartículas de plata esféricas. A esta solución se le llamo “muestra madre”.

## Experimentación

El experimento se dividió en cuatro pasos. El primer paso se almacenan 5 mL en un bote ámbar de la muestra madre, que es la muestra de control. El resto de la solución se colocó bajo una lámpara de luz UV durante 24 horas. Al finalizar el proceso de irradiación se obtuvo el espectro de UV-vis.

El segundo paso consistió en separar la muestra del paso uno en seis muestras de 14 mL de volumen. A su vez cada muestra anterior se dividió en dos muestras de 7 mL cada una y a una de ellas se le agrega 0.1 mL de AgNO<sub>3</sub>. Cada una de las muestras sigue la siguiente ruta

Síntesis	Ruta de Irradiación			
	UV	Color	UV	Color
Muestra madre				
		<ul style="list-style-type: none"> <li>El primer UV es que se le dio en el primer paso</li> <li>Cada irradiación dura 24 horas y al finalizar el proceso se toma un espectro UV-vis.</li> <li>Color se sustituye por una de las lámparas a usar, excluyendo al UV.</li> </ul>		

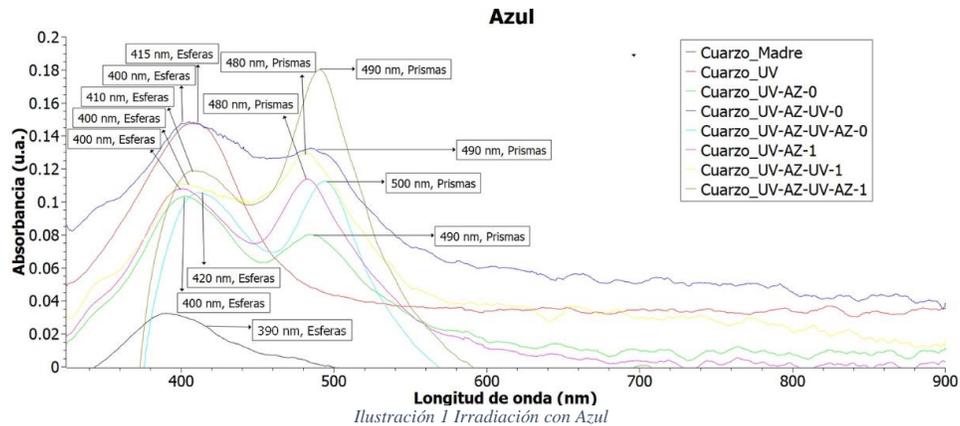
Para la primera irradiación de color los nombres de las muestras son en la terminación “-1” es a la que le agregó AgNO<sub>3</sub> y la terminación “-0” es la muestra a la que no se le agregó AgNO<sub>3</sub>: Cuarzo\_UV-Az-0, Cuarzo\_UV-Az-1, Cuarzo\_UV-Ve-0, Cuarzo\_UV-Ve-1, Cuarzo\_UV-Am-0, Cuarzo\_UV-Am-1, Cuarzo\_UV-Na-0, Cuarzo\_UV-Na-1, Cuarzo\_UV-Ro-0, Cuarzo\_UV-Ro-1, Cuarzo\_UV-Bla-0, Cuarzo\_UV-Bla-1.

En el tercer paso, consistió en irradiar las muestras anteriores por otras 24 horas, pero con el UV y al finalizar el periodo se toma un nuevo espectro UV. Los nombres de las muestras son: Cuarzo\_UV-Az-UV-0, Cuarzo\_UV-Az-UV-1, Cuarzo\_UV-Ve-UV-0, Cuarzo\_UV-Ve-UV-1, Cuarzo\_UV-Am-UV-0, Cuarzo\_UV-Am-UV-1, Cuarzo\_UV-Na-UV-0, Cuarzo\_UV-Na-UV-1, Cuarzo\_UV-Ro-UV-0, Cuarzo\_UV-Ro-UV-1, Cuarzo\_UV-Bla-UV-0, Cuarzo\_UV-Bla-UV-1.

En el cuarto paso, se irradian las muestras del tercer paso con el color correspondiente y al finalizar el periodo se obtiene el espectro UV-vis. Los nombres de las muestras son: Cuarzo\_UV-Az-UV-Az-0, Cuarzo\_UV-Az-UV-Az-1, Cuarzo\_UV-Ve-UV-Ve-0, Cuarzo\_UV-Ve-UV-Ve-1, Cuarzo\_UV-Am-UV-Am-0, Cuarzo\_UV-Am-UV-Am-1, Cuarzo\_UV-Na-UV-Na-0, Cuarzo\_UV-Na-UV-Na-1, Cuarzo\_UV-Ro-UV-Ro-0, Cuarzo\_UV-Ro-UV-Ro-1, Cuarzo\_UV-Bla-UV-Bla-0, Cuarzo\_UV-Bla-UV-Bla-1.

## Resultados

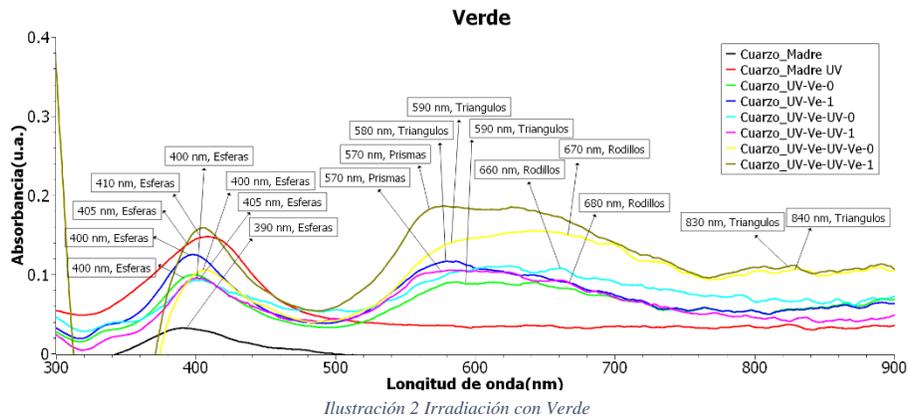
### Exposición al Color Azul



La gráfica mostrada en la ilustración 1 corresponde a los espectros UV-vis obtenidos al irradiar con luz UV y luz azul, cada una durante 24 horas en un orden alternado, obteniendo los siguientes resultados: Cuarzo\_Madre: Este espectro muestra un pico de absorbancia alrededor de los 390 nm, que corresponde a esferas de diámetro 2.6 nm. Cuarzo\_UV. La señal aumenta en su altura, lo que indica una mayor absorbancia, mayor cantidad de nanopartículas esféricas con máximo alrededor de los 400 nm, lo que indica que el tamaño es de 5 nm. Cuarzo\_UV\_AZ\_0 se ve la disminución de la señal en 400 nm, con referencia a anterior, y la presencia de un nuevo pico en 490 nm que pueden ser prismas o alambres, es decir, la luz azul fototransformó varias esferas. Cuarzo\_UV\_AZ\_UV\_0. Al aplicar radicación UV crecen las señales en altura conservando los picos y las morfologías. Cuarzo\_UV\_AZ\_UV\_AZ\_0. corresponde a la última irradiación, observamos un desplazamiento de 10 nm hacia el rojo, indicando un aumento de tamaño, pero la segunda señal en 500 nm es más grande que la de 420 nm, que representa un aumento en la cantidad de prismas, comparada con el anterior espectro.

En las muestras a las que se les agregó 0.1 mL y el mismo procedimiento presentan el mismo comportamiento que se describió en el párrafo anterior.

### Exposición al Color Verde



En estos espectros (ilustración 2) podemos observar los cambios que obtuvieron por las diferentes irradiaciones con UV y verde. Cuarzo\_UV. Al aplicar UV se obtuvieron más esferas y aumentaron de tamaño, esto lo indica la altura de la señal y el desplazamiento a la derecha. Cuarzo\_UV\_Ve\_0. Hubo una disminución en la cantidad de esferas, pero se obtuvieron triángulos, esto lo muestra la señal que aparece en 590 nm. Cuarzo\_UV\_Ve\_UV\_0. Comparado con el espectro anterior, se obtienen más triángulos y menos esferas. Cuarzo\_UV\_Ve\_UV\_Ve\_0. Hay un aumento de esferas y se corre al rojo 5 nm (diámetro 8 nm) y un aumento significativo de triángulos en comparación con la anterior.

En las muestras a las que se les agregó 0.1 mL y el mismo procedimiento presentan el mismo comportamiento que se describió en el párrafo anterior.

## Exposición al Color Amarillo

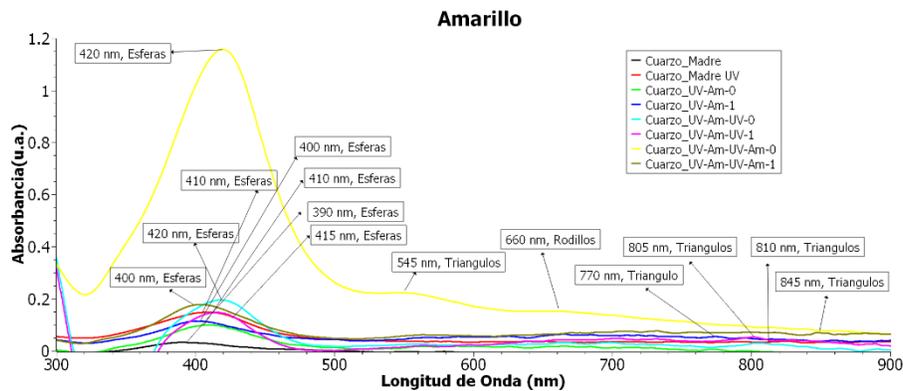


Ilustración 3 Irradiación con Amarillo

En esta gráfica, como se ve en la ilustración 3, podemos observar Cuarzo\_UV\_Am\_0. Muestra una disminución de esferas. Cuarzo\_UV\_Am\_UV\_0. Tiene un aumento de nanopartículas esféricas y un ligero desplazamiento hacia el rojo de 10 nm, lo indica un ligero aumento de tamaño. Cuarzo\_UV\_Am\_UV\_Am\_0. Presenta un aumento más significativo en cuanto al tamaño sin cambiar el pico, pero se observan dos nuevas señales una en 545 nm, que corresponde a triángulos y una en 660 nm que corresponde a rodillos.

En las muestras a las que se les agrego 0.1 mL y el mismo procedimiento presentan el mismo comportamiento que se describió en el párrafo anterior.

## Exposición al Color Naranja

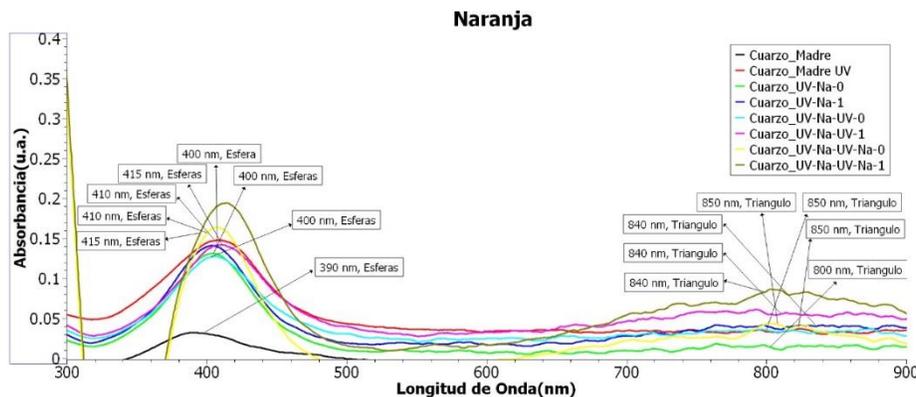


Ilustración 4 Irradiación con Naranja

La ilustración 4 muestra los espectros de: Cuarzo\_UV-Na\_0. Se obtienen esferas con un ligero aumento de tamaño y corrimiento a la derecha, una ligera señal en 800 nm que corresponde a triángulos. Cuarzo\_UV-Na\_UV\_0. Se observa una ligera disminución de esferas, pero hay un incremento en la señal de 800 nm comparada con la anterior. Cuarzo\_UV-Na\_UV\_Na\_0. Tuvo un aumento de número de esferas y un ligero desplazamiento a la derecha, al igual que un gran incremento en la señal que corresponde a triángulos con un corrimiento a 850 nm.

En las muestras a las que se les agrego 0.1 mL y el mismo procedimiento presentan el mismo comportamiento que se describió en el párrafo anterior.

## Exposición al Color Rojo

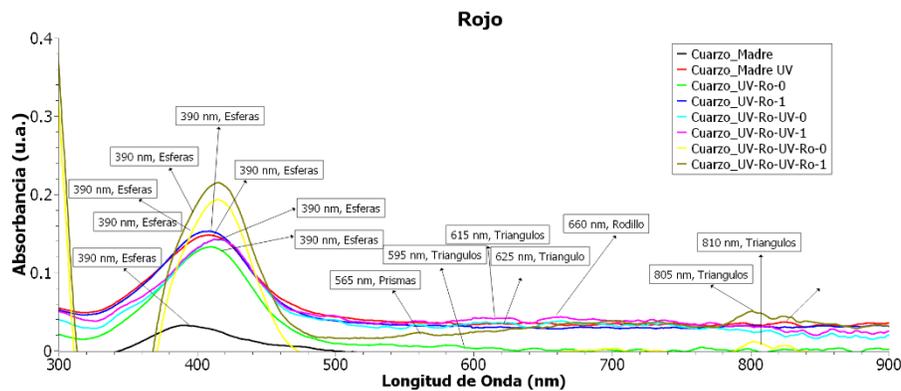


Ilustración 5 Irradiación con Rojo

La ilustración 5 presenta los espectros de: Cuarzo\_UV\_Ro\_0. Se percibe el mayor número de esferas en 390 nm, y una ligera aparición de triángulos a los 595 nm. Cuarzo\_UV\_Ro\_UV\_0. Después de aplicar el UV, se observó un ligero desplazamiento hacia el rojo y aumento de altura, lo que nos indica que tenemos un mayor número de esferas y diferente tamaño. Cuarzo\_UV\_Ro\_UV\_Ro\_0. Al volver a aplicar el color rojo, tenemos un aumento de esferas, pero una reducción en cuánto a los tamaños y aparece una señal en 810 nm.

En las muestras a las que se les agrego 0.1 mL y el mismo procedimiento presentan el mismo comportamiento que se describió en el párrafo anterior.

### Exposición al Color Blanco

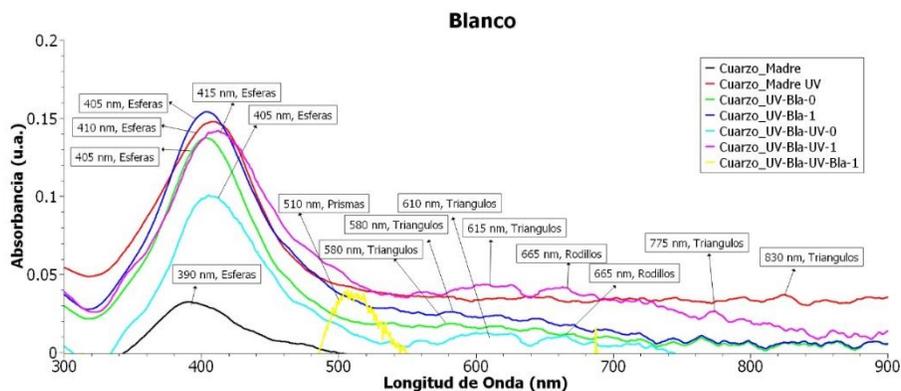


Ilustración 6 Irradiación con Blanco

La ilustración 6 corresponde a los espectros de: Cuarzo\_UV\_Bla\_0. Presenta el espectro de absorción un pico en 405 nm, que corresponde a esferas de tamaño 8 nm, se visualiza un segundo pico en 580 nm que representa pocos triángulos formados. Cuarzo\_UV\_Bla\_UV\_0. Podemos decir que hubo un decremento en la altura, pero el pico se conserva comparado con la anterior, lo que indica menos cantidad de esferas, tiene un segundo pico en 610 nm, más claro que en el anterior espectro, y se observa un tercer pico en 665 nm que corresponde a morfología de rodillos.

En las muestras a las que se les agrego 0.1 mL y el mismo procedimiento presentan el mismo comportamiento que se describió en el párrafo anterior.

Los espectros del ultimo color blanco no fue posible obtenerlos, por tener mucho ruido en el espectro.

## Conclusiones

La aplicación de luz de diferentes longitudes de onda alternadas tiene como efecto incrementar la foto transformación de las nanopartículas de plata, en particular, aplicar radiación UV sobre las nanopartículas de plata ya foto transformadas por la irradiación de algún color en específico, tiene como efecto incrementar el número de esas NPs. Hemos obtenido diferentes morfologías en las AgNPs después de aplicar diferentes longitudes de onda, utilizando solo UV sobre NPs esféricas este incrementa el número de las mismas, el azul nos produce NPs esféricas más grandes y prismas, el verde produce formas planas triangulares, el amarillo nos da rodillos y el naranja nos da otra morfología aún no determinada, el rojo no influye en cambios morfológicos y el blanco al incluir los colores anteriores produce las morfologías mencionadas pero en una cantidad mucho menor. La foto transformación depende de la intensidad lumínica de los ledes, del tiempo de exposición y de la cantidad de material presente a fototransformar.

## Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad de Guanajuato por las becas a los alumnos participantes en el verano científico 2024, Se agradece el apoyo al CIIC-36/2024 UG.

## Referencias

- 1.- *Gutierrez J. C., Toscano J. D., Lopez M. & Coria V. R.*, Aptamers coupled to nanoparticles in the diagnosis and treatment of microbial infections. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica* (2020). 38(7), pp. 331-337.
- 2.- Un. Haleem, M. Javaid, R.P. Singh, S. Rab, R. Suman  
Aplicaciones de la nanotecnología en el campo de la medicina: una breve revisión  
*Glob. Salud J*, 7 (2) (2023), pp. 70-77
- 3.- Wadia A. A. & Owais, M., Antibacterial and cytotoxic potency of the plant-mediated synthesis of metallic nanoparticles Ag NPs and ZnO NPs: A review, *OpenNano*,8(2022).
- 4.- González J. A. & García A., Silver nanoparticles as antibacterial agents in bone tissue infections, *FarmaJournal*, 5(2020).
- 5.- Jyothi K. A., Applications of biogenic silver nanocrystals or nanoparticles as bactericide and fungicide, *Industrial Applications of Nanocrystals*, (2022):335-352.
- 6.- Salas O.M.F., Lorenzo L.A.C., Alba M. I., Patiño M.N., Casillas S. M. A. & Bach H., Mechanism of escape from the antibacterial activity of meal-based nanoparticles in clinically relevant bacteria: A systematic review, *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 55(2024).
- 7.- M. Fan, J. Si, X. Xu, L. Chen, J. Chen, C. Yang, *et al.* Un nanogel de quitosano versátil capaz de generar AgNPs in situ y de liberación lenta de Ag de acción prolongada para un antibacteriano altamente eficiente *Polímeros de carbohidratos*, 257 (2021), artículo 117636
- 8.- R.G. Haverkamp, A.T. Marshall  
El mecanismo de formación de nanopartículas metálicas en las plantas : límites de acumulación  
*Revista de Investigación de Nanopartículas*, 11 (2009), pp. 1453-1463
- 9.- Cardoso C. P., Nanopartículas de plata: obtención, utilización como antimicrobiano e impacto en el área de la salud, *Revista Hospital de Niños (B. Aires)* 2016;58(260):19-28
- 10.- Ali Y. A., Umar K. & Mohamad I. N., Silver nanoparticles: various methods of synthesis, size affecting factors and their potential applications-a review, *Applied Nanoscience*, 10(2020), 1369–1378.
- 11.- Dargo B. H., Ayaliew W. A., Kassa B. H. & Gebregergs A. T., Synthesis paradigm and applications of silver nanoparticles (AgNPs), a review, *Sustainable Materials and Technologies*, 13(2017), 18-23.
- 12.- An J., Tang B., Zheng X., Zhou Ji., Dong F., Xu S., Wang Y., Zhao B. & Xu W., Sculpturing Effect of Chloride Ions in Shape Transformation from Triangular to Discal Silver Nanoplates, *J. Phys. Chem*, (2008), 112, 15176-15182.

- 13.- Krajczewski J., Joubert V. & Kudelski A., Light-induced transformation of citrate-stabilized silver nanoparticles: Photochemical method of increase of SERS activity of silver colloids, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 456(2014), 41-48.
- 14.- Krajczewski J., Kolataj K., Parzyszek S., Abdulrahman H. B. & Kudelski A., The role of oxygen in plasmon-driven transformation of silver nanoparticles, *Applied Surface Science*, 388(2016), 710-715.
- 15.- Oh H., Lee J. & Lee M., Transformation of silver nanowires into nanoparticles by Rayleigh instability: Comparison between laser irradiation and heat treatment, *Applied Surface Science*, 427(2018), 65-73.
- 16.- Ortiz J. O., Trejo D. M., Alvarado M. E., Vazquez A. & Castellanos A. J. E., Study of Photo-transformation of Ag Nanoparticles Under Green LEDs Light Source and their Changes Induced by Z-scan Technique, *Current Nanoscience*, (2023),19, 736-744.