# Espacio cromático de coloides de plata

(Chromatic space of silver colloids)

R. Sato Berrú<sup>1</sup>, E. Mejía Uriarte<sup>2</sup>, A. Vázquez Olmos, M. E. Mata Zamora, Y. Almanza Arjona Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, CDMX, México <sup>1</sup>roberto.sato@icat.unam.mx, <sup>2</sup>elsi.mejia@icat.unam.mx

# Resumen

En este trabajo, se muestra la posibilidad de estimar la forma y tamaño de nanopartículas de plata mediante el uso de la técnica colorimétrica. Por un lado, se reporta una serie de resultados en los cuales se puede visualizar el efecto de la luz en la formación controlada de nanopartículas de plata, exhibiendo así, un método de síntesis alternativo, simple, escalable y económico. Por otro lado, de igual importancia, se plantea el uso del espacio cromático como un medio de caracterización sencillo y rápido. Este método se basa en un estudio previo donde se ha hecho la correlación directa entre cada color y la señal plasmónica del coloide de plata con la estimación de la forma y el tamaño de las nanopartículas de plata.

**Palabras clave:** nanopartículas de plata, técnica colorimétrica, señal plasmónica, coloides de plata, foto-reducción

# Abstract

Herein we present the possibility to estimate the shape and size of silver nanoparticles (NPs) by the colorimetric technique. On the one hand, we report results that show the effect of light on the controlled formation of silver nanoparticles. This is a simple alternative method to produce NPs in a cheap and scalable way. On the other hand, we suggest using the chromatic space as a fast and simple characterization media. This second method is based on a previous study, where we made the direct correlation between each color and the plasmonic signal of the silver colloid, with an estimation of the shape and size of the silver nanoparticles.

*Keywords*: Silver nanopartitles, Colorimetric technicque, plasmonic signal, silver colloids, photo-reduction.

# Introducción

Hoy en día, la nanociencia es una de las áreas de investigación de más rápido crecimiento. La nanociencia es el estudio de las pequeñas cosas y tiene un carácter interdisciplinario [1,2]. Los nanomateriales se utilizan ampliamente en varias áreas debido a sus notables propiedades ópticas, conductoras térmicas y eléctricas, todas las cuales muestran su papel vital en la industria de la fotónica, la microelectrónica, la catálisis y en las interacciones con sistemas biológicos [3-6]. Las nanopartículas de plata (NP-Ag) con diferentes morfologías, incluidas las esféricas, hexagonales, triangulares, en cubos, decaedros y en forma de alambre, han mostrado excelentes propiedades antibacterianas, antifúngicas y antivirales contra una amplia gama de patógenos [7-13]. Además, tiene aplicaciones, para nuestro interés, en la técnica de dispersión Raman mejorada en superficie (SERS) para mejorar las señales Raman de diversos analitos de estudio [14-19].

Existen varios métodos de síntesis física y química para obtener NP de plata con tamaño y morfología uniformes, estos incluyen principalmente el método de reducción química, fotoquímica, térmica, biológica, electroquímica, ultrasónica o de microondas. [20-33]. Entre estos métodos, el método fotoquímico es una ruta fácil y ha recibido mucha atención debido a su proceso simple y controlable con alto rendimiento y eficiencia [34]. El enfoque de fotoinducción es una ruta de síntesis eficaz para la síntesis de nanoprismas de plata, que fue informado por primera vez por Mirkin, *et al.* [35] y posteriormente por otros investigadores [36-38]. La metodología de síntesis de tamaño y forma controlada de los NP de plata sigue siendo un tema de gran interés. Por ello, muchos grupos de investigación buscan procesos de preparación más sencillos, así como una caracterización rápida y sencilla de los mismos.

La caracterización típica de las NPs es mediante técnicas de microscopía electrónica de trasmisión y de barrido (HRTEM y SEM, por sus siglas en inglés). Sin embargo, estas técnicas no están disponibles en la mayoría de las instituciones de investigación. En nuestro caso, hemos tenido problemas para llevar a cabo una caracterización completa de una gran cantidad de coloides que hemos sintetizado [39,40]. Sin embargo, con los resultados obtenidos hasta el momento, con varios coloides de nanopartículas de Ag con diferentes respuestas plasmónicas (cada una con un color característico), nos ha permitido demostrar que sí es posible caracterizar coloides de plata utilizando la técnica colorimétrica.

#### Sección experimental

*Fuentes para la fotoreducción:* Se usan seis gabinetes en los que se acondiciona un arreglo de fuentes de luz. Para ello se usaron ocho lámparas LED de uso doméstico, arregladas en una configuración circular en cuya zona central se coloca la muestra [41]. Las emisiones están en los siguientes intervalos de longitudes de onda: desde 440 a 650 nm (luz blanca), desde 445 a 470 nm y 645 a 715 nm (luz morada), desde 445 a 480 nm (luz azul), desde 495 a 595 nm (luz verde), desde 520 a 645 nm (luz amarilla) y desde 600 a 675 nm (luz roja). Cada uno con aproximadamente 5520 lúmenes de intensidad.

*Síntesis de nanopartículas:* Se prepararon disoluciones acuosas de nitrato de plata (AgNO<sub>3</sub>, 10 mM), citrato de sodio (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>Na<sub>3</sub>, 100 mM) y borohidruro de sodio (NaBH<sub>4</sub>, 100 mM) a temperatura ambiente. El procedimiento a seguir para modular la concentración final se describe brevemente como sigue: en un volumen inicial de 20 mL de agua desionizada se agrega un volumen conocido (del orden de  $\mu$ L) de cada una de las disoluciones anteriores. El orden en el que se agregan es el siguiente: citrato de sodio (10<sup>-3</sup>, 10<sup>-4</sup> o 10<sup>-5</sup> M), luego borohidruro de sodio (10<sup>-3</sup>, 10<sup>-4</sup> o 10<sup>-5</sup> M) y finalmente el nitrato de plata (10<sup>-4</sup> M), entre paréntesis se indica la concentración final, respectivamente para cada componente. Con esto se obtiene una gama de diferentes concentraciones; las cuales son agitadas por 10 min y luego son expuestas a las fuentes de luz con diferentes tiempos de exposición (del orden de horas). El proceso de foto-reducción para obtener los coloides se lleva a cabo sin agitación.

#### Técnica colorimétrica:

En 1931, el CIE (Comisión Internacional de la Iluminación) definió un observador estándar que tiene las funciones de coincidencia de colores,  $\bar{x}\lambda$ ,  $\bar{y}\lambda$ ,  $\bar{z}\lambda$ , a partir de las cuales se calculan los valores de triestímulo XYZ [42]. En donde, estos valores forman el espacio de color CIE: Yxy. En este espacio de color bidimensional, la luminosidad Y (claridad) es independiente, y tiene el propósito de definir claramente un color. En el espacio de color Yxy, la Y determina la luminosidad, mientras que "x" e "y" son las coordenadas de color que describen la ubicación del color en el diagrama de cromaticidad del CIE. En este diagrama, los colores acromáticos (sin color) se dirigen hacia el centro, mientras que los colores cromáticos se dirigen hacia el borde del diagrama, los cuales corresponden a los colores puros del espectro visible. Los valores de triestímulo pueden ser calculados al multiplicar el iluminante D65 por las funciones de coincidencia de color y por el espectro de transmitancia a través de las siguientes relaciones:

$$X = k \sum_{400}^{700} S \lambda P \lambda \bar{x} \lambda \qquad \qquad Y = k \sum_{400}^{700} S \lambda P \lambda \bar{y} \lambda \qquad \qquad Z = k \sum_{400}^{700} S \lambda P \lambda \bar{z} \lambda \qquad (1)$$

Donde XYZ son los valores triestímulos a 2°, S son los datos de transmitancia para el iluminante a 2°, P son los datos de transmitancia para el coloide evaluado,  $\bar{x}\lambda$ ,  $\bar{y}\lambda$ ,  $\bar{z}\lambda$  son las funciones de coincidencia de color para 2° y k es el factor de normalización para cada iluminante en función del observador aplicado en el cálculo:  $k = 100/\sum_{400}^{800} S\lambda\bar{y}\lambda$ .

Para obtener las coordenadas cromáticas (x, y, z) aplicamos las siguientes fórmulas:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \qquad \qquad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \qquad \qquad z = \frac{Z}{X + Y + Z},$$
(2)

Donde x, y, z son las coordenadas de color.

# Fundamento de la técnica propuesta

La resonancia de plasmón de superficie es una oscilación colectiva de las cargas en la banda de conducción, cerca de la superficie de la nanopartícula. Las cargas se limitan a modos de vibración específicos según el tamaño y la forma de las partículas. Por lo cual, las nanopartículas metálicas tienen espectros de absorción ópticas características en la región del visible. El valor de resonancia del plasmón está relacionado con el tamaño y la forma de la partícula, tal y como se mostró en los resultados de nuestro trabajo [41]. Por otra parte, las aplicaciones colorimétricas en los nanomateriales se basan en un acoplamiento cuantitativo entre las nanopartículas metálicas y los analitos, lo que da como resultado un cambio drástico en las propiedades fotónicas; por ejemplo podemos ver cambios de color de amarillo a rojo en el caso de las nanopartículas de plata. Es importante destacar que las nanopartículas de plata exhiben coeficientes de extinción y propiedades ópticas muy altos en la región visible, que pueden asociarse con cambios en su tamaño y forma, y que podrían ser observadas a simple vista. Con la técnica colorimétrica, el color se mide de manera objetiva y por lo tanto, la percepción visual del color puede simularse con la mayor precisión posible. Las funciones colorimétricas (x, y, z e Y) se adquieren a partir de señales de transmitancia. Recordando,

que un espectrofotómetro adquiere el espectro en el intervalo visible (400 - 800 nm) de una muestra con un iluminante conocido; luego, los valores de triestímulo XYZ pueden calcularse mediante el producto de los valores de transmitancia del objeto, del espectro del iluminante y del valor estándar del observador (CIE). Como se describió anteriormente, los valores (x, y) muestran la posición y el color que han adquirido los coloides como se muestra en la Figura 1 [41].



**CIE Chromaticity Diagram** 

Figura 1: Diagrama de cromaticidad que contiene las coordenadas colorimétricas asociadas con los coloides de plata. Se muestran trece coloides en círculos rojos; los cuales se describen en nuestro trabajo [41].

En la Tabla 1 se presenta la correlación entre el color del coloide, los datos colorimétricos, se indica la morfología evaluada mediante las micrografías tomadas por STEM y la ubicación del máximos del plasmón observado por espectroscópica UV-vis. El valor Y representa la luminancia del coloide, los valores altos (cercanos a 100) representan tonos claros y los valores bajos (cercanos a 1) representan tonos oscuros. En particular, los coloides amarillos se asociaron a nanopartículas esféricas; los coloides verdes a nanopartículas triangulares; los coloides azules a nanopartículas triangulares con puntas redondeadas y los coloides anaranjados se asociaron a nanopartículas hexaédricas. En nuestra investigación, el valor de "Y" nos da información sobre el tamaño de las nanopartículas, es decir: valores bajos (coloides oscuros) se asociaron con partículas grandes, mayores a 60 nm; los valores altos (coloides claros) se asociaron con partículas pequeñas, menores de 15 nm.

| Posición | Color            | Date<br>x | os colo<br>y | rimétri<br>z | cos<br>Y | Forma      | Tamaño<br>(nm) | Plasmón<br>(nm) |
|----------|------------------|-----------|--------------|--------------|----------|------------|----------------|-----------------|
| 1        | azul             | 0.17      | 0.15         | 0.68         | 4        | triangular | < 50           | 595             |
| 2        | cian             | 0.19      | 0.30         | 0.51         | 19       | triangular | 50             | 645             |
| 3        | púrpura          | 0.21      | 0.14         | 0.65         | 3        | triangular | 70             | 555             |
| 4        | azul claro       | 0.26      | 0.28         | 0.45         | 25       | triangular | > 50           | 767             |
| 5        | verde-azul       | 0.26      | 0.36         | 0.37         | 29       | triangular | 50             | 415, 649        |
| 6        | verde oscuro     | 0.28      | 0.38         | 0.33         | 8        | triangular | > 50           | 442, 637        |
| 7        | violeta claro    | 0.30      | 0.27         | 0.43         | 25       | triangular | < 15           | 552             |
| 8        | amarillo claro   | 0.32      | 0.33         | 0.35         | 57       | esferoidal | 20             | 487             |
| 9        | verde oscuro     | 0.35      | 0.43         | 0.21         | 15       | triangular | 60             | 402, 768        |
| 10       | amarillo-naranja | 0.36      | 0.35         | 0.28         | 32       | esférica   | 20             | 399             |
| 11       | amarillo oscuro  | 0.39      | 0.40         | 0.21         | 19       | triangular | 80             | 472, 738        |
| 12       | naranja oscuro   | 0.41      | 0.29         | 0.30         | 8        | hexahedral | 60             | 490, 569        |
| 13       | naranja          | 0.48      | 0.38         | 0.14         | 21       | hexahedral | 60             | 488             |

Tabla 1. Correlación entre color, datos colorimétricos, morfología, tamaño y señal espectroscópica [41].

A continuación, en la Tabla 2 se muestran las fotografías de 169 coloides previamente centrifugados, sus respuestas plasmónicas y los datos colorimétricos. Aquí P1, P2, P3, P4 y P5 son coloides centrifugados de 5000 a 25000 rpm, progresivamente. Los cuales fueron ordenados en el sentido y respecto a lo ejes definidos en la referencia [41].



Tabla 2. Coloides de plata con sus señales espectroscópicas y datos colorimétricos.























































































\*con estrellas, coloides con imágenes STEM.

\*con estrella y en negro, coloides presentados en la referencia 41.

# Conclusiones

El proceso de foto-reducción y posterior agregación de las nanopartículas de plata puede ser aplicado para controlar el crecimiento y la forma de las nanopartículas al elegir la concentración de las diluciones, longitud de onda adecuada y tiempo de exposición de la luz. Este método tiene una aplicabilidad razonable, escalable, económica y práctica. Además, también podría ser usado para generar otros nanomateriales. Por otro lado, nosotros creemos que es posible realizar una clasificación rápida de los coloides de plata mediante la técnica colorimétrica.

Agradecimientos: PAPIIT: IN102917 (UNAM). Laboratorio Universitario de Caracterización Espectroscópica (LUCE-ICAT-UNAM). Laboratorio Nacional de Nanotecnología (NANOTECH), Chihuahua-México.

# **Referencias:**

- G.A. Mansoori, "An Introduction to Nanoscience & Nanotechnology", Chapter 1, Nanoscience and Plant-Soil Systems, M. Ghorbanpour, K. Manika, A. Varma (Ed's), Springer Soil Biology Series, 48 (2017) 1-20. DOI: 10.1007/978-3-319-46835-8, ISBN: 978-3-319-46833-4 (Print), 978-3-319-46835-8 (Online).
- [2] S. Bayda, M. Adeel, T. Tuccinardi, M. Cordani, F. Rizzolio, "The History of Nanoscience and Nanotechnology: from chemical-physical applications to nanomedicine", Molecules, 25 (2020) 112. doi:10.3390/molecules25010112.
- [3] A. Albanese, P.S. Tang, W.C.W. Chan, "The effect of nanoparticle size, shape, and surface chemistry on biological systems". Annu. Rev. Biomed. Eng. 14 (2012) 1–16. doi:10.1146/annurev-bioeng-071811-150124
- [4] I. Brigger, C. Dubernet, P. Couvreur, "Nanoparticles in cancer therapy and diagnosis", Adv. Drug Deliv. Rev. 64 (2012) 24-36. doi:10.1016/s0169-409x(02)00044-3. PMID: 12204596
- [5] D. Vollath, "Nanomaterials: An Introduction to synthesis, properties and applications", Second Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. 12, 69469
   Weinheim, Germany, (2013) 205-267. ISBN: 978-3-527-67187-8
- [6] T. Joshi, C. Mamat, H. Stephan, "Contemporary synthesis of ultrasmall (sub-10nm) upconverting nanomaterials, ChemistryOpen, 9 (2020) 703–712. doi:10.1002/open.202000073
- [7] S. Rajeshkumar, C. Malarkodi, K. Paulkumar, M. Vanaja, G. Gnanajobitha, G. Annadurai, "Algae mediated green fabrication of silver nanoparticles and examination of its antifungal activity against clinical pathogens", Int. J. Metals, 2014 (2014) 1-8. doi.org/10.1155/2014/692643
- [8] T. Kathiraven, A. Sundaramanickam, N. Shanmugam, T. Balasubramanian, "Green synthesis of silver nanoparticles using marine algae Caulerpa racemosa and their antibacterial activity against some human pathogens, Appl. Nanosci. 5 (2015) 499-504. doi.org/10.1007/s13204-014-0341-2
- [9] G. Franci, A. Falanga, S. Galdiero, L. Palomba, M. Rai, G. Morelli, M. Galdiero, "Silver nanoparticles as potential antibacterial agents", Molecules, 20 (2015) 8856-8874. doi:10.3390/molecules20058856

- [10] A. Cristina Burduşel, O. Gherasim, A. Mihai Grumezescu, L. Mogoantă, A. Ficai, E. Andronescu, "Biomedical applications of silver nanoparticles: An Up-to-Date Overview", Nanomaterials, 8 (2018) 1-25. doi:10.3390/nano8090681
- [11] S. Agrawal, M. Bhatt, S. Kumar Rai, A. Bhatt, "Silver nanoparticles and its potential Applications", Review, 7 (2018) 930-937. doi:10.3390/nano8090681
- [12] M. Khatami, I. Sharifi, M.A.L. Nobre, N. Zafarnia, M.R. Aflatoonian, "Waste-grassmediated green synthesis of silver NPs and evaluation of their anticancer, antifungal and antibacterial activity", Green Chem. Lett. Rev. 11 (2018) 125-134. https://doi.org/10.1080/17518253.2018.1444797
- [13] J. Lu, S. Zhang, S. Gao, P. Wang, P.L. Bond, J. Guo, "New insights of the bacterial response to exposure of differently sized silver nanomaterials", Water Research, 169 (2020) 115205. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115205
- [14] B. Han, Y.L. Zhang, L. Zhu, X.H. Chen, Z.C. Ma, X.L. Zhang, J.N. Wang, W. Wang, Y.Q. Liu, Q.D. Chen, H.B. Sun, "Direct laser scribing of AgNPs@RGO biochip as a reusable SERS sensor for DNA detection", Sens. Actuators B Chem. 270 (2018) 500-507. https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.05.043
- [15] H. Shen, K. Xie, L. Huang, L. Wang, J. Ye, M. Xiao, L. Ma, A. Jia, Y. Tang, "A novel SERS-based lateral flow assay for differential diagnosis of wild-type pseudorabies virus and gE-deleted vaccine", Sens. Actuators B Chem. 282 (2019) 152-157. https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.11.065
- [16] P. Reokrungruang, I. Chatnuntawech, T. Dharakul, S. Bamrungsap, "A simple paperbased surface enhanced Raman scattering (SERS) platform and magnetic separation for cancer screening", Sens. Actuators B Chem. 285 (2019) 462-469. https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.01.090
- [17] M. Liszewska, B. Bartosewicz, B. Budner, B. Nasiłowska, M. Szala, J.L. Weyher, I. Dzięcielewski, Z. Mierczyk, B.J. Jankiewicz, "Evaluation of selected SERS substrates for trace detection of explosive materials using portable Raman systems", Vib. Spectrosc. 100 (2019) 79-85. https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2018.11.002
- [18] J. Tang, W. Chen, H. Ju, "Rapid detection of pesticide residues using a silver nanoparticle coated glass bead as nonplanar substrate for SERS sensing", Sens. Actuators B Chem. 287 (2019) 576-583. https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.02.084

- [19] R. Haldavnekar, K. Venkatakrishnan, B. Tan, "Next generation SERS- atomic scale platform for molecular level detection", Applied Materialstoday 18 (2020) 100529. https://doi.org/10.1016/j.apmt.2019.100529
- [20] J.P. Abid, A.W. Wark, P.F. Brevet, H.H. Girault, "Preparation of silver nanoparticles in solution from a silver salt by laser irradiation", Chem. Commun. 79 (2002) 2–79. https://doi.org/10.1039/B200272H
- [21] Y. Sun, B. Mayers, T. Herricks, Y. Xia, "Polyol synthesis of uniform silver nanowires: a plausible growth mechanism and the supporting evidence", Nano Lett. 3 (2003) 955– 960. https://doi.org/10.1021/nl034312m
- [22] Y. Sun, B. Mayers, Y. Xia, "Transformation of silver nanospheres into nanobelts and triangular nanoplates through a thermal process", Nano Letters, 3 (2003) 675-679. https://doi.org/10.1021/nl034140t
- [23] R. Jin, Y.C. Cao, E. Hao, G.S. Metraux, G.C. Schatz, C.A. Mirkin, "Controlling anisotropic nanoparticle growth through plasmon excitation", Nature, 425 (2003) 487-490. https://doi.org/10.1038/nature02020
- [24] Z.S. Pillai, P.V. Kamat, "What factors control the size and shape of silver nanoparticles in the citrate ion reduction method?", J. Phys. Chem. B, 108 (2004) 945–951. https://doi.org/10.1021/jp037018r
- [25] D.D. Evanoff, G. Chumanov, "Synthesis and optical properties of silver nanoparticles and arrays", ChemPhysChem. 6 (2005) 1221–1231. doi: 10.1002/cphc.200500113.
   PMID: 15942971
- [26] B. Wiley, Y. Sun, Y. Xia, "Synthesis of silver nanostructures with controlled shapes and properties", Acc. Chem. Res. 40 (2007) 1067–1076. https://doi.org/10.1021/ar7000974
- [27] J. An, B. Tang, X. Zheng, J. Zhou, F. Dong, S. Xu, Y. Wang, B. Zhao, W. Xu, "Sculpturing effect of chloride ions in shape transformation from triangular to discal silver nanoplates", J. Phys. Chem. C, 112 (2008) 15176-15182. https://doi.org/10.1021/jp802694p
- [28] B.H. Lee, M.S. Hsu, Y.C. Hsu, C.W. Lo, C.L. Huang, "A facile method to obtain highly stable silver nanoplate colloids with desired surface plasmon resonance wavelengths", J. Phys. Chem. C, 114 (2010) 6222-6227. https://doi.org/10.1021/jp910100k.

- [29] K. Fuku, R. Hayashi, S. Takakura, T. Kamegawa, K. Mori, H. Yamashita, "The synthesis of size- and color-controlled silver nanoparticles by using microwave heating and their enhanced catalytic activity by localized surface plasmon resonance", Angew. Chem. Int. Ed. 52 (2013) 7446–7450. https://doi.org/10.1002/anie.201301652
- [30] A. Kumar Mittal, Y. Chisti, U. Chand Banerjee, "Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts", Biotechnol. Adv. 31 (2013) 346-356. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.01.003
- [31] E. Abbasi, M. Milani, S. Fekri Aval, M. Kouhi, A. Akbarzadeh, H. Tayefi Nasrabadi,
  P. Nikasa, S. Woo Joo, Y. Hanifehpor, K. Nejati-Koshki, M. Samiei, "Silver nanoparticles: synthesis methods, bio-applications and properties", Crit. Rev. Microbiol. 42 (2016) 173-180. doi:10.3109/1040841X.2014.912200
- [32] S. Verma, B. Tirumala Rao, A.P. Srivastava, D. Srivastava, R. Kaul, B. Singh, "A facile synthesis of broad plasmon wavelength tunable silver nanoparticles in citrate aqueous solutions by laser ablation and light irradiation", Colloids Surf. A: Physicochemical and Engineering Aspects, 527 (2017) 23-33. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.05.003
- [33] A.A. Ramanathan, M.W. Aqra, "An overview of the green road to the synthesis of nanoparticles", Journal of Materials Science Research and Reviews, 2 (2019) 1-11. https://journaljmsrr.com/index.php/JMSRR/article/view/28838
- [34] M. Grzelczak, L.M. Liz-Marzan, "The relevance of light in the formation of colloidal metal nanoparticles", Chem. Soc. Rev. 43 (2014) 2089. https://doi.org/10.1039/C3CS60256G
- [35] R. Jin, Y. Cao, C.A. Mirkin, K.L. Kelly, G.C. Schatz, J.G. Zheng, "Photoinduced conversion of silver nanospheres to nanoprisms", Science, 294 (2001) 1901-1903. DOI: 10.1126/science.1066541
- [36] J. Krajczewski, K. Kołataj, A. Kudelski, "Light-induced growth of various silver seed nanoparticles: A simple method of synthesis of different silver colloidal SERS substrates", Chem. Phys. Lett. 625 (2015) 84-90. https://doi.org/10.1016/j.cplett.2015.02.037.

- [37] R.Y. Sato-Berrú, A.R. Vázquez-Olmos, E.V. Mejía-Uriarte, M.E. Mata-Zamora, A. Solís-Gómez, J.M. Saniger, "Synthesis of silver colloids with a homemade light source", J. Clust. Sci. 29 (2018) 719–724. https://doi.org/10.1007/s10876-018-1392-4.
- [38] F. Félix-Domínguez, R.C. Carrillo-Torres, A. Lucero-Acuña, R. Sánchez-Zeferino, M.E. Álvarez-Ramos, "Seedless synthesis of silver nanoparticles using sunlight and study of the effect of different ratios of precursors", Mater. Res. Express, 6 (2019), Article 045067. T.H.N. Nguyen, T.D. Nguyen, M.T. Cao, V.V. Pham, "Fast and simple synthesis of triangular silver nanoparticles under the assistance of light", Colloids and Surfaces A, 594 (2020) 124659. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.124659.
- [39] L.A. Hernández-Canales, "Investigación y aplicación de nanopartículas de plata en espectroscopia Raman", Facultad de Química, UNAM. 07 December 2016. http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/VXP48TEXQK34D19JNT13L5M4FT3Y9XSDPJE PQ8PBBTCTB14EN1-02107?func=find-

b&request=Luis+Alberto+Hernandez+Canales&find\_code=WRD&adjacent=N&loca l\_base=TES01&x=0&y=0&filter\_code\_2=WYR&filter\_request\_2=&filter\_code\_3= WYR&filter\_request\_3=

 [40] A. Reyes-Gaspar, "Nano-arquitecturas Metálicas: superficies de Ag", Facultad de Química, UNAM. 22 January 2019. http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/VXP48TEXQK34D19JNT13L5M4FT3Y9XSDPJE PQ8PBBTCTB14EN1-68085?func=full-set-

set&set\_number=013731&set\_entry=000001&format=999

- [41] R.Y. Sato-Berrú, E.V. Mejía-Uriarte, A.R. Vázquez-Olmos, F. Paraguay-Delgado, "Colorimetric Research of Silver Colloids", J. Clust. Sci. (2021), 1-7. https://doi.org/10.1007/s10876-021-02119-z.
- [42] J. Schanda, "Colorimetry: Understanding the CIE system", Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2007, 27-35. ISBN 978-0-470-04904-4.