

El papel de los compuestos polifenólicos en la síntesis verde de nanopartículas metálicas

Ana Santos-Espinoza*, Federico Gutiérrez-Miceli, Víctor Ruíz-Valdiviezo, Joaquín Montes-Molina.

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Carretera panamericana km 1080, Boulevares, C.P. 29050, Chiapas, México.

**saes_am@hotmail.com*

Resumen

En esta revisión, se analizó la síntesis verde de nanopartículas metálicas, mediante el estudio de los compuestos polifenólicos de los extractos vegetales. Los productos de la naturaleza como extractos de varias plantas se han utilizado como reductores y como agentes de protección y esto es debido a la presencia de los compuestos polifenólicos que juegan un papel clave en estos procesos para obtener nanopartículas estables. Se discute la participación de los compuestos polifenólicos en los mecanismos de bio-reducción, estabilización y “bio-capping”, mediante sus propiedades y capacidad antioxidante, además se proponen extractos con potencial para la síntesis verde de nanopartículas metálicas.

Palabras clave: extractos vegetales, bioreducción, capacidad antioxidante.

Abstract

In this review, the greenest synthesis of metal nanoparticles was analyzed by studying the polyphenolic compounds of plant extracts. Nature's products as extracts from various plants have been used as reducing agents and as protective agents and this is due to the presence of polyphenolic compounds that play a key role in these processes to obtain stable nanoparticles. The participation of polyphenolic compounds in the mechanisms of bio-reduction, stabilization and “bio-capping” is discussed, through their properties and antioxidant capacity, and extracts with potential for green synthesis of metal nanoparticles are also proposed.

Key words: plant extracts, bioreduction, antioxidant capacity.

Introducción

La nanotecnología es un nuevo campo de investigación que ha ido creciendo y evolucionando desde 1980 (Shamaila et al., 2016). Esta ciencia se encarga de la creación, diseño, manipulación y control de la materia a escala nanométrica (1-100 nm), en la cual se

han combinado enfoques de ingeniería, química y recientemente la biología (Roy et al., 2013). Los elementos en su forma nanométrica o nanopartículas (NPs) muestran propiedades distintas a las que se manifiestan en la escala micro o macroscópica (Hochella et al., 2008) por lo que presentan aplicaciones

en diversas áreas. Las nanopartículas pueden sintetizarse por métodos físicos, químicos y biológicos. Por lo general, los métodos físicos y químicos se aplican ampliamente, sin embargo, los métodos físicos son muy costosos, mientras que los métodos químicos son perjudiciales para el medio ambiente y los organismos vivos (Thakkar et al., 2010; Narayanan et al., 2010). Aunado a esto, numerosos estudios han discutido la toxicidad de diferentes tipos de nanopartículas (Durnevet, 2007; Vijayaraghavan et al., 2010; Roy et al., 2013) por lo que los avances recientes realizados en el campo de la nanotecnología buscan hacer a las nanopartículas menos tóxicas y más aplicables. La síntesis verde de nanopartículas es uno de esos enfoques. La revisión tiene por objetivo analizar el papel de los compuestos polifenólicos sobre los mecanismos de reducción y estabilización durante la síntesis e identificar los extractos vegetales con potencial para la síntesis verde de nanopartículas.

Síntesis verde de nanopartículas

La síntesis biológica o también conocida como “síntesis verde” es el campo de la fabricación de nanopartículas mediante la utilización de sistemas biológicos como levaduras, hongos, bacterias y extractos de plantas (Wang et al., 2019). La utilización de extractos vegetales es una de las técnicas más populares y que ha cobrado mayor importancia recientemente debido a la facilidad de obtención de la materia, a la

seguridad en su manejo, a que presentan disponibilidad de una amplia gama de metabolitos y minimizan el desperdicio y los costos de energía (Kalaiarasi, 2010), es por ello, que esta tecnología se considera la más limpia.

Para llevar a cabo la síntesis de nanopartículas metálicas, es necesario una solución metálica de interés y un extracto acuoso con alto contenido de compuestos polifenólicos debido a que estos son los principales compuestos que participan en los mecanismos de bio-reducción, estabilización y bio-protección para formar nanopartículas estables (Huang et al., 2007). Estas nanopartículas dan como resultado una toxicidad significativamente baja y por ende, presentan mayores oportunidades de aplicación en diversas áreas incluyendo a la medicina y agricultura. Los extractos vegetales que se han usado como agentes reductores y estabilizadores para la formación de nanopartículas metálicas se resumen en la Tabla 1.

Artículos

Tabla 1. Nanopartículas producidas usando extractos vegetales que contienen polifenoles involucrados en la bio-reducción.

Planta	NPs verdes	Tamaño (nm)	Moléculas involucradas en la reducción	Referencias
<i>Acalypha indica</i>	Ag	20-30	Quercetina	Krishnaraj et al., (2010)
<i>Apiin</i>	Ag	39	---	Kasthuri et al., (2009)
<i>Alternanthera sessilis</i>	Ag	40	Grupo carboxilo	Niraimathi et al., (2012)
<i>Andrographis paniculata</i>	Ag	67–88	Alcaloides y flavonoides	Suriyakalaa et al., (2013)
<i>Cinnamon zeylanicum</i>	Ag	45	----	Sathishkumar et al., (2009)
<i>Mentha piperita</i>	Au	150	Mentol	MubarakAli et al., (2011)
<i>H. canadensis</i>	Ag	113	Fenoles	Das et al., (2011)
<i>Jatropha curcas</i>	Ag	10-20	---	Bar et al., (2009)
<i>Euphorbia prostrata</i>	Ag	52	polifenoles	Zahir y Rahuman (2012)
<i>Caria papaya</i>	Ag	15	Hidroxil flavonas, catequinas	Jain et al., (2009)
<i>Justicia spicigera</i>	Ag, Cu, Ag-Cu	32-46	---	Bernardo-Mazariegos et al., (2018)
<i>Cassia fistula</i>	Au	55-98	Grupo hidroxilo	Daisy et al., (2012)
<i>Citrullus colocynthis</i>	Ag	5–70	Polifenoles	Satyavani et al., (2011)
<i>Medicago Sativa</i>	Fe	2-10	---	Herrera-Becerra et al., (2008)
<i>Green Tea</i>	nZVI	20-40	---	Kuang et al., (2013)
<i>Iresine herbstii</i>	Ag	44-64	Compuestos fenólicos	Dipankar et al., (2012)
<i>Camellia sinensis</i>	nZVI	5-15	---	Mystrioti et al., (2016)
<i>Tinospora cordifolia</i>	Ag	34	Compuestos fenólicos	Jayaseelan et al., (2011)
<i>Terminalia chebula</i>	Ag	25	---	Edison y Sethuraman (2012)
<i>Melia azedarach</i>	Ag	78	Ácido tánico, polifenoles	Sukirtha et al., (2012)
<i>Phyllanthus niruri</i>	TiO ₂	32	Grupos carboxílicos	Shanavas et al., (2019)
<i>Trigonella-foenum graecum</i>	Au	15-25	Flavonoides	Aromal et al., (2012)

--- Molécula no identificada

Propiedades de los compuestos polifenólicos

Los polifenoles son un grupo de sustancias químicas encontradas en las plantas. Existen varias clases y subclases de polifenoles que se definen en función del número de anillos fenólicos que poseen y de los elementos estructurales que presentan estos anillos. Los principales grupos de polifenoles son: ácidos fenólicos (derivados del ácido hidroxibenzoico o del ácido hidroxicinámico), estilbenos, lignanos, alcoholes fenólicos y flavonoides (Figura 1).

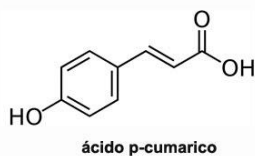
Los polifenoles exhiben una amplia gama de propiedades, dependiendo de sus estructuras particulares, pero las propiedades fundamentales que subyacen a su actividad son:

- La actividad reductora, que gobierna sus propiedades antioxidantes y su sensibilidad a la oxidación.
- Las propiedades de unión, que se atribuyen a sus actividades quelantes de metales.
- Las propiedades fisicoquímicas de los polifenoles, especialmente su reactividad química y transformaciones, tienen implicaciones potenciales en el campo de la nanotecnología como es la fabricación de nanopartículas, debido a que los polifenoles tienen la capacidad de transferir electrones y/o átomos de hidrógeno durante la neutralización de radicales libres (Brewer, 2011; Ndhlala, 2010).

Derivados del ácido hidroxibenzoico



Derivados del ácido hidroxicinámico

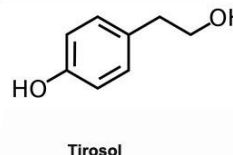


Derivados del ácido hidroxibenzoico

Estilbenos

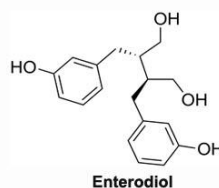


Alcoholes fenólicos



Derivados del ácido hidroxicinámico

Lignanos



Flavonoides

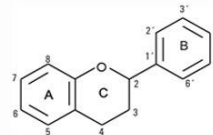


Figura 1. Estructura de los principales grupos de polifenoles.

Como se conoce comúnmente, la capacidad antioxidante y reductora de los compuestos fenólicos depende del número de grupos hidroxilo en la estructura del anillo y sus disposiciones. Una posición orto de los grupos hidroxilo confiere una alta estabilidad al radical formado después del proceso de neutralización radical (Cuvelier et al., 1992) por ende los compuestos polifenólicos con estas características son sumamente importantes a considerar en la síntesis verde para obtener nanopartículas más estables.

Sun et al., (2014) demostraron que nanopartículas de plata (AgNPs) obtenidas por síntesis verde presentaron mayor estabilidad que los preparados por diferentes procesos como AgNPs recubiertos con PVA, AgNPs sin recubrir y AgNPs comerciales, esto mediante una prueba de liberación de iones de plata de las nanopartículas, en la cual la tasa de liberación de iones de plata más baja la encontraron en nanopartículas sintetizadas con extracto de té. La razón de esto es porque la superficie de AgNPs de síntesis verde se encontraba suficientemente cubierta por los grupos del extracto de té, grupos como carboxilo, fenoles, hidroxilos etc., estos grupos funcionales de los compuestos polifenólicos inhiben la disolución de AgNPs por oxígeno para liberar los iones de plata (Adegboyega et al., 2013). Además, los iones de plata liberados podrían volver a reducirse a AgNPs debido a los diversos grupos

funcionales de los polifenoles y su gran capacidad reductora.

De acuerdo, a la literatura se conoce que cuanto mayor sea el número de grupos hidroxilo, mejores serán sus propiedades antioxidantes de los polifenoles (Villano et al., 2005). La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos está bien relacionada con el potencial de reducción. Butkovic et al. (2004), observaron la correlación lineal entre los potenciales de reducción de los flavonoides y el logaritmo de las constantes de velocidad para la reacción con los radicales DPPH. Cuanto menor es el potencial de reducción, más probable es que la molécula done su electrón al radical. Por ejemplo, en la Tabla 2 se muestran valores de los potenciales de reducción para algunos compuestos polifenólicos, los compuestos con bajos potenciales de oxidación ($E_{pa} < 0.45$ V) muestran la actividad antioxidante, mientras que aquellos con los altos valores de E_{pa} (> 0.45 V) actúan como prooxidantes (Simic et al., 2007). Un análisis estructural de los compuestos fenólicos confirma que la sustitución múltiple de OH y la conjugación de compuestos tienen un impacto en el perfil electroquímico. La presencia de un segundo grupo hidroxilo en el anillo de benceno da como resultado una reducción considerable de los valores de E_{pa} (kaempherol y quercetina en la Tabla 2), la introducción de un grupo metoxi en lugar de un grupo hidroxilo en la posición meta desplaza el E_{pa} hacia un

valor más positivo (ácidos ferúlico y cafeico en la Tabla 2) (Sousa et al., 2004; Trabelsi et al., 2004).

Tabla 2. Valores de potencial de reducción para compuestos fenólicos.

Compuestos fenólicos	Epa [V]*	Referencia
Miricetina	0.20	Freeman et al., (2010)
Quercetina	0.29	Freeman et al., (2010)
Ácido cafeico	0.31	Sousa et al., (2004)
Catequina	0.36	Butkovic et al., (2004)
Ácido clorogénico	0.39	Sousa et al., (2004)
Kaempferol	0.39	Butkovic et al., (2004)
Fisetina	0.39	Gil & Couto, (2013)
Luteolin	0.41	Freeman et al., (2010)
Ácido ferúlico	0.53	Sousa et al., (2004)
Ácido p-cumárico	0.59	Freeman et al., (2010)
Hesperetina	0.72	Freeman et al., (2010)
Naringenina	0.76	Freeman et al., (2010)

Participación de los polifenoles en la síntesis de nanopartículas metálicas

En la Figura 2 se muestra una representación esquemática de la participación de grupos fenólicos (R-OH), el mecanismo de reducción del ion metálico y la formación de nanopartículas, esta reducción se realiza mediante la presencia de grupos funcionales de los compuestos polifenólicos de los extractos de plantas. Este proceso se realiza en tres niveles: fase de activación, fase de crecimiento y fase de terminación. En la primera fase, los iones metálicos se recuperan de la sal deshidratada por la acción de

Uno de los factores que regula la síntesis de nanopartículas metálicas de

compuestos polifenólicos que tienen capacidad de reducción (el enol de los compuestos flavonoides y fenólicos puede liberar los electrones al romper el enlace O-H y el electrón liberado puede usarse para reducir los iones metálicos es decir se cambian a estados de valencia cero). Las formas enol se convierten en quinonoides estables mediante dos estructuras resonantes, posteriormente se produce la nucleación de los átomos metálicos reducidos en la fase de crecimiento, y en la fase de terminación se obtiene la forma final de las nanopartículas.

acuerdo con Haverkamp y Marshall (2008) para la transformación biológica, es el

Artículos

potencial redox (potencial de reducción electroquímico estándar) de la transformación del ion del elemento a su forma de valencia cero (ejemplo de Ag^+ a Ag^0), es un factor importante a considerar, y está limitada según los autores a valores mayores a 0 Voltios (V) (potencial electroquímico relativo a un electrodo estándar de hidrógeno) y por lo tanto incluye solamente a elementos como el Au, Ag, Cu, Se, Pd, Ir, Pt, Cr, Ru. Mientras mayor sea el valor positivo de este potencial redox más fácil ocurre la biotransformación, es decir, habrá un mayor porcentaje de recuperación del elemento en su forma nanoparticulada. Otros elementos como el Zn, Ni, Pb, Tl y Cd que tienen potenciales redox menores a 0 V para la transformación de su forma iónica común a la forma con valencia cero parecen

ser susceptibles de transformarse en nanopartículas usando extractos vegetales (Kuppusamy et al., 2016).

Por lo tanto, la síntesis de nanopartículas metálicas depende del elemento metálico a utilizar y el extracto vegetal, debido a que la suma de las capacidades reductoras de estos compuestos polifenólicos encontradas en el extracto vegetal nos daría un mayor potencial reductor global quien es el responsable del mecanismo de reducción y estabilización de las nanopartículas, por ende, son los elementos más importantes durante la síntesis verde; en la Tabla 3 se presentan algunos extractos con potencial para la síntesis verde de nanopartículas.

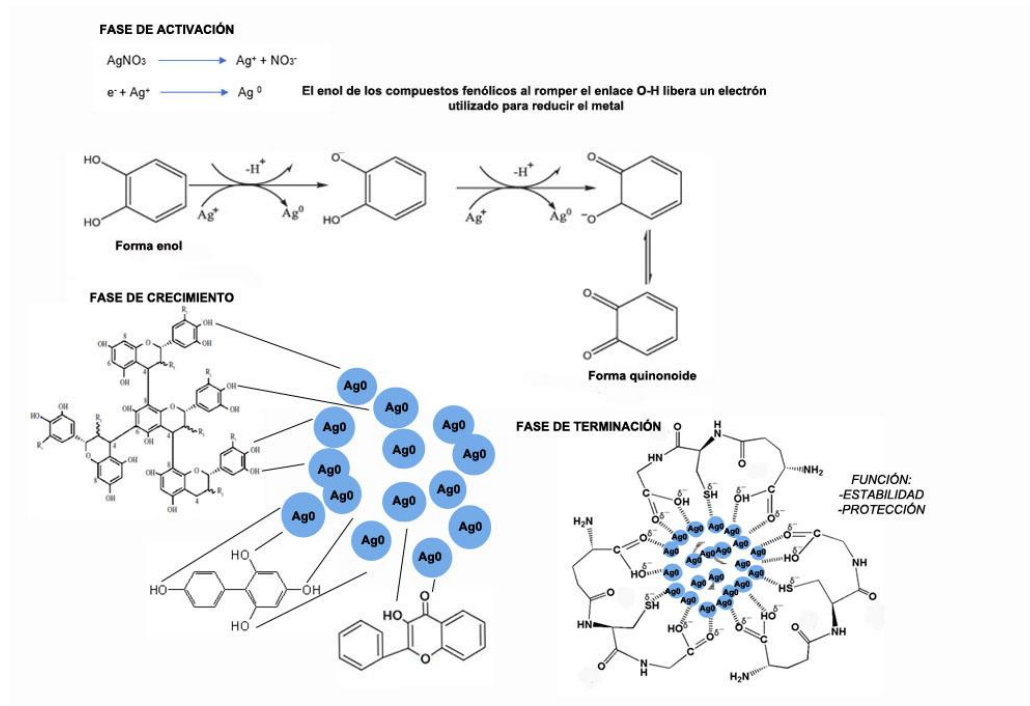


Figura 2. Posible mecanismo de bio-reducción, estabilización y bio-capping para formar nanopartículas.

Conclusiones

Los compuestos polifenólicos son los elementos más importantes en la síntesis verde de nanopartículas ya que juegan el papel de agentes reductores debido a que presentan estructuras químicas que les confiere mayor potencial reductor, protección y estabilidad. Sin embargo, hace falta mucho aún para investigar y desarrollar en cuanto al control y estandarización de las capacidades reductoras de los extractos vegetales para la manipulación de sistemas a escala industrial que permitan obtener nanopartículas con los estándares de funcionalidad.

Referencias

- Adegboyega N F, Sharma V K, Siskova K, Zboril R, Sohn M, Schultz B J & Banerjee S (2013) Interactions of aqueous Ag⁺ with fulvic acids: mechanisms of silver nanoparticle formation and investigation of stability, *Environ. Sci. Technol.* 47: 757–764.
- Alimi H, Hfaiedh N, Bouoni Z, Sakly M, & Ben Rhouma (2011) Evaluation of antioxidant and antiulcerogenic activities of *Opuntia ficus indica f. inermis* flowers extract in rats. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 32: 406–16.
- Aromal S & Philip D (2012) Green synthesis of gold nanoparticles using *Trigonella foenum-graecum* and its size dependent catalytic activity. *Spectrochim.* 97: 1–5.
- Bar H, Bhui, D, Sahoo G, Sarkar P, De S & Misra A (2009) Green synthesis of silver nanoparticles using latex of *Jatropha curcas*. *Colloid. Surf. Physicochem.* 339:134-139.
- Bernardo-Mazariegos E, Valdez-Salas B, González-Mendoza D, Abdelmoteleb A, Tzintzun O, Ceceña Duran C, & Gutiérrez-Miceli F (2018) Silver nanoparticles from *Justicia spicigera* and their antimicrobial potentialities in the biocontrol of foodborne bacteria and phytopathogenic fungi. *Revista Argentina de Microbiología.*
- Brewer, M S (2011) Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Technology.*10: 221-247.
- Brighente I M C, Dias M, Verdi L G, & Pizzolatti M G (2007) Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Some Brazilian Species. *Pharm. Biol.* 45: 156–161.
- Butkovic V, Klasinc L & Bors W (2004) Kinetic study of flavonoid reactions with stable radicals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 52: 2816-2820.
- Cuvelier M E, Richard H & Berset C (1992) Comparison of the antioxidative activity of some acid-phenols: structure –activity relationship. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 56: 324-325.

- Daisy P & Saipriya K (2012) Biochemical analysis of *Cassia fistula* aqueous extract and phytochemically synthesized gold nanoparticles as hypoglycemic treatment for diabetes mellitus. *Int. J. Nanomed.* 7:1189–1202.
- Das R K, Gogoi N & Bora U (2011) Green synthesis of gold nanoparticles using *Nyctanthes arbortristis* flower extract. *Bioprocess Biosys.* 34: 615–619.
- Diouf P N, Stevanovic T & Boutin Y (2009) The effect of extraction process on polyphenol content, triterpene composition and bioactivity of yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton) extracts, *Ind. Crops Prod.* 30: 297–303.
- Dipankar C & Murugan S (2012) The green synthesis, characterization and evaluation of the biological activities of silver nanoparticles synthesized from *Iresine herbstii* leaf aqueous extracts. *Colloid Surf.* 98: 112–119.
- Durnev A D (2007) Toxicología de nanopartículas. *Bull Exp Biol Med* 145: 72–74.
- Edison T J I & Sethuraman M G (2012) Instant green synthesis of silver nanoparticles using *Terminalia chebula* fruit extract and evaluation of their catalytic activity on reduction of methylene blue. *Process Biochem.* 47: 1351-1357.
- Freeman B L, Eggett D L & Parker T L (2010) Synergistic and antagonistic interactions of phenolic compounds found in navel oranges. *Journal of Food Science.* 75: 570-576.
- García-Pérez M E, Royer M, Duque-fernandez A, Diouf P N, Stevanovic T, & Pouliot R (2010) Antioxidant, toxicological and antiproliferative properties of Canadian polyphenolic extracts on normal and psoriatic keratinocytes J. *Ethnopharmacol.*
- Gil E S & Couto R O (2013) Flavonoid electrochemistry: a review on the electroanalytical 4 applications. *Brazilian Journal of Pharmacognosy.* 23: 542-558.
- Haverkamp R G & Marshall A T (2008) The mechanism of metal nanoparticle formation in plants: limits on accumulation. *J. Nanoparticle Res.* 11: 1453-1463.
- Herrera-Becerra R, Zorrilla C, Rius J L & Ascencio J A (2008) Electron microscopy characterization of biosynthesized iron oxide nanoparticles. *Appl. Phys. A* 91: 241-246.
- Hochella M F, Lower S K, Maurice P A, Penn R L, Sahai N, Sparks D L & Twining B S (2008) Nanominerals, mineral nanoparticles, and Earth systems. *Science.* 319: 1631-1635.
- Huang J, Li Q, Sun D, Lu Y, Su Y, Yang X, Wang H, Wang Y, Shao W, Ning H, Hong J & Chen C (2007) Biosynthesis of silver and gold nanoparticles by novel sundried *Cinna-momum*

- camphora *Microorganisms* leaf. *Nanotechnology*. 18: 105-104.
- Jain D, Daima H K, Kachhwaha S & Kothari S L (2009) Synthesis of plant-mediated silver nanoparticles using papaya fruit extract and evaluation of their anti microbial activities. *Dig. J. Nanomat. Bios.* 4: 557–563.
- Jayaseelan C, Rahuman A A, Rajakumar G, Kirthi A V, Santhoshkumar T & Marimuthu S (2011) Synthesis of pediculocidal and larvicidal silver nanoparticles by leaf extract from heart leaf moon seed plant *Tinospora cordifolia* Miers. *Parasitol. Res.* 109: 185–194.
- Kalaiarasi R et al. (2010) Phytosynthesis of nanoparticles and its applications. *Plant Cell Biotechnol. Mol. Biol.* 11: 1–16.
- Kasthuri J, Veerapandian S & Rajendiran N (2009) Biological synthesis of silver and gold nanoparticles using *apiin* as reducing agent. *Colloids Surfaces B Biointerfaces.* 68: 55-60.
- Krishnaraj C, Jagan E G, Rajasekar S, Selvakumar P, Kalaichelvan P T & Mohan N (2010) Synthesis of silver nanoparticles using *Acalypha indica* leaf extracts and its antibacterial activity against water borne pathogens. *Colloids Surfaces B Biointerfaces.* 76: 50-56.
- Kuang Y, Wang Q, Chen Z, Megharaj M & Naidu R (2013) Heterogeneous Fentonlike oxidation of monochlorobenzene using green synthesis of iron nanoparticles. *J. Colloid Interface Sci.* 410: 67-73.
- Kuppusamy P, Yusoff M M & Govindan N (2016) Biosynthesis of metallic nanoparticles using plant derivatives and their new avenues in pharmacological applications - An updated report. *Saudi Pharm* 24: 473-484.
- MubarakAli D, Thajuddin N, Jeganathan K & Gunasekaran M (2011) Plant extract mediated synthesis of silver and gold nanoparticles and its antibacterial activity against clinically isolated pathogens. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* 85: 360-365.
- Mystrioti C, Xanthopoulou T D, Tsakiridis P, Papassiopi N & Xenidis A (2016) Comparative evaluation of five plant extracts and juices for nanoiron synthesis and application for hexavalent chromium reduction. *Sci. Total Environ.* 539: 105-113.
- Narayanan K B & Sakthivel N (2010) Biological synthesis of metal nanoparticles by microbes, *Adv. Colloid Interface Sci.* 156: 1–13.
- Ndhlala A R, Moyo M & Van Staden J (2010) Natural Antioxidants: Fascinating or Mythical Biomolecules? *Molecules* 15: 6905-6930.
- Nidhija Roy, Archana Gaur, Aditi Jain, Susinjan Bhattacharya & Vibha Rani (2013) Green synthesis of silver nanoparticles: An approach to

- overcome toxicity. *Environmental toxicology and pharmacology*. 36: 807–812.
- Niraimathi K L, Sudha V, Lavanya R & Brindha P (2012) Biosynthesis of silver nanoparticles using *Alternanthera sessilis* (Linn.) extract and their antimicrobial, antioxidant activities. *Colloid Surf. B* 88: 34–39.
- Qian Sun, Xiang Caia, Jiangwei Li, Min Zheng, Zuliang Chen & Chang-Ping Yu (2014) Green synthesis of silver nanoparticles using tea leaf extract and evaluation of their stability and antibacterial activity. *Colloids and Surfaces*.
- Sajjad Shamailaa, Ahmed Khan, Leghari Sajjadb, Najam-ul-Athar Rymaa, Sidra Anis Farooqi, Nyla Jabeena, Sania Majeeda & Iqra Farooqc (2016) Advancements in nanoparticle fabrication by hazard free eco-friendly green routes. *Applied Materials Today*. 5:150–199.
- Santos S A O, Pinto P C R O, Silvestre A J D, & Neto C P (2010) Chemical composition and antioxidant activity of phenolic extracts of cork from *Quercus suber* L. *Ind. Crops Prod.*31: 521–526.
- Santos S A O, Villaverde J J, Freire C S R, Domingues M R M, Neto C P & Silvestre A J D (2012) Phenolic composition and antioxidant activity of *Eucalyptus grandis*, *E. urograndis* and *E. maidenii* bark extracts,” *Ind. Crops Prod.* 39: 120–127.
- Sathishkumar M, Sneha K, Won S W, Cho C W, Kim S & Yun Y S (2009) *Cinnamon zeylanicum* bark extract and poder mediated green synthesis of nanocrystalline silver particles and its bactericidal activity. *Colloid Surf. B* 73: 332–338.
- Satyavani K, Gurudeeban S, Ramanathan T & Balasubramanian T (2011) Biomedical potential of silver nanoparticles synthesized from calli cells of *Citrullus colocynthis* (L.) Schrad. *J. Nanobiotechnol.* 9: 43–51.
- Shanavas S, Priyadharsan A, Karthikeyan S, Dharmaboopathi K, Ragavan I, Vidya C, Acevedo R & Anbarasana P M (2019) Green synthesis of titanium dioxide nanoparticles using *Phyllanthus niruri* leaf extract and study on its structural, optical and morphological properties. *Materials Today: Proceedings*.
- Simić A, Manojlović D, Segan D & Todorović M, (2007) Electrochemical behavior and antioxidant and prooxidant activity of natural phenolics. *Molecules*. 12: 2327-2340.
- Sousa R W, Da Rocha C, Cardoso C L, Silva S D H & Zanoni B M V (2004) Determination of the relative contribution of phenolic antioxidants in orange juice by voltammetric methods. *Journal of Food Composition and Analysis*. 17: 619-633.

Artículos

- Sukirtha R, Priyanka K M, Antony, J.J., Kamalakkannan, S., Thangam, R., Gunasekaran, P., Krishnan, M., Achiraman, S., 2012. Cytotoxic effect of Green synthesized silver nanoparticles using *Melia azedarach* against in vitro HeLa cell lines and lymphoma mice model. *Process Biochem.* 47, 273–279.
- Suriyakalaa U, Antony J J, Suganya S, Siva D, Sukirtha R, Kamalakkannan S, Pichiah P B T & Achiraman, S (2013) Hepatocurative activity of biosynthesized silver nanoparticles fabricated using *Andrographis paniculata*. *Colloid Surf. B* 102: 189–194.
- Thakkar K N, Mhatre S S & Parikh R Y (2010) Biological synthesis of metallic nanoparticles, *Nanomedicine.* 6: 257–262.
- Trabelsi S K, Tahar N B & Abdelhedi R (2004) Electrochemical behavior of caffeic acid. *Electrochimica* 49: 1647-1654.
- Vijayaraghavan K, Kamala S P & Nalini (2010) Biotemplates in the green synthesis of silver nanoparticles. *Journal of Biotechnology.* 5: 1098–1110.
- Villano D, Fernández-Pachón M S, Troncoso A M & García-Parrilla M C (2005) Comparison of antioxidant activity of wine phenolic compounds and metabolites in vitro. *Analytica Chimica* 538: 391-398.
- Yinan Wang (2019) Green synthesis of nanoparticles for the remediation of contaminated waters and soils: Constituents, synthesizing methods, and influencing factors.
- Yogendra Kumar M S, Tirpude R J, Maheshwari D T, Bansal A, & Misra K (2013) Antioxidant and antimicrobial properties of phenolic rich fraction of Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) leaves in vitro. *Food Chem.* 14: 3443–50.
- Zahir A A & Rahuman A A (2012) Evaluation of different extracts and synthesized silver nanoparticles from leaves of *Euphorbia prostrate* against the plant *Haemaphysalis bispinosa* and *Hippobosca maculate*. *Vet. Parasitol.* 187: 511–520.