

LAS MALEZAS COMO UN CAMPO DE OPORTUNIDADES EN EL ESTUDIO DE LA SÍNTESIS VERDE

Nina Torres-Valencia ¹, Mariana Miranda-Arámbula ¹, Ada María Ríos-Cortés ¹, Valentín López-Gayou ²,
Fernando López-Valdez ^{1,*}

¹ Lab. de Biotecnología Agrícola y Agronanobiotecnología. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), Instituto Politécnico Nacional. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala. 90700. México.

² Lab. de Nanobiotecnología. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), Instituto Politécnico Nacional. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala. 90700. México.

* Autor para correspondencia: F. López-Valdez. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), Instituto Politécnico Nacional. Carr. Estatal Sta. Inés Tecuexcomac – Tepetitla, km 1.5 s/n. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala. 90700. México.

Tel: +52 (55) 5729 6000 / 6300, ext. 87814. E-mail: flopezva@ipn.mx

RESUMEN

Las arvenses han registrado diferentes actividades biológicas, por lo que puede ser una fuente importante de sustancias químicas con un potencial biotecnológico, para desarrollar nuevas estrategias de interés agronómico incorporando los nuevos conocimientos derivados de la Nanotecnología y la “Síntesis verde”. Este artículo tiene como objetivo describir las malezas como un campo de oportunidades en la síntesis verde y al mismo tiempo, describimos a la síntesis verde como una subdisciplina de la Química bajo nuestra óptica y su aplicación en diversas áreas de las ciencias, entre ellas el potencial uso de los metabolitos secundarios de los extractos de plantas para la formación de nanocompuestos que brindan importantes beneficios para algunas áreas como pueden ser la medicina, la agronomía o la biorremediación.

Palabras clave: Química verde, síntesis verde, arvenses, nanopartículas, nanomateriales.

Abstract

Weeds have registered different biological activities and this can be a source of chemical substances with significant biotechnological potential, to develop new strategies of agronomic interest incorporating new knowledge derived from Nanotechnology and “Green Synthesis”. This article aims to describe weeds as a field of opportunities in green synthesis and at the same time, we describe green synthesis as a sub-discipline of Chemistry from our perspective and its application in various areas of science, including the potential use of secondary metabolites of plant extracts for the formation of nano compounds that provide important benefits for some areas such as medicine, agronomy or bioremediation.

Keywords: Green chemistry, green synthesis, weeds, nanoparticles, nanomaterials.

1. INTRODUCCIÓN

Es muy conveniente aclarar dos términos que en la mayoría de las situaciones se consideran sinónimos, malezas y arvenses, este último es de poco uso, pero técnicamente es el que mejor define los propósitos de este artículo. Las plantas arvenses son todas aquellas plantas que crecen en los sembradíos, completamente ajenos al cultivo de interés, es decir, como pueda ser cualquier planta que sea distinta a la que se está cultivando. Por otro lado, el término maleza se refiere más a un término impreciso, como arbustos o abundancia de “malas hierbas”, que a su vez proviene del latín *malitia* que significa “maldad”. Por lo que, el término más apropiado será arvense. Bajo este contexto, toda planta arvense puede ofrecer un potencial para la Biotecnología, desde el punto de vista de nuestra línea de investigación, como es el aprovechamiento de los extractos vegetales

de este tipo de plantas, en el campo de la Química y en particular en la subdisciplina que se ha denominado síntesis verde.

2. LAS PLANTAS ARVENSES Y SU POTENCIAL IMPORTANCIA.

En realidad, ninguna planta es maleza o arvense, sólo es parte de nuestra concepción personal acerca de que no es una planta de interés, tanto en los patios como en las parcelas. En otras palabras, planta arvense, se le considera a toda especie vegetal que se desarrolla en un sitio donde su presencia no es deseada y que compite con otra especie cultivada con algún objetivo particular, cualquiera que este sea.

Desde tiempos remotos, nuestros ancestros comprendían muy bien esto, puesto que cada planta era respetada y cuidada por el alto valor que poseen, desde considerarse un miembro de un ecosistema particular hasta por sus propiedades o beneficios para el ser humano. Las plantas son por lo tanto de suma importancia para la humanidad, sólo que nuestra falta de conocimiento nos nubla la visión ante una demanda de cultivos de interés agroeconómico, dejando de lado a una vasta gama de plantas con potencial e importancia médica, por ejemplo. Sin embargo, les seguiremos llamando arvenses por el hecho de que no son de interés económico.

En la búsqueda constante del hombre por encontrar espacios para establecerse, adaptar los ecosistemas y generar asentamientos rentables que satisfagan todas sus necesidades, entre ellas alimenticias y productivas, ha traído consigo una serie de fenómenos ambientales en la interacción de subsistemas, entre los cuales destaca, la domesticación de especies vegetales como principal fuente de sustento. Adicionalmente, el crecimiento o aparición de plantas arvenses, que al competir por luz solar, agua y nutrientes con los cultivos de interés, supone un impacto en el crecimiento de los cultivos, por lo tanto, son consideradas plantas dañinas, es decir, “malas” para la agricultura, ya que desde un punto de vista productivo, representa una afectación importante en el rendimiento, dificultan la cosecha e impactan la calidad de los cultivos y de sus frutos o granos, por lo que se considera “maleza” (el cual es un término muy popular aunque muy antropocéntrico) ya que no corresponde a las características biológicas de esas plantas. Ya que estas plantas también forman parte de un agroecosistema y constituyen parte de una cadena trófica, en una forma u otra, que normalmente desconocemos. Además, estas pueden ayudar a prevenir la erosión y pérdida del suelo, incrementar la materia orgánica y la recirculación de nutrientes, mantienen la humedad por periodos más prolongados, hospedan microorganismos benéficos y la salud de la vida silvestre en general (Altieri, 1999).

La mayoría de las plantas arvenses tienen la capacidad de adaptarse y prevalecer en ambientes con cierto grado de disturbio, es decir, tienen una alta capacidad de tolerancia a condiciones ambientales adversas, con alta dispersión, crecimiento inicial rápido, habilidad competitiva en el máximo aprovechamiento de los recursos nutrimentales disponibles, mínimo nivel de dormancia de las semillas, prevalencia o resistencia ante carencia de agua, luz solar o nutrientes. Algunas son empleadas como plantas ornamentales, comestibles, medicinales, o bien, pueden tener un efecto negativo sobre otro organismo, esto debido a sus características alelopáticas que consisten en la síntesis de metabolitos secundarios que actúan como mecanismos de defensa y que la protegen de daños producidos por agentes externos como los ocasionados por otro organismo y de esta forma evitar su competencia o daño. Adicionalmente, poseen propiedades biológicas, variabilidades genéticas y fenotípicas particulares que les permiten desarrollar esas habilidades adaptativas, lo que representa un alto potencial para la Biotecnología (Anaya, 2007).

3. QUÉ ES LA SÍNTESIS VERDE.

La “síntesis verde” es una subdisciplina de la Química (llamada Química “verde”), la cual tiene como objetivo eliminar las prácticas y los procesos, que son considerados tóxicos y de un alto impacto ambiental, principalmente por la excesiva producción de subproductos o de desechos y/o contaminantes al ambiente, con la finalidad de evitar el uso indiscriminado de materias primas renovables y no renovables. La síntesis verde propone estrategias para realizar procesos químicos que sean más amigables con el ambiente. La formalización de la química verde como una disciplina de la ciencia, que difiere de la química ambiental, tiene su origen en la publicación del libro de Paul Anastas y John Warner titulado ‘*Green Chemistry, theory and practice*’ (Química verde, teoría y práctica) (Ivanković et al., 2017). La influencia de Anastas y Warner a través de su obra ha sido marcada, que son considerados como padres de la química verde por las aportaciones que sus estudios le dieron a esta disciplina. Ivanković et al. (2017) nos presentan doce principios básicos, que tienen mucha importancia en el desarrollo de esta disciplina y que se muestra en forma sintetizada:

4. IMPORTANCIA DE LA SÍNTESIS VERDE.

En 1992, se llevó a cabo la “Conference on Environment and Development (UNCED)” (Conferencia sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo) de las Naciones Unidas, donde 500 países firmaron La Declaración de Río sobre el Medio



Figura 1. Los doce principios básicos de la Química verde.

Ambiente y el Desarrollo (conocida como La Declaración de Río) (ONU, 1992), que se compone de veintisiete principios que tienen como objetivo establecer una alianza entre los países participantes para lograr acuerdos internacionales entre los cuales destacan: el respeto a los intereses de las naciones para impulsar el desarrollo sostenible, el derecho de los seres humanos a una vida saludable y en armonía con la naturaleza y la responsabilidad de cada nación sobre el aprovechamiento de sus recursos naturales, así como velar por la protección a la integridad del sistema ambiental reconociendo la naturaleza integral e interdependiente de la Tierra, nuestro hogar (ONU, 1992). Esto derivó en una serie de normativas y leyes que adoptó cada país con la intención regular la emisión de contaminantes por diferentes industrias, con el objetivo de reducir el impacto ambiental que ha representado la contaminación, sin embargo, a pesar de estos esfuerzos y por estar en constantes cambios, no se ha hecho suficiente.

La investigación en síntesis verde se encuentra en búsqueda constante de nuevas metodologías y estrategias que ofrezcan un amplio potencial de investigación a través de desafíos creativos para la obtención de productos y el diseño de procesos que cumplan con los principios de la química verde. La síntesis de compuestos libres o con mínima contaminación, en ocasiones será complicado, pero bien valdrá la pena el reto y las oportunidades, ya que se podrán optimizar al máximo los recursos y las materias primas, y al mismo tiempo, apoyar a la química ambiental con soluciones a los problemas ambientales existentes.

5. QUÉ SE HA INVESTIGADO HASTA AHORA.

Debido al actual reconocimiento de la química verde, los estudios aún se encuentran en etapa de desarrollo, por lo que se han documentado aplicaciones de la síntesis verde (Doria-Serrano, 2009). Sin embargo, destacan los estudios que se han enfocado en los beneficios de la síntesis de compuestos en escalas muy pequeñas, es decir, el trabajo en conjunto de la síntesis verde y la nanotecnología. Esta investigación interdisciplinaria dio como resultado la aparición de metodologías cuyo principal objetivo es la obtención de nanomateriales a partir de la síntesis verde de extractos vegetales y que reciben el nombre de nanocompuestos (10 a 100 nm) pueden interactuar con otros compuestos donde una macromolécula habitualmente no llegaría por su tamaño y cumplir con una función determinada.

Los metabolitos secundarios más reportados en las plantas arvenses han sido los compuestos fenólicos y polifenólicos por ser los grupos más abundantes, como alcaloides, taninos, saponinas y glucósidos cianogénicos. Todos ellos tienen diversas funciones en las plantas, como la protección y defensa (Jaramillo-Jaramillo *et al.*, 2016). El aprovechamiento de estos compuestos se debe a su actividad reductora frente a algunos metales, principalmente, por los compuestos fenólicos presentes y sus grupos funcionales. Castañeda-Castañeda *et al.* (2008) han documentado que las células de las plantas tienden a inhibir reacciones de oxidación o reacciones entre los radicales, conocida como capacidad antioxidante, que debido a estas propiedades (reductoras en los extractos vegetales) son una excelente alternativa para la síntesis de nanocompuestos o nanopartículas vía síntesis verde.

6. POTENCIALES APLICACIONES DE LA SÍNTESIS VERDE.

En la actualidad, la síntesis verde se encuentra más orientada a la síntesis de nanomateriales, en particular a las nanopartículas. A continuación, se discuten algunas investigaciones acerca de la síntesis verde, nanomateriales y plantas arvenses.

6.1 SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS A PARTIR DE EXTRACTOS VEGETALES PARA NUEVOS TRATAMIENTOS EN MEDICINA MODERNA.

El estudio de las nanopartículas enfocadas al combate de algunas enfermedades se ha incrementado en los últimos años, esto ha dado origen a un área que se conoce como nanomedicina. Esta área se enfoca, principalmente, en el desarrollo de nanocompuestos con un potencial uso en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Como

se sabe, las bacterias resistentes a antibióticos son por el uso indiscriminado de estas sustancias y se ha convertido en un verdadero desafío. En la búsqueda de tratamientos viables y efectivos, Hussein *et al.* (2019) propusieron el uso de agentes antimicrobianos alternativos en sinergia con un antibiótico de patente como tratamiento a la resistencia bacteriana. Encontraron que el uso de los extractos acuosos de seis plantas: *Salvadora persica*, *Allium sativum*, *Allium cepa*, *Zingiber officinale*, *Mentha spicata* y *Ziziphus spina-christi* reduce efectivamente los iones metálicos de nitrato de plata (AgNO₃) a través de la síntesis verde y se obtienen como resultado nanopartículas de plata (NP_{Ag}), mismas que fueron caracterizadas a través de espectrofotometría UV-Vis, microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FE-SEM), difracción de rayos X (XRD), espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (EDX) y espectroscopia de infrarrojos (FTIR) para asegurar la presencia de las NP_{Ag}. Se evaluaron los efectos individuales y combinados de las NP_{Ag} con el antibiótico tetraciclina contra dos especies bacterianas *S. aureus* y *K. pneumoniae*. A pesar de que no todos los extractos vegetales consiguieron la formación de NP_{Ag}, el estudio determinó que las NP_{Ag} (de los extractos que sí lograron sintetizar las nanopartículas) en combinación con la tetraciclina mostraron una alternativa útil en el tratamiento de infecciones bacterianas producidas por estas cepas, lo cual podría indicar que el antibiótico en combinación con las NP_{Ag} es una posible alternativa en el tratamiento de infecciones producidas por *S. aureus* y *K. pneumoniae* resistentes a tetraciclina (Hussein *et al.*, 2019).

Por otra parte, Rodríguez-Pava *et al.* (2017) reportaron que los metabolitos secundarios obtenidos a través del extracto etanólico de *Sambucus nigra* (“sauco”), *Taraxacum officinale* (“diente de león”), y *Bauhinia sp.* (conocida como “pata de vaca”) poseen potencial actividad antimicrobiana frente a microorganismos patógenos de importancia clínica y que son resistentes a antibióticos. Donde *T. officinale* (diente de león) mostró mayor actividad antimicrobiana en comparación con las otras plantas y frente a microorganismos como *Streptococcus pneumoniae*, *Enterococcus faecium* (resistente a la vancomicina), *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* y *Candida albicans*. Se determinó que los metabolitos secundarios que posee, terpenos y quinonas, tienen una potencial aplicación en el tratamiento de microorganismos resistentes a antibióticos.

Un estudio relacionado con posibles tratamientos contra el cáncer, Vieira *et al.* (2017) reportaron que la síntesis verde de nanopartículas de selenio (NP_{Se}) a partir de una solución de selenito de sodio (Na₂SeO₃) y D-fructosa (un azúcar de origen vegetal) el cual se empleó como agente reductor, se obtuvieron NP_{Se} mismas que fueron probadas en células cancerosas mediante estudios de citotoxicidad *in vitro*, donde los resultados mostraron que las NP_{Se} inducen a la muerte pronunciada de células cancerosas

y aunque no mostraron ser efectivas para evitar la proliferación de estas células, si se determinó que las NP_{Se} pueden ser buenas candidatas para la síntesis de un nuevo fármaco en el tratamiento de cáncer cervicouterino.

6.2 LA REMEDIACIÓN Y SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS EN LA DEGRADACIÓN FOTOCATALÍTICA DE AZUL DE METILENO E IBUPROFENO.

El uso de agua potable ha sido una demanda constante para la humanidad. En el tratamiento de agua residuales, uno de los principales problemas es la presencia de compuestos de naturaleza recalcitrante como el fármaco ibuprofeno y su nula degradación en plantas tratadoras. Los procesos oxidativos han sido estudiados como alternativas para solucionar este problema, principalmente por su baja selectividad de moléculas y su alto poder de mineralización. La oxidación fotocatalítica heterogénea es un método eficiente y limpio para la remediación de aguas residuales. Da Silva *et al.* (2020) demostraron que las nanopartículas de cinc (NP_{Zn}) obtenidas a partir del método de la proteína sol-gel (que es una vía de síntesis verde que consiste en sintetizar polvos nanométricos a temperaturas bajas) mostraron actividad de degradación fotocatalítica en presencia de soluciones con el colorante azul de metileno y el fármaco ibuprofeno. Los resultados mostraron una degradación del 97% del colorante y del 60% del fármaco ibuprofeno después de una hora de incidencia de luz. Las nanopartículas obtenidas a partir de un método de síntesis verde han mostrado buenos niveles de degradación de moléculas que difícilmente pueden ser removidas en las plantas tratadoras de agua, como lo son los colorantes o el fármaco ibuprofeno.

6.3 SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA CONTRA HONGOS FITOPATÓGENOS.

En la agricultura, una de las principales preocupaciones son las enfermedades en las plantas ocasionadas principalmente por hongos, bacterias y virus, mismas representan una merma en la producción de cultivos, afectando a un cultivo entre el 40 y 60%. Almadiy y Nenaah (2018) demostraron que el uso de los metabolitos secundarios presentes en el extracto acuoso de la planta de papa (*Solanum tuberosum*) para la síntesis verde de NP_{Ag} y el uso de alcaloides de la planta como agente reductor, inhiben el crecimiento micelial de hongos fitopatógenos como *Alternaria alternate*, *Rhizctonia solani*, *Botrytis cinerea* y *Fusarium oxysporum* con mínimas concentraciones de NP_{Ag}. El estudio reportó que el uso de los metabolitos secundarios que provienen de *S. tuberosum* y sus nanopartículas pueden ser una alternativa ecológica y no tóxica al uso de fungicidas sintéticos convencionales que ocasionan severos problemas en la erosión, biota, o en la fertilidad de los suelos.

7. CONCLUSIONES.

La química verde a través de la síntesis verde ofrece

un vasto campo de investigación que requiere ser desarrollado con la intención de modificar los procesos de producción ya existentes, y de esta forma, prevenir y reducir la contaminación a través de procesos amigables con el ambiente. También, diseñar nuevas estrategias que reduzcan el impacto ambiental con retribución económica en un futuro. A pesar de no ser un campo altamente desarrollado en la Química como en otras subdisciplinas, se requiere más investigación en esta área, para fortalecer el conocimiento sobre el verdadero potencial de las plantas arvenses (también inadecuadamente llamadas “malezas”) como un atractivo campo de investigación y aplicación en la Biotecnología y que puede ser la respuesta a otras áreas de la ciencia como lo es en la Medicina, donde hoy en día, se tiene mejor conciencia de la importancia de la salud.

AGRADECIMIENTOS.

Al Instituto Politécnico Nacional (Proyectos SIP: 20202274, 20211596, 20211576 y 20211511).

REFERENCIAS.

- Almadiy A A, Nenaah G E (2018) Ecofriendly synthesis of silver nanoparticles using potato steroidal alkaloids and their activity against phytopathogenic fungi. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 61: e18180013 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-2018180013>.
- Altieri M A (1999) The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 74: 19-31.
- Anaya A L (2007) Allelopathy as a Tool in the Management of Biotic Resources in Agroecosystems. *Critical Reviews in Plant Sciences.* 18(6): 697 – 739. <http://dx.doi.org/10.1080/07352689991309450>.
- Castañeda-Castañeda B, Ramos-Llica E, Ibañez-Vásquez L (2008) Evaluación de la capacidad antioxidante de siete plantas medicinales peruanas. *Horizonte Médico.* 8(1): 31-37.
- Da Silva E C, De Moraes O S, Brito R E, Passos R R, Brambilla R F, Da Costa L P, Pocrifka L A (2020) Synthesis of ZnO nanoparticles by the Sol-Gel Protein route: A viable and efficient method for photocatalytic degradation of methylene blue and ibuprofen. *J. Braz. Chem. Soc.* 31(8): 1648-1653.
- Hussein E A M, Mohammad A A-H, Harraz F A, Ahsan M F (2019) Biologically synthesized silver nanoparticles for enhancing tetracycline activity against *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumoniae*. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 62(3): 49-58.
- Ivanković A, Dronjić A, Martinović A, Talić S (2017) Review of 12 principles of green chemistry in practice. *International Journal of Sustainable and Green Energy.* 39-48.
- Jaramillo-Jaramillo C, Jaramillo-Espinoza A, D'Armas H, Troccoli L, Rojas-Astudillo L (2016) Concentraciones de alcaloides, glucósidos cianogénicos, polifenoles y saponinas en plantas medicinales seleccionadas en Ecuador y su relación con la toxicidad aguda contra *Artemia salina*. *Rev. Biol. Trop.* 64 (3): 1171-1184.
- ONU (1992) Declaración del Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División de Desarrollo Sostenible. Consultado en línea (13 de abril de 2021): <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm>.
- Rodríguez-Pava C N, Zarate-Sanabria A G, Sánchez-Leal, L C (2017) Actividad antimicrobiana de cuatro variedades de plantas frente a patógenos de importancia clínica en Colombia. *Nova.* 15(27): 119-129.
- Vieira A P, Stein E M, Andregueti D X, Cebrián-Torrejón G, Doménech-Carbó A, Colepicolo P, Ferreira A M D C (2017) “Sweet Chemistry”: a green way for obtaining selenium nanoparticles active against cancer cells. *J. Braz. Chem. Soc.* 28(10): 2021-2027.
- Doria-Serrano M del C (2009) Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. *Educación Química.* 20(4): 412-420.