

Nanotecnología y Agricultura: Detección, Monitoreo y Remediación de Contaminantes

Nanotechnology and Agriculture: Detection, Monitoring and Remediation of Contaminants

Martha Quetzalli Marín-Bustamante^a, Araceli Hernández-Flores^b, Roxana Grisel Cásarez-Santiago^c

Resumen

La nanotecnología aplicada en el sector alimentario es relativamente nueva, sin embargo es una de las áreas con mayor crecimiento en los últimos años, ya que ofrece gran innovación para producir suficientes alimentos y de alta calidad minimizando el riesgo inminente de los agroquímicos. Los pesticidas, herbicidas y fertilizantes se han usado de forma indiscriminada con el único fin de mantener la seguridad alimentaria sin importar los riesgos asociados a la salud. El desarrollo de nuevos nanodispositivos utilizados en la agricultura ha demostrado mejor eficiencia en la producción de alimentos de calidad. El potencial que tiene la nanotecnología para transformar las prácticas agrícolas actuales ayudara a disminuir la cantidad de plaguicidas carcinogénicos que llegan al ser humano por consumo de alimentos altamente expuestos a estas sustancias, manteniendo la seguridad alimentaria, además de evitar que el excedente de agroquímicos genere resistencia microbiana. La dosificación y liberación controlada de los agroquímicos nanoparticulados aumenta la efectividad de estos, generando alimentos resistentes al ataque de plagas por durar más tiempo en comparación con los cultivos obtenidos por los métodos tradicionales. Esta revisión tiene como

Abstract

Nanotechnology applied in the food sector is relatively new, however recently it is one of the areas with the highest growth. This is because it offers a great innovative way to produce a sufficient quantity of high quality food, while minimizing the imminent risk of agrochemicals. Pesticides, herbicides and fertilizers have been used indiscriminately for the sole purpose of maintaining food safety, regardless of the associated health risks. The development of new nanodevices in agriculture has shown better efficiency for the production of quality food. The potential for nanotechnology to transform current agricultural practices will help reduce the amount of carcinogenic pesticides that reach humans through the consumption of foods highly exposed to these substances. This to maintain food security, as well as to prevent the excess of agrochemicals from generating microbial resistance. The dosage and controlled release of nanoparticulate agrochemicals increase their effectiveness, generating food that is resistant to pest attack for a longer time compared to crops obtained by traditional methods. This review aims to outline the uses and applications of the devices, pesticides and fertilizers generated by

^a Universidad del Valle de México (UVM), Departamento de Salud. Nutrición. Calz. de Tlalpan 3016/3058, Coapa, Ex-Hacienda Coapa, C.P. 04910, Coyoacán, Ciudad de Mexico, Mexico.

^b Universidad de la Sierra Sur (UNSI), Instituto de Investigación Sobre Salud Pública. Calle Guillermo Rojas Mijangos S/N, Esq. Av. Universidad Col. Ciudad Universitaria, C.P. 70800, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca, México.

^c Universidad de la Sierra Sur (UNSI), Instituto de Nutrición. Calle Guillermo Rojas Mijangos S/N, Esq. Av. Universidad Col. Ciudad Universitaria, C.P. 70800, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca, México.

Correspondencia: Roxana Grisel Cásarez-Santiago
Universidad de la Sierra Sur
Correo electrónico:

objetivo mostrar los usos y aplicaciones que tienen los dispositivos, pesticidas y fertilizantes generados por la nanoagricultura, y como éstos ayudaran a modificar las técnicas de la agricultura tradicional, que ofrezcan resultados positivos en la salud, sustentabilidad y minimización de la contaminación.

Palabras clave: pesticidas, nanodispositivos, sustentabilidad, salud, nanoagricultura.

nanoagriculture. It will also show how these will help to enhance traditional agriculture techniques, which offer positive results in health, sustainability, and the minimization of pollution.

Keywords: pesticides, nanodevices, sustainability, health, nanoagriculture.

Introducción

Desde 2005 la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) ha mencionado que las malas prácticas de agricultura provocan contaminación de los alimentos de origen vegetal, porque dichos contaminantes son acumulados en los tejidos de los vegetales, éstos al ser consumidos por diferentes organismos van escalando los niveles tróficos hasta llegar al ser humano. Los contaminantes más comunes pueden ser: metales pesados, pesticidas y/o plaguicidas (Mancilla et al., 2011; Hernández & Hansen, 2011; Ditta, 2012). El agua al ser el insumo más utilizado en la agricultura, es el principal vector de estos contaminantes. Para aminorar los problemas de contaminación se tienen dos alternativas: la prevención por medio del uso racionalizado y/o minimizado de los pesticidas y plaguicidas, con la adopción de técnicas más amigables con el medio ambiente como los cultivos orgánicos y/o la intensificación sostenible. La segunda alternativa es la remediación para minimizar los riesgos químicos con procesos de remediación, purificación, tratamiento y monitoreo del agua. Esta opción puede ser potenciada por la integración de la nanotecnología para mejorar y verificar la calidad del agua utilizada en la agricultura (Cásarez et al., 2019).

Actualmente las ciencias se encaminan a ser multidisciplinarias, de tal forma que es normal ver qué áreas del conocimiento como la nanotecnología busca ayudar a subsanar problemas de la agricultura. La nanotecnología se refiere a cualquier tecnología que se encarga del control o reestructuración de los materiales

cuando estos se encuentran en una escala que va de 1 a 100 nm. Cuando el tamaño de los materiales cae por debajo de 100 nm pueden ocurrir cambios dramáticos en las propiedades físicas y químicas únicas de los nanomateriales, en comparación con estos mismos a escalas mayores y estas nuevas propiedades de los materiales, pueden explotarse para aplicaciones comerciales y para un rendimiento novedoso que beneficie a la sociedad con un desarrollo sostenible para obtener alimentos, suelos y agua para los años siguientes (Bhusan, 2017).

Es así, que la fusión de la nanotecnología y la agricultura tiene el potencial de aumentar la producción mundial de alimentos a través del avance tecnológico de forma sostenible (Jampílek & Králova, 2015). Los alimentos, el agua y los suelos deben ser usados de forma más consciente sin perder la seguridad y eficiencia de los cultivos. La nanotecnología ofrece un uso y dosificación de los fertilizantes, pesticidas y herbicidas de forma más adecuada en comparación con la agricultura tradicional que evitan la pérdida de cultivos, mimizando los daños a la salud (O' Callaghan & Kerry, 2016).

Detección, monitoreo, remediación y nanoagricultura

Los pesticidas se utilizan ampliamente en la agricultura para mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos al prevenir, repeler, eliminar o mitigar varios tipos de plagas, ya sean plantas no deseadas, roedores, insectos u hongos. La FAO estima que un tercio de la producción de cultivos en el mundo se ase-

gura mediante la utilización de plaguicidas (FAOSTAT, 2020). Sin embargo, los pesticidas se encuentran entre los compuestos más peligrosos que hay en el entorno natural (Kouzayha et al., 2012). Pueden contaminar frutas, verduras y aguas debido a su toxicidad, acumulación y larga persistencia en la naturaleza debido a que no se suele disponer de forma adecuada de ellos, y sus residuos terminan en el drenaje, en los campos, en derrames accidentales, etc. (Cásarez et al., 2019).

Los numerosos efectos negativos para la salud asociados con la exposición a plaguicidas, incluidos los efectos gastrointestinales, respiratorios, neurológicos, cancerígenos, reproductivos, endocrinos y dermatológicos (Stamati et al., 2016), además de los que causan a la cadena trófica, se han convertido una preocupación mundial y en un problema inminente que se debe subsanar para preservar la salud y no solo de los seres humanos, si no de cualquier especie del planeta. La inquietud generalizada por minimizar y detectar los plaguicidas en cualquiera de los niveles del ecosistema, ha impulsado la búsqueda de métodos selectivos y precisos, que ofrezcan respuestas rápidas que aseguren la ausencia de éstos compuestos químicos. Los nanosensores son dispositivos compuestos por dos partes: el receptor que es el encargado de reconocer el analito deseado, y el transductor que se encarga de convertir la señal colectada en una respuesta medible o cuantificable. La metodología de transducción se puede dividir aproximadamente en tres tipos principales: óptica, electroquímica y mecánica (Conelly y Baeumner, 2012).

Los nanosensores son herramientas útiles para determinar la presencia de plaguicidas, como el caso de Vargas-Solano & Zamora-Fernández (2017) quienes diseñaron un nanosensor que detecta la presencia de gliofosfato en agua para riego, a través del uso de microondas con un límite de detección de 0.24 g/L de gliofosfato. Por otro lado, Schosinsky & Quintana (2004) detectaron la

presencia de carbamatos y plaguicidas organofosforados en vegetales (lechuga, cilantro y apio), de 150 muestras de vegetales recolectadas el 53% resultaron positivas. Otro estudio más reciente, muestra el uso de nanotubos de carbono y nanohojas de grafeno para la detección de acetamiprid en agua potable, con alta sensibilidad a la presencia del plaguicida (Verdian, 2018). Recientemente se han incorporado puntos cuánticos de óxido de zinc (ZnO) para la detección de un amplio espectro de plaguicidas: aldrion, gliofosfato y atrazina en agua de riego y lechugas, éste muestra un límite de detección de 4 ppm (Sahoo et al., 2018). La característica sobresaliente de dicho estudio es que aparte de la detección de los plaguicidas, también puede degradarlos por la acción fotocatalizadora del ZnO, este mecanismo es una de las herramientas que ofrece la nanotecnología a la agricultura, no solo se puede determinar la presencia sino que se pueden eliminar esos residuos tóxicos.

Como se mencionó en el párrafo anterior, a través de las herramientas nanotecnológicas se pueden degradar los residuos de plaguicidas, un ejemplo es el trabajo realizado por Malato et al (2002) para fotocatalizar plaguicidas organofosforados usando nanopartículas de dióxido de titanio (TiO₂), para remover hasta 5µM/100 mL de agua del agua de riego. Otro estudio muestra el uso de nanopartículas de carbonato de calcio para precipitar valindamicina en cultivos (Quian et al, 2011). Por su parte Khataee et al (2013) utilizaron nanopartículas de TiO₂ para precipitar y/o descomponer (catalizar) acetamiprid en solución acuosa. Últimamente se ha introducido el uso de nanoarcillas o nanocerámicos que poseen la capacidad de retener en su estructura porosa algunos plaguicidas. Se han reportado complejos de nanotubos de carbono con nanoarcillas que detectan y retienen gliofosfato en su estructura, posee un límite de detección 30 µM/L y una capacidad de retención del 94% (Oliveira et al, 2012). Otro reporte menciona el uso de arci-

llas de alcanosilicatos nanoestructurados que poseen un límite de detección de 0.02 µg/ L y un límite de retención de 8.4% de plaguicidas organofosforados (Saraji et al., 2015).

Las nanopartículas magnéticas como la magnetita (Fe₃O₄), migmetita (γ-Fe₂O₃) también han sido utilizadas para remover pesticidas en agua o vegetales. Un estudio realizado en bebidas de té, demostró que nanopartículas magnéticas modificadas con polímeros de vinilo con un límite de detección de 0.01 µg/L de plaguicidas organofosforados (paratión y fentión), fueron capaces de remover hasta el 81.4% del contenido de paratión en las bebidas de té comerciales en China (Zheng et al., 2014). Hamid et al (2015) utilizó nanopartículas de magnetita con sílice para remover clorpirifos, hexaconazol y azaconazol de muestras de agua, con excelentes resultados de absorción 13.04-18.69 mg/g. Wanjeri et al (2018) usó nanopartículas de migmetita cubiertas con silica para crear un material capaz de eliminar 15 mg de paratión y malatión en 15 minutos, el material fue probado en muestras de agua provenientes de 3 ríos en Sudáfrica.

La nanoagricultura, es la transición de la práctica agrícola convencional hacia una agricultura de precisión que implemente alternativas sostenibles en el uso de fertilizantes y plaguicidas con ayuda de las herramientas de la nanotecnología, como la disminución de tamaño y aumento en área superficial con lo cual se controle la liberación de éstas sustancias, y por ende, se disminuya la cantidad y se aumente la efectividad de ellos (Cásarez et al., 2019). Esta transición se refleja en el trabajo realizado por Chookhongkha et al (2012) que utiliza nanopartículas de quitosano con carbonato de calcio (CaCO) con eficacia del 95%, para ser una alternativa al uso de plaguicidas organofosforados, en cultivos de chile. Otro ensayo para obtener nanoplaguicidas, es el desarrollado por Ocsoy et al., (2013) reportando el uso de nanopartículas de plata (Ag) y óxido de grafeno para inhibir el crecimiento de patógenos en cultivos de tomate,

teniendo una tasa de inhibición del 63%. Un estudio más reciente menciona el uso de hidróxido de cobre (CuOH) nanoparticulado para inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos en el cultivo de pepino.

Por otro lado, el desarrollo y uso de nanofertilizantes los cuales buscan materiales que promuevan el crecimiento de los cultivos y aseguren la mayor eficiencia en la difusión de los nutrientes y mejoren la tasa de absorción en las plantas, lo cual se ve reflejado en el incremento del índice de área foliar y capacidad fotosintética de las plantas (Singh, 2016).

Un ejemplo de ello, es el trabajo realizado por Parasad et al., (2012) donde utilizan nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) para promover la absorción de este micronutriente en el cultivo de cacahuate, observando que tiene ventajas en la pobre acumulación de este mineral en las hojas del cacahuate, caso contrario a lo ocurrido con el uso del fertilizante en el trabajo de tamaño marco. Yuvaraj & Subramanian (2015), donde sintetizaron un nanofertilizante de zinc en un complejo núcleo-coraza de manganeso, con resultados visibles en la promoción del crecimiento de arroz en suelos con poca disponibilidad de nutrientes. Implementar los nanofertilizantes en la agricultura, aporta mayor eficiencia en uso de los nutrientes por lo tanto, reduce la frecuencia en la aplicación de fertilizantes, que a su vez, minimiza la toxicidad del suelo.

Perspectivas

Se espera que los dispositivos para aplicación en la nanoagricultura sean altamente usados a medida que los costos de producción de estos disminuyan, lo cual parece inminente ya que ofrece importantes mejoras para el incremento de cultivos sin el uso de cantidades peligrosas y excesivas de pesticidas, fertilizantes y herbicidas que contribuyen fuertemente en la contaminación de suelos, mantos acuíferos, además de los múltiples daños que genera en la salud humana. Tras diversos

estudios se ha demostrado su seguridad y el reto es concientizar a la población que son productos seguros y transferir esta tecnología a los productores de forma que sea sencilla su aplicación y ellos comprueben los beneficios que esta ofrece. Pero es muy probable que esta tecnología la comiencen a explotar grandes industrias pues les permitirá obtener mejores rendimientos en la producción de alimentos obteniendo cultivos de mejor calidad y más sostenibles, siempre y cuando se establezcan las regulaciones pertinentes.

Conclusiones

Los nanomateriales han surgido como una plataforma versátil, que podría proporcionar soluciones rentables, eficientes y ambientalmente aceptables a los desafíos de sostenibilidad global que enfrenta la sociedad, sin embargo aún es una tecnología muy temprana en la agricultura, a pesar que ofrece nuevas alternativas para incrementar la eficiencia de los cultivos y disminuir los riesgos de los pesticidas, es mínima su aplicación a gran escala.

La nanoagricultura permitirá controlar y liberar de forma precisa la cantidad en la zona específica del cultivo donde se requieran los agroquímicos, evitando el uso desproporcionado y excesivo de plaguicidas y fertilizantes como ocurre actualmente. Por lo tanto, la nanoagricultura podría ser una alternativa confiable en la obtención sostenible de los recursos alimenticios y consecuentemente jugar un papel importante en la seguridad alimentaria, la protección ambiental y salud humana por lo cual debe ser considerada como una alternativa seria para su uso a gran escala.

Referencias

- Bhushan, B. (2017). Introduction to Nanotechnology. Springer Handbooks.
- Callaghan, K., & Kerry, J. (2016). Consumer attitudes towards the application of smart packaging technologies to cheese products. *Food Packaging and Shelf Life*, 9, 1-9.
- Cásarez, S.R.G., Chanona-P.J.J., Reséndiz, M.C.A., Güemes, V.N., Manzo, R.A., Perea, F.M.J. & Marin, B.M.Q. (2019). Nanoagriculture and energy advances. *Plant Nanobionics. Prasad Ram, Advances in the Understanding of Nanomaterials Research and Applications*. (1ed., Vol.1, pp.141-164). Springer Nature Switzerland.
- Chookhongkha, N., Sopondilok, T., & Photchanachai, S. (2013). Effect of chitosan and chitosan nanoparticles on fungal growth and chilli seed quality. *Acta Hort.* 973, 231-237 DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.973.32. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.973.32>
- Ditta, A. (2012). How helpful is nanotechnology in agriculture?. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. 3. 10.1088/2043-6262/3/3/033002.
- FAOSTAT, (2020). Pesticides use. In: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/metadata> última actualización 10 de septiembre del 2020.
- Hernández, A.A., & Hansen, A.M. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), 115-127.
- Jampílek, J., & Králova, K. (2015). Application of nanotechnology in agriculture and food industry, its prospects and risks. *Ecological Chemistry and Engineering S*. 22(3), 321-361
- Khataee, A.R., Fathinia, M., & Joo, S.W. (2013). Simultaneous monitoring of photocatalysis of three pharmaceuticals by immobilized TiO₂ nanoparticles: chemometric assessment, intermediates identification and ecotoxicological evaluation. *Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy*, 112, 33-45. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2013.04.028>

- Kouzayha, A., Rabaa, A.R., Iskandarani, M., Beh, D., Budzinski, H., & Jaber, F. (2012). Multi residue method for determination of 67 pesticides in water samples using solid phase extraction with centrifugation and gas chromatography-mass spectrometry. *American Journal of Analytical Chemistry*, 3, 257–265, <https://doi.org/10.4236/ajac.2012.33034>.
- Malato, S., Blanco, J., Cáceres, J., Fernández, A.A., Agüera, A., & Rodríguez, A. (2002). Photocatalytic treatment of water-soluble pesticides by photo-Fenton and TiO₂ using solar energy. *Catalysis Today*, 76, 209-220.
- Mancilla, V.O.R., Ortega, E.H.M., Ramírez, A.C., Uscanga, M.E., Ramos, B.R., & Reyes, O.A.L. (2012). Total heavy metals and arsenic in irrigation water of Puebla and Veracruz, Mexico. *Revista Internacional De Contaminacion Ambiental*, 28, 39-48.
- Nevermann, K.S., & Guzmán, E. (2004). Detección de plaguicidas en vegetales de costa rica mediante la inhibición de colinesterasas humanas. *Archivos Latinoamericanos De Nutricion*, 54, 444-448.
- Nicolopoulou, S.P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P.M., & Hens, L. (2016). Chemical Pesticides and Human Health: The Urgent Need for a New Concept in Agriculture. *Frontiers in Public Health*, 4.
- Nodeh, H.R., Ibrahim, W., Kamboh, M.A., & Sanagi, M.M. (2015). Dispersive graphene-based silica coated magnetic nanoparticles as a new adsorbent for preconcentration of chlorinated pesticides from environmental water. *RSC Advances*, 5, 76424-76434.
- Ocsoy, I., Paret, M.L., Ocsoy, M.A., Kunwar, S., Chen, T., You, M., & Tan, W. (2013). Nanotechnology in plant disease management: DNA-directed silver nanoparticles on graphene oxide as an antibacterial against *Xanthomonas perforans*. *ACS nano*, 7(10), 8972–8980. <https://doi.org/10.1021/nn4034794>
- Oliveira, G.C., Moccelini, S.K., Castilho, M., Terezo, A.J., Possavatz, J., Magalhães, M., & Dores, E. (2012). Biosensor based on atemoya peroxidase immobilised on modified nanoclay for glyphosate biomonitoring. *Talanta*, 98, 130-6.
- Prasad, T., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K.R., Sreeprasad, T.S., Sajanlal, P.R., & Pradeep, T. (2012). Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*, 35, 905 - 927.
- Qian, K., Shi, T., Tang, T., Zhang, S., Liu, X., & Cao, Y. (2011). Preparation and characterization of nano-sized calcium carbonate as controlled release pesticide carrier for validamycin against *Rhizoctonia solani*. *Microchimica Acta*, 173, 51-57.
- Sahoo, D., Mandal, A., Mitra, T., Chakraborty, K., Bardhan, M., & Dasgupta, A. (2018). Nanosensing of Pesticides by Zinc Oxide Quantum Dot: An Optical and Electrochemical Approach for the Detection of Pesticides in Water. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(2), 414-423 .
- Saraji, M., Jafari, M., & Sherafatmand, H. (2014). Sol-gel/nanoclay composite as a solid-phase microextraction fiber coating for the determination

- of organophosphorus pesticides in water samples. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 407, 1241-1252.
- Singh, N.A. (2016). *Nanotechnology Definitions, Research, Industry and Property Rights*.
- US National Nanotechnology Initiative. (2018). What is nanotechnology? In: Nano.gov, www.nano.gov/nanotech-101/what/definition [Accessed 9 November 19].
- Vargas, S.D.R., & Zamora, F.J.L. (2017). Diseño y simulación de estructuras de sensores de microondas planares para la detección de presencia de glifosato en el agua. Tesis de Licenciatura. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia. In: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/15293> [Accessed 23 October 2020].
- Wanjeri, V., Sheppard, C., Prinsloo, A., Ngila, J.C., & Ndungu, P. (2018). Isotherm and kinetic investigations on the adsorption of organophosphorus pesticides on graphene oxide based silica coated magnetic nanoparticles functionalized with 2-phenylethylamine. *Journal of environmental chemical engineering*, 6, 1333-1346.
- Yuvaraj, M., & Subramanian, K. (2015). Controlled-release fertilizer of zinc encapsulated by a manganese hollow core shell. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61, 319 - 326.
- Zamora, R., Ayala, F.E., López, M.S., Barceló, Ó., Gómez, R.W., Mazariego, J.L., Navarro, G.R., & Schouwenaars, R. (2016). Optimisation and analysis of the synthesis of a cellular glass-ceramic produced from water purification sludge and clay. *Applied Clay Science*, 123, 232-238.
- Zheng, X., He, L., Duan, Y., Jiang, X., Xiang, G., Zhao, W., & Zhang, S. (2014). Poly(ionic liquid) immobilized magnetic nanoparticles as new adsorbent for extraction and enrichment of organophosphorus pesticides from tea drinks. *Journal of chromatography. A*, 1358, 39-45.

Recibido: 19 de noviembre de 2020

Corregido: 10 de mayo de 2021

Aceptado: 11 de junio de 2021

Conflicto de interés: No existe conflicto de interés