

Fig. 3. Aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura (Lira et al., 2021)

2013), además de considerar una serie de necesidades que en diversas áreas de la vida han acompañado al desarrollo de la humanidad. Un ejemplo de lo anterior, es la respuesta de las sociedades a la necesidad de alimentación eficiente, para lo cual, se empezó a utilizar una serie de agroquímicos y fertilizantes que trajeron como consecuencia “el deterioro de la salud del suelo, degradación de agroecosistemas, generación de problemas relacionados con el manejo de residuos, contaminación del ambiente y la resistencia creciente a los pesticidas por los insectos y patógenos” (Lira et al., 2018a). Así, en busca de una posible solución a la crisis alimentaria basada en una idea de un mejor aprovechamiento de los recursos, a través de un mejoramiento en los sistemas de producción ha derivado en problemas de enorme complejidad.

Afortunadamente, los avances científicos y tecnológicos siguen en la búsqueda de nuevas alternativas que permitan incrementar la producción y disminuir los costos ambientales (Castro, 2017), mejorar la capacidad de absorción del agua y nutrientes que ayuden al crecimiento de recursos vegetales (González y Chávez, 2009), la creación de herramientas moleculares y celulares que ayuden en la prevención y tratamiento de las enfermedades en las plantas (Sharon, Choudhary, Kumar, 2010). En otros términos, la humanidad se mantiene en constante investigación y desarrollo de mejores soluciones a sus

problemas mediante la innovación tecnológica.

En este contexto, se encuentra la nanotecnología, como un espacio de investigación que busca a través de la manipulación y desarrollo de nuevos materiales a escala nanométrica (Fig.1), generar herramientas novedosas para resolver una amplia gama de problemas en diversos sectores como el agrícola, agropecuario, forestal, acuícola, industrial, deportivo, farmacéutico, alimenticio, cosmético, ecológico, médico, entre otros.

De tal forma que, su uso está determinado por su propia definición, ya que la nanotecnología puede entenderse como “la manipulación de la materia a 100 nanómetros capaz de crear, controlar y transformar las propiedades de la materia con el fin de lograr que tenga mayor resistencia, durabilidad y conducción aplicable en los cuatro estados de la materia; sólido, líquido, gaseoso y plasma” (Espinosa et al., 2018), en términos sencillos, la nanotecnología trata de manejar los componentes de la materia desde su aspecto más “simple” para poder cambiar su estructura y propiedades físico-químicas y así obtener un mayor beneficio en su aplicación para la solución de problemas en la vida cotidiana.

Ahora bien, el desarrollo de la nanotecnología es un ejemplo de cómo la ciencia trabaja de manera

interdisciplinaria, ya que en ésta convergen ideas de áreas como la biología, química, física, ingeniería, entre otras, para desarrollar nuevas metodologías y técnicas que impacten de manera positiva en los sectores económicos, sociales y ecológicos, abonando así a los procesos de producción sustentable.

Respecto de los sectores vinculados con el campo, la nanotecnología ha mostrado avances significativos en los diferentes sistemas de producción como el agropecuario, agrícola y acuícola. En este sentido, diversos estudios exponen su uso en la genética animal, la reproducción, fisiología veterinaria, mejoramiento reproductivo, administración de fármacos y vacunas, diagnóstico de enfermedades, así como en la nutrición animal (Alí et al., 2021).

De manera puntual, uno de los primeros ejemplos en el campo agropecuario fue la imitación, a través de nanopartículas, de la superficie de la membrana celular en enterocitos de pollo (Fig.2) que llegaban al intestino de manera oral y una vez ahí, al contactarse con algún germen, éstas se cerraban para encapsularlo, después se aglutinaban y se expulsaban a través de las deyecciones protegiendo así al ave de enfermedades infecciosas (Cuca et al., 2018). Con ello, la nanotecnología influye en la solución no sólo de problemas de producción con impacto económico sino también de salud y escasez alimentaria en la humanidad.

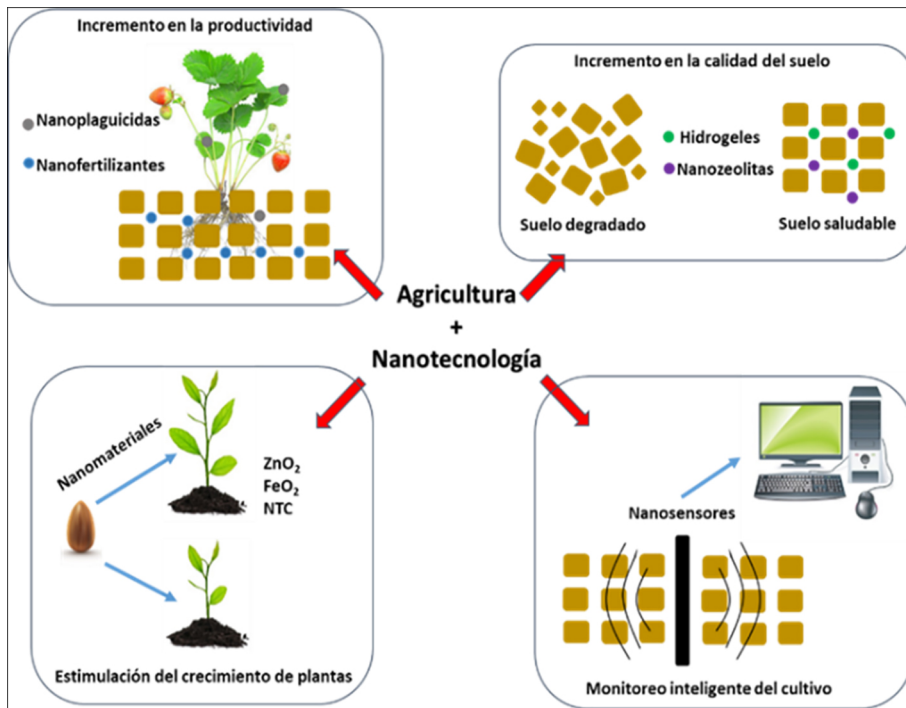


Fig. 3. Aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura (Lira et al., 2021).

Para el caso del sector agrícola, la nanotecnología nos ofrece una serie de alternativas vinculadas a temas como el mejoramiento e incremento de la productividad de los cultivos y la calidad del suelo, fabricación de nanosensores y agroinsumos (Fig.3). Uno de los temas de mayor interés está vinculado con el uso de plaguicidas o productos fitosanitarios cuya función es prevenir, disminuir o eliminar por completo aquellos patógenos (malezas, animales, insectos, microbios u otros insectos) que, al aumentar en número, se convierten en un problema para las plantas y/o cultivos (Rivas y Torres, 2021). Sin embargo, estas medidas originan una serie de problemas ecológicos y ambientales como: resistencia e incremento de poblaciones de malas hierbas, compactación del suelo y contaminación del agua, afectando severamente el desarrollo sustentable de la agricultura (Peng et al., 2021).

Por esta razón, una de las soluciones respaldada por diversos informes, es el uso de nanopartículas poliméricas (macromolécula compuesta de “N” número de unidades de repetición) biodegradables que muestran resultados positivos en la supresión del crecimiento y desarrollo de enfermedades causadas por bacterias y hongos (Garay et al.,

2023). Sin embargo, también podemos encontrar otras alternativas como la aplicación de nanoherbicidas que permiten administrar de manera más focalizada y controlada los tóxicos que regulan el desarrollo de plagas y sus efectos en las plantas, evitando así el uso excesivo de químicos que ponen en riesgo la fertilidad del suelo y la calidad del agua (Lira et al., 2021).

Además, en el caso de los nanotubos de carbono (NTC) se ha encontrado que

su tamaño les permite penetrar en las paredes y membranas de las células de tabaco, lo que abre la puerta para su uso el transporte de agua y nutrientes de manera más eficiente dentro de las plantas (Lira et al., 2018b).

Una de las promesas del uso de nanopartículas en el sector acuícola es que puede mejorar el desarrollo de los peces mediante una mejor absorción de nutrientes dentro del tracto digestivo (Fig.4), ya que, al incorporar los micronutrientes en forma de nanopartículas a los alimentos acuícolas, ingresarán de una manera más eficiente, aumentando entonces la tasa de absorción (Fajardo et al., 2022).

Como muestra de lo anterior, tenemos el caso de esturiones y carpas jóvenes que al alimentarse con nanopartículas de hierro presentaron una aceleración en sus tasas de crecimiento, lo mismo sucedió con la Trucha Arcoíris a quien también se le suministraron nanopartículas de hierro y *Lactobacillus casei* como prebiótico (Mohammadi y Tukmechi, 2015; Fajardo et al., 2022).

En conclusión, el crecimiento exponencial de la población seguirá demandando un mayor uso de recursos naturales, por lo tanto, la humanidad deberá de encontrar formas de maximizar sus sistemas de producción de una forma más sustentable y así poder subsanar los problemas vinculados con la crisis alimentaria. Sin



Fig. 4. Beneficios del uso de nanopartículas en alimentos para peces (Fajardo et al., 2022)

embargo, en este sentido aún no existe un sustento claro de que tan seguro es el empleo de nanopartículas en los sistemas agrícolas, ya que se podrían encontrar residuos de nanopesticidas y nanofertilizantes en los alimentos que podrían poner en riesgo la salud de los consumidores. Sin embargo, mientras siguen avanzando los estudios en cuestiones de salud, la nanotecnología ofrece una gran variedad de opciones para ayudar a los diferentes sectores productivos y generar beneficios económicos, sociales y ambientales.

Referencias

- Ali, A., Ijaz, M., Khan, Y. R., Sajid, H. A., Hussain, K., Rabbani, A. H. Ahmed, I. (2021). Role of nanotechnology in animal production and veterinary medicine. *Tropical Animal Health and Production*, 53, 1-14. DOI: 10.1007/s11250-021-02951-5
- Castro, R. D. (2017). Nanotecnología en la agricultura. *Bionatura*, 2(3), 48-53. DOI: 10.21931/RB/2017.03.03.9
- Cuca, G. J. M., López, M. Y., Gutiérrez, A. D. A. (2018). Síntesis de nanopartículas y su aplicación en la nutrición animal. *Agroproductividad: 1*, (6) 85-90. ISSN digital: 2594-0252
- Espinosa, V. E. M., Esteves, C. C., Cuadros, B. C. M., Olivera, O. Y. A. (2018). El mundo de la nanotecnología situación y prospectiva para México. ProMéxico.
- Fajardo, C., Martínez R. C., Blasco, J., Mancera, M. J., Bolaji, T., De Donato, M. (2022). Nanotechnology in aquaculture: Applications, perspectives and regulatory challenges. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), 185-200. ISSN 2468-550X, <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.12.006>.
- Garay, S. E., Reyes, T. A., Rodríguez, A., G., Soto, P. A., Gómez, D. N., Fernández, P. S. P. (2023). Nanoparticles used for management of Oomycetes diseases. *Nanophytopathology*. CRC Press. DOI:10.1201/9781003344513-8
- González, R.C, Chávez M. del C (2009). La nanotecnología en la agricultura y rehabilitación de suelos contaminados. *Mundo Nano Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 2(2). ISSN: 2448-5691 DOI: 10.22201/ceiich.24485691e.2009.2.53587
- Lira S., R. H., Méndez Argüello, B., De los Santos Villareal, G., & Vera Reyes, I. (2018a). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria*, 28 (2), 9-24. doi: 10.15174/au.2018.1575
- Lira S., Méndez Argüello, B., De los Santos Villareal, G., & Vera Reyes, I. (2018b). Agronanotecnología: una nueva herramienta para la agricultura moderna. *Facultad de ciencias agrarias UNCUIYO*, 50(2): 395-411. ISSN impreso 0370-4661. ISSN (en línea) 1853-8665
- Lira S., R. H., Vera Reyes I., De los Santos Villareal, G., & Vera Reyes, I. (2021). Agrotecnología para sistemas modernos de producción alimentaria. Disponible en: <https://ciqa.mx/Agronanotecnologia.aspx>
- Llanos, E. M. (2016). El desarrollo de los sistemas de producción y su influencia en las relaciones laborales y el rol del trabajador. *Economía y desarrollo*, 157(2), 130-146. ISSN versión On-line ISSN 0252-8584
- Peng Y, Li SJ, Yan J, Tang Y, Cheng JP, Gao AJ, Yao X, Ruan JJ, Xu BL. (2021). Research Progress on Phytopathogenic Fungi and Their Role as Biocontrol Agents. *Front Microbiol*. 12:670135. doi: 10.3389/fmicb.2021.670135. PMID: 34122383; PMCID: PMC8192705.
- Pinto, W. de J., de Marialva, J. E., Guida Cardoso, S. M., & Arcanjo Areas, M. (2010). Topología das principais proteínas da membrana e do citoesqueleto eritrocitário. *Revista De Ciências Médicas E Biológicas*, 12(1), 106-120. <https://doi.org/10.9771/cmbio.v12i1.6422>
- Rivas, R. L. K., Torres, P. I. (2021). Nanopartículas: nuevas aliadas de la agricultura. *Digitalciencia@UAQRO*. 19-17. ISSN: 2395-8847
- Rodríguez, S. P., Álvarez, G. H, Romo, S. (2022). Nanotecnología en reproducción asistida: acción de nanopartículas antioxidantes sobre espermatozoides bovinos. Disponible en <https://www.ganaderia.com/destacado/nanotecnologia-en-reproduccion-asistida-accion-de-nanopartículas-antioxidantes-sobre-espermatozoides-bovinos>
- Sharon, M., Choudhary A., Kumar R. (2010). Nanotechnology in agricultural diseases and food safety. *Journal of Phytology* 2(4): 83-92.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2013). World Population Prospects: The 2012 Revision, Highlights and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP.228.