

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Nanotecnología en la agricultura.

Nanotechnology in agriculture.

Dagoberto Castro-Restrepo

DOI. 10.21931/RB/2017.03.03.9

RESUMEN

Las plagas y enfermedades en los cultivos y las inadecuadas prácticas de manejo poscosecha contribuyen de manera importante a la pérdida de cosecha y alimentos. La nanotecnología aplicada al sector agrícola se utiliza como herramienta de diagnóstico para la detección de enfermedades, la liberación controlada de moléculas funcionales y el mejoramiento de los empaques que garanticen una mayor duración de los alimentos, sin que estos pierdan sus características organolépticas y sanitarias. En este sentido, se adelantan diseños en nanobiosensores, que son dispositivos compuestos por un elemento biológico y uno de transducción que tienen la capacidad de detectar y tratar una infección, una deficiencia nutricional u otro problema antes de que los síntomas sean visibles. Son evidentes los progresos en la producción de nanopesticidas (para el control y prevención de insectos plagas y enfermedades) que comprenden pequeñas partículas de ingredientes activos de pesticidas y otras nanopartículas (Ti, Al, Zn, Si, Cu, Au, Ag, entre otros), que tienen la propiedad de ser más estables y biodegradables. Durante la poscosecha se requiere conservar las características de frutos y vegetales para lo cual se han optimizado recubrimientos a nanoescala y nanolaminados que ofrecen barreras contra el oxígeno, dióxido de carbono, húmedas y luz UV.

Palabras Claves: nanobiotecnología, biosensores, fitosanidad, poscosecha, nanomateriales.

ABSTRACT

Pests and diseases in crops and inadequate postharvest handling practices contribute significantly to the loss of harvest and food. Nanotechnology in the agricultural sector is used as a diagnostic tool for the detection of diseases, the controlled release of functional molecules and improved packaging to ensure longer life of foods without them losing their organoleptic and health characteristics. In this sense, nanobiosensors designs are composite devices of biological and transduction elements, which have the ability to detect and treat infection, nutritional deficiency or other problems before symptoms are visible. There are evident progress in producing nanopesticides (for control and prevention of insect pests and diseases) comprising small particles of active ingredients of pesticides and other nanoparticles (Ti, Al, Zn, Si, Cu, Au, Ag, etc.), which have the property of being more stable and biodegradable. During postharvest it is required to conserve the characteristics of fruits and vegetables for which are optimized nanoscale coatings and nanolaminates that offering barriers for oxygen, carbon dioxide, moist and UV light.

Key Words: nanobiotecnology, biosensors, phytosanity, postharvest, nanomaterials.

Introducción

En la actualidad el mundo afronta nuevos retos frente a los recursos naturales debido a incremento de la población, la búsqueda de nuevas fuentes de energía, la producción de alimentos, el cambio climático y un aprovechamiento más eficiente de los recursos hídricos. Respecto a la agrobiotecnología, se plantean desafíos como el de alimentar a una población que en el futuro se duplicará y podrá ser de 15.000 millones de personas para lo cual se requiere aumentar la productividad agrícola y producir cultivos que requieran de una menor demanda de agua¹.

Los avances en ciencia y tecnología ofrecen soluciones potenciales para los países en desarrollo para innovar y adicionar valor a sus sistemas de producción de materias primas; se están implementando nuevas tecnologías que tienen el potencial para incrementar la productividad en la producción, la reducción de los costos ambientales y los recursos. Una de las mayores responsabilidades de cada persona, comunidad, institución o país, es garantizar la sostenibilidad del planeta, lo cual implica abordarlo desde diferentes dimensiones socioeconómicas, ambientales, éticas, académicas, investigativas. A partir de los retos globales formulados en el proyecto "Millenium" y de las prioridades de la FAO, las nuevas tecnologías emergentes como la biotecnología y la nanotecnología contribuyen

a afrontar algunos de ellos como son:

- Estrategias ante el cambio climático
- La seguridad alimentaria
- Nuevas fuentes de energía
- Preservación y uso de la biodiversidad.

La FAO (2013)² enfatiza la problemática de la alimentación desde la desnutrición, carencia de nutrientes, el sobrepeso y la obesidad, donde la agricultura y todo el sistema alimentario pueden contribuir a disminuir estas situaciones. Recientes estimaciones muestran que 868 millones de personas (el 12,5 % de la población mundial) manifiestan subnutrición; aunque, estas cifras indican una fracción de la carga mundial de la malnutrición. Se calcula que el 26 % de los niños del mundo padecen dificultades en su desarrollo de peso y altura, 2.000 millones de personas sufren de carencia de micronutrientes (uno o más) y 1.400 millones de personas tienen sobrepeso, de los cuales el 30% son obesos.

Agricultura y nanotecnología.

Antes de continuar con el tema de la agricultura y la *nanotecnología* es necesario entender lo que esta última significa. El término nanotecnología se refiere a una amplia área de la actividad tecnológica enfocada en la ingeniería y la manipulación de objetos en la nanoescala, hasta 100 nanómetros en tamaño. La na-

Universidad Católica de Oriente. Unidad de Biotecnología. AA. 008, Rionegro (Antioquia).

Correspondencia: investigacion.dir@uco.edu.co



Figura 1: Tipos de nanosensores y su aplicación en agroindustria (Adaptado de Sozer y Kokini 2009)²⁷.

nociencia es una actividad multidisciplinaria³, que como muchas tecnologías emergentes, facilitan la creación de aplicaciones que a menudo tienen implicaciones legales, éticas y sociales; a pesar de las percepciones por parte de la sociedad, se estima que más de 1.000 productos de consumo final se encuentran en los mercados en Norteamérica, desde implementos deportivos, ropa que se autolimpia, productos cosméticos hasta alimentos⁴.

En la agricultura se diseñan nuevas herramientas moleculares y celulares para la prevención y el tratamiento de las enfermedades en las plantas que incluyen⁵:

- § Detección y control de vectores y plagas.
- § Monitoreo de enfermedades.

§ Sistemas inteligentes que permitan el tratamiento a nanoescala que transporte y suministre con precisión sustancias terapéuticas como antibióticos, fungicidas, viricidas, etc.

Plagas y enfermedades, una amenaza global.

La enfermedad en una planta se considera como la interacción entre el hospedante (planta), el patógeno y el ambiente donde la planta expresa cambios fisiológicos y morfológicos indeseados⁶. Así mismo, la enfermedad de las plantas se considera como respuestas de las células y tejidos a un factor infectivo y ocasiona afectaciones metabólicas, lo cual implica disminución en rendimientos y calidad de la producción⁷.

Los daños son causados por plagas que incluyen hongos, bacterias, virus, insectos, nematodos, viroides y oomicetos, los cuales son la mayor amenaza en la seguridad alimentaria. Se estiman pérdidas del 30 % – 40 % de la producción de los cultivos anualmente⁸. Entre las causas de esta problemática se mencionan los monocultivos, el uso irracional de pesticidas, el calentamiento global y la falta de variedades resistentes.

En la actualidad son diversas las amenazas e impactos globales de las enfermedades en la producción de alimentos, como por ejemplo el Ug99 que es una cepa virulenta de la roya negra del trigo (*Puccinia graminis*) que se encuentra en evolución a través de África, Asia y más recientemente el Medio Oriente y que amenaza con la seguridad alimentaria de estas regiones. Otro ejemplo, es el marchitamiento del café a causa del hongo *Gibberella xylarioides* que ha producido pérdidas de mil millones de dólares en el centro y el este de África⁹.

Para tener claridad sobre esta amenaza global, de manera ge-

neral Oerke et al. (1994)¹⁰ informaron que la pérdida de los cultivos por enfermedades tiene un rango entre el 25 % y 50 % dependiendo del cultivo. Además, se estima el 10 % de daños durante la cosecha. En el caso del cultivo de cacao se pierde anualmente entre el 30 % y 40 % de la producción potencial global, como consecuencia del ataque de plagas y enfermedades¹¹.

En Colombia, un caso es el de la “sigatoka negra” en el banano, causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* para cuyo control se requiere un costo de aproximadamente US\$ 1.000 por hectárea/año, lo cual se magnifica si se estiman cerca de 48.000 ha sembradas con este cultivo en las regiones de Urabá y Santa Marta.

En los últimos años se ha reconocido que el cambio climático, la contaminación del aire, el agua y el suelo y la introducción de especies exóticas afectará la sanidad de las plantas^{12,13,14} y el cambio climático afectará la salud de las plantas en varias escalas (desde lo genético hasta el nivel ecosistémico, desde las fincas a las cuencas y continentes enteros) y están basados en: i) efectos observados del cambio climático en las enfermedades de las plantas; ii) extrapolación del conocimiento experto y estudios experimentales; y iii) modelos computacionales.

Recientes investigaciones sobre la utilización de la nanotecnología en plantas muestran que la incorporación de nanopartículas sintéticas puede incrementar la fotosíntesis y transformar las hojas en sensores bioquímicos. Giraldo et al. (2014)¹⁵ mostraron que nanotubos de carbono de pared sencilla (*single walled carbon nanotubes* —SWNT—) recubiertas con ADN de una hebra se infiltran en la envoltura lipídica de los cloroplastos de plantas extraídos y se ensamblan junto con proteínas fotosintéticas. Lo mismo ocurrió cuando los SWNT se liberaron en hojas vivas de *Arabidopsis thaliana* a través de los estomas. Los investigadores demostraron que la actividad fotosintética fue tres veces mayor en los cloroplastos que contenían SWNT que en los controles, debido al incremento en la captura de luz por las moléculas fotosintéticas.

La utilización de la nanotecnología permite el desarrollo de técnicas potenciales para el manejo de las enfermedades en los cultivos. Las nanopartículas pueden ser utilizadas en la preparación de nuevas formulaciones como insecticidas, fungicidas, repelentes de insectos y feromonas, lo cual se hace posible gracias a las nuevas propiedades de estos materiales como su reactividad,

efectos cuánticos y conductividad eléctrica.

Nanotecnología para diagnóstico y control de enfermedades

Las nuevas técnicas de diagnóstico de enfermedades en cultivos se orientan hacia métodos que las detecten en los estados iniciales y de una manera rápida. En la actualidad, se han perfeccionado técnicas como ELISA (*enzyme-linked immunosorbent assay*), RT-PCR (Reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real) y los sensores hiperespectrales¹⁶. Algunas de estas herramientas muestran deficiencias debido al tamaño de las sustancias del sensor utilizadas en la detección y cuantificación; como se sabe, los sistemas biológicos funcionan con dispositivos funcionales nanométricos tales como proteínas motoras, enzimas y ácidos nucleicos. Estos operan con extrema seguridad con el propósito de desarrollar procesos vitales como la replicación del ADN, expresión temporal y espacial de los genes, proliferación celular, entre otros.

Nano-biosensores:

Un biosensor es un dispositivo autónomo que integra un elemento biológico inmovilizado (p. ej. una enzima, sonda de ADN, anticuerpo) que reconoce el analito (p. ej. sustrato de una enzima, ADN complementario, antígeno) y un elemento de transducción que convierte la señal bioquímica resultante de la interacción del analito con el biorreceptor en una electrónica. De acuerdo con la señal de transducción los biosensores se clasifican en electroquímico, óptico, piezoeléctrico y mecánico.

La participación de las moléculas biológicas (azúcares o proteínas) como grupos objeto de reconocimiento podrían ser utilizados como biosensores en los alimentos¹⁷ para detectar patógenos y otros contaminantes. En la industria alimentaria, los nanosensores aumentarán la seguridad para la fabricación, procesamiento y envío de los productos alimenticios mediante el empleo de sensores para patógenos y la detección de contaminantes¹⁸.

Los daños en los alimentos son detectados con los nanosensores, como es el caso de un arreglo de miles de nanopartículas diseñadas para dar fluorescencia en diferentes colores al contacto con patógenos de los alimentos. Los tipos de nanosensores disponibles y su potencial aplicación en el sector de alimentos se muestran en la figura 1, y su objetivo principal es el de detectar patógenos en horas o minutos.

En la actualidad los pesticidas, antibióticos y fertilizantes se aplican a las plantas y al suelo mediante riego por aspersión o goteo. Estos productos se aplican como preventivos o una vez el patógeno ha afectado a la planta y sus síntomas son visibles; por el contrario, los dispositivos a nanoescala tienen la capacidad de detectar y tratar tempranamente la infección, la deficiencia nutricional u otro problema de la planta antes de que los síntomas sean evidentes. Este tipo de tratamiento se dirige solamente al área afectada.

Sharon et al. (2010)¹⁵ argumentan que los nanosensores bioanalíticos son utilizados para detectar y cuantificar mínimas cantidades de contaminantes como virus, bacterias, toxinas, sustancias biotóxicas, etc., en la agricultura y sistemas alimentarios. Estos biosensores tienen un enorme impacto en los métodos de agricultura de precisión. La nanotecnología permite que el monitoreo se realice en tiempo real donde los biosensores están vinculados a los sistemas de GPS. Estos biosensores monitorean las condiciones del suelo y el estado fenológico del cultivo en grandes extensiones de terreno.

Algunos biosensores comerciales utilizan enzimas redox de las plantas. Por ejemplo, la superóxido dismutasa se usa para evaluación de la actividad antioxidante¹⁹ y la tirosinasa (monofenol monooxigenasa) para monitorear la contaminación por fenólicos²⁰. La enzima lacasa se emplea para monitorear la presencia de flavonoides en alimentos²¹. Algunos biosensores como las narices electrónicas (*electronic noses*) se utilizan para analizar compues-

tos orgánicos volátiles de plantas enfermas y sanas en cultivos como papa y tomate. Laothawornkitkul et al. (2010) y Ghaffari et al. (2010)^{22,23} mostraron que mediante esta técnica fue posible discriminar entre plantas sanas y plantas afectadas por *Phytophthora infestans* y *Oidium lycopersicum*.

Nanopesticidas

Los nanopesticidas comprenden partículas muy pequeñas de ingredientes activos de pesticidas u otras nanoestructuras con propiedades pesticidas²⁴. Los nanopesticidas incrementan la dispersión y humectabilidad de las formulaciones agrícolas. Los nanomateriales y biocompuestos muestran propiedades útiles como la estabilidad, permeabilidad, cristalinidad, solubilidad y biodegradabilidad^{25,26} necesarios para la formulación de nanopesticidas. Las nanoemulsiones, nanoencapsulados, nanocontenedores y nanocajas son algunas de las técnicas de liberación de nanopesticidas. En general se busca que los nanopesticidas se puedan degradar rápidamente en el suelo, que perduren mayor tiempo en la planta, pero con concentraciones inferiores a los criterios regulatorios de alimentos.

La tiroidectomía transoral requiere de un espacio o cavidad para el abordaje con insuflación. El límite máximo de la presión de CO₂ debe estar en 10 mm, ya que el objetivo es realizar una pequeña cavidad donde pueda practicarse una disección mínima con los instrumentos que permita la identificación, pinzamiento y extracción. Entre las complicaciones referidas con la utilización de gas tenemos: hipercapnia, acidosis respiratoria y enfisema subcutáneo¹⁸.

Khodakovsky et al. (2000)²⁸ demostraron que cuando sembraron semillas de tomate en un suelo al cual se le adicionaron nanotubos de carbón (NTC), estos penetraron la cubierta o testa de la semilla y produjeron un incremento en el crecimiento de las plantas como efecto de la mejor absorción del agua por la penetración de los NTC. Su uso se ha propuesto como un vehículo para el transporte y liberación de moléculas deseables en las semillas durante la germinación que las protejan de enfermedades. Actualmente, se comercializan nanopartículas de plata con propiedades antibacteriales y serán una alternativa para la desinfección de semilla de plantas y materiales de propagación como bulbos, esquejes; y la prevención y control de enfermedades causadas por bacterias.

Park et al. (2006)²⁹ desarrollaron una sustancia compuesta de nanoplatina combinada con moléculas de sílice y un polímero soluble en agua, la cual se está utilizando con éxito para el control de mildéu polvoso en calabaza, en concentraciones de 0,3 ppm; de igual manera, estos investigadores estudiaron la concentración efectiva de las nanopartículas de sílice y plata en la supresión de algunos hongos y encontró que *Pythium ultimum*, *Magnaporthe grisea*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Botrytis cinerea* y *Rhizoctonia solani* tuvieron un 100 % de inhibición a 100 ppm del producto.

En el cultivo de rosas en invernadero la enfermedad más común es el mildéu polvoso causado por *Podosphaera pannosa* que ocasiona pérdidas económicas. En vista de la baja eficiencia del control químico se han buscado alternativas; entre ellas, la utilización del sílice. Shetty et al. (2012)³⁰ estudiaron el efecto de la aplicación por riego de una solución de 100 mg/l de K₂SiO₃ a plantas de cuatro genotipos de rosa miniatura, las cuales luego fueron infectadas con *P. pannosa*; el contenido de Si se incrementó en las hojas hasta cuatro veces más en comparación con las plantas testigo donde no se utilizó el Si. Las plantas tratadas mostraron síntomas dos días más tarde y la severidad se redujo hasta el 48,9 %.

Nanotecnología en el manejo poscosecha

Durante la postcosecha los vegetales y frutos continúan su metabolismo de manera continua; durante los procesos de transporte y almacenamiento se deterioran sus características nutricionales, organolépticas y apariencia por la pérdida de agua y res-

piración. Para extender la vida útil de la postcosecha se utilizan algunas medidas como bajas temperaturas, atmósferas modificadas, empaques, irradiaciones y cubrimientos^{31,32}.

Las Naciones Unidas estiman que anualmente se pierden más de 1.300 millones de toneladas de alimentos (FAO 2011); es decir que, globalmente, cerca de una tercera parte de los alimentos que produce el hombre son desperdiciados en toda la cadena de suministro desde la producción agrícola hasta el consumidor final. En términos generales, las pérdidas de alimentos estarán influenciadas por las técnicas de cultivo, infraestructura interna, cadenas de mercado, canales de distribución, prácticas de compra de los consumidores y uso de los alimentos.

Como se había mencionado anteriormente, en el mundo se producen pérdidas hasta de un 10 % en la etapa de poscosecha, especialmente por la infestación de los granos almacenados debido al ataque de insectos. Stadler et al. (2010)³³ produjeron un insecticida a partir de alúmina nanoestructurada (ANE), para lo cual tomaron polvo de aluminio que se hizo reaccionar con ácido nítrico, luego la mezcla se pirolizó y se obtuvieron nanopartículas que se aglutinaron en estructuras más grandes. Aunque no se ha dilucidado plenamente su modo de acción, se cree que su actividad de la ANE actúa, en principio, sobre la base de carga electrostática de las partículas y fenómenos de triboelectrificación y a través de la absorción de las ceras cuticulares de los insectos. La amplia superficie específica de los materiales nanoestructurados les permite absorber líquidos y gases, una posible explicación es que causan la deshidratación de los insectos.

En la industria de las flores de corte, uno de los mayores problemas es el déficit hídrico cuando la tasa de absorción de agua es menor que la tasa de transpiración, lo cual acorta la vida útil de flores como rosas, gerberas, calas en condiciones de florero. Peitao et al. (2010)³⁴ encontraron que cuando se utilizaron pulsos de una hora con nanopartículas de plata (NAg) con 50 a 100 mg/L se extendió la vida en florero de rosas de corte, de 10 a 19 días y además se encontró un alto contenido de agua en las hojas. De igual manera, hubo una importante actividad antibacteriana debido al tamaño de las partículas.

Empaques de alimentos

Sin lugar a dudas, el área más activa de la investigación y desarrollo de la nanociencia de los alimentos es el del empaque o empaque: el mercado global de nanoempaques en alimentos y bebidas fue de 4.130 millones en 2008; se proyecta que crezca a 7.300 millones en el 2014, lo cual representa una tasa de crecimiento anual del 11,65 % (Innovative Research and Products Inc. 2009). Probablemente, se relaciona con el hecho de que el público ha demostrado en algunos estudios que está más dispuesto a incluir la nanotecnología en los empaques y no adicionarlos directamente a los alimentos^{35,36}. A pesar del crecimiento de las aplicaciones en esta área, la nanotecnología en alimentos está por debajo del espectro de esta tecnología³⁷.

Los consumidores de alimentos demandan con mayor frecuencia que los alimentos se preserven más tiempo, que no pierdan sus características organolépticas y que se mantengan inocuos, para lo cual los empaques juegan un papel importante. Reynolds (2007)³⁸ informa que se comercializan entre 400 a 500 tipos de nano-empaques y se espera que en la próxima década al menos el 25 % de todos los empaques de alimentos serán producidos de forma nanotecnológica, los cuales son diseñados para reducir el intercambio de gases, humedad y la exposición a la luz UV, o emitir sustancias antimicrobiales o antioxidantes³⁹.

En el caso del grupo de cervecerías Miller, se elaboran envases plásticos con nanopartículas que proveen barreras entre el dióxido de carbono y oxígeno para que se conserve la efervescencia más tiempo. DuPont (2010)⁴⁰ ha puesto en el mercado nanopartículas de dióxido de titanio para la producción de empaques transparentes con la capacidad de protegerlos contra los efectos de la luz UV.

Para conservar alimentos como quesos, manzanas, cítricos y otros, se han utilizado capas cerosas y más recientemente se han efectuado innovaciones para producir a nanoescala recubrimientos comestibles (menos de 0,5 nm de ancho) invisibles al ojo humano. Estos se han desarrollado en algunos alimentos como vegetales, frutos, carnes, chocolates, caramelos y papas fritas (Rhim 2004). Actualmente, se emplean nanopartículas de ZnO, SiO₂ y CaCO₃ en la preservación de frutas durante la postcosecha.

Yu et al. (2012)⁴¹ utilizaron un recubrimiento conformado por quitosano con nanopartículas de SiO₂ en frutos de dátiles rojos en condiciones ambientales normales. Después de 32 días coloraron que la pérdida de peso, la tasa de respiración y la coloración fueron menores respecto al control. De igual manera, se encontró que la actividad antioxidante y los contenidos de flavonoides totales en los frutos tratados fueron mayores.

También se está innovando en las técnicas de nanolaminados que consisten en dos o más capas de tamaño nano (1 a 100) de calidad alimentaria, formadas por polisacáridos comestibles, proteínas y lípidos que permiten aislar los alimentos del contacto directo con el aire, gases y lípidos^{42,43}. Park (1999)⁴⁴ demostró que los nanolaminados de proteínas o polisacáridos eran buenas barreras contra el oxígeno y el dióxido de carbono, pero pobres en protección contra la humedad; mientras que, los nanolaminados basados en lípidos eran buenos protectores contra la humedad. Se realizan nuevas investigaciones para desarrollar laminados que preserven los alimentos³⁸.

¿Cómo se regulan estos productos?

Las empresas que fabrican, procesan o utilizan nanomateriales por sus propiedades revolucionarias deben navegar ambientes regulatorios en algunos casos de incertidumbre, cambiantes y diversos. Las estrategias que se tomen ahora pueden impactar el mercado de productos con nanomateriales en el futuro. Por lo tanto, el seguimiento de estos desarrollos y tendencias es esencial⁴⁵.

A causa de la información limitada sobre los riesgos de la manipulación de los nanomateriales, se tienen serias percepciones sobre los riesgos que implican en la salud. Algunas discusiones sobre el potencial riesgo han sorprendido al público, donde se recomienda tomar fuertes precauciones en torno a los riesgos sobre la salud y la seguridad⁴⁶. Esta situación la confirman Bowman et al. (2007)⁴⁷, quienes argumentan que no existen estándares o marcos regulatorios de nanomateriales de uso agrícola. La toxicidad o bioseguridad de los pesticidas es otra de las mayores preocupaciones en la producción agrícola. Con la aplicación de nanopesticidas existe la incertidumbre en el largo plazo sobre los efectos en la salud humana y el medio ambiente.

Xu et al. (2010)⁴⁸ señalan que, a causa de la mejor cinética, estabilidad, menor tamaño, baja viscosidad y transparencia óptica de las nanoemulsiones podrían ser el mejor medio de aplicación de los pesticidas. La nanoemulsión como transportadora de pesticidas mejora la solubilidad o biodisponibilidad de los nanopesticidas. Es necesario evaluar la posible inhalación de nanopesticidas que ocurre cuando los agricultores estén realizando las aspersiones a los cultivos.

De tal manera que se requieren más estudios en la aplicación de la nanotecnología en el procesamiento y empaque, nanotoxicidad, regulación, análisis de riesgos y beneficios. En recientes años se han señalado más de 200 productos identificados como "nano", de los cuales el 59 % se consideran como "saludables y sanos"⁴⁹.

CONCLUSIONES

Las pérdidas de alimentos tienen un impacto sobre la seguridad alimentaria mundial e implica efectos económicos, ambientales y sociales. Una tercera parte de los productos agrícolas se pierden a través de toda la cadena productiva y entre las causas se

atribuyen al cambio climático que afectan las poblaciones de plagas y enfermedades y a inadecuados procesos de manipulación y poscosecha. Frente a estos problemas se han desarrollado diversos métodos para el diagnóstico y el control desde disciplinas como la química, bioquímica, biología y biotecnología.

Recientemente, la nanotecnología ofrece potenciales beneficios en la agricultura con innovaciones como el uso de biosensores que permitirán la detección y cuantificación rápida, segura y temprana de microorganismos fitopatogénicos y de microorganismos involucrados en las enfermedades transmitidas por alimentos y los contaminantes orgánicos e inorgánicos que ponen en peligro la salud del consumidor. Se han logrado avances en la producción de nanopartículas para liberar ingredientes activos para la terapia de las enfermedades en las plantas con menores efectos sobre el medio ambiente. Debido a la ausencia de regulaciones sobre los nanomateriales, existen muchas inquietudes respecto al impacto sobre las personas y el medio ambiente en el largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

El presente manuscrito hace parte de los resultados del proyecto “Algunas implicaciones de la nanotecnología: una perspectiva multidisciplinaria” gracias al cofinanciamiento de la Universidad Pontificia Bolivariana y la Universidad Católica de Oriente.

Referencias bibliográficas

1. THE MILLENNIUM PROJECT. 2011. 2012 State of the Future. Executive summary. Consultado en Agosto, 2013. Available at: <http://redbioargentina2013.com.ar/>
2. FAO. 2013. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Consultado marzo 25, 2014. En <http://www.fao.org/publications/sofa/es/>
3. WOOD S., JONES R., GELDART A. 2007. Nanotechnology, from the science to the social. The social, ethical, and economic aspects of the debate. Consultado diciembre 20, 2013. http://www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/Images/ESRC_Nano07_tcm_618918.pdf.
4. SCHEUFELE D., DUDO A. 2010. Emerging agendas at the intersection of political and science communication. The case of nanotechnology. pp. 143–167. In C. T. Salmon (Ed.). *Communication Yearbook 34*. New York, NY: Routledge.
5. SHARON M., CHOUDHARY A., KUMAR R. 2010. Nanotechnology in agricultural diseases and food safety. *Journal of Phytology* 2(4): 83–92
6. GUZMAN O., CASTAÑO J., VILLEGAS B. 2009. Diagnóstico de enfermedades de plantas de origen biótico. *Agronomía* 17(2): 7–24.
7. AGRIOS G. 2005. *Plant pathology*. Fifth ed. Elsevier Academic Press, Nueva York 952 p.
8. FLOOD J. 2010. The importance of plant health to food security. *Food Security* 2 (3):215–231.
9. ALEMU T. 2012. A review of coffee wilt disease, *Gibberella xylarioides* (*Fusarium xylarioides*) in Africa with special reference to Ethiopia. *Ethiopian Journal of Biological Sciences* 11(1): 65–103.
10. OERKE E., DEHNE H., SCHÖNBECK F., WEBER A. 1994. Crop production and crop protection estimated crop losses in major food and cash crops. Elsevier, Netherlands. 288p.
11. FLOOD J., GUEST D., HOLMES K., KEANE P., PADI B., SULISTYOWATI E. 2004. Cocoa under attack. Pages 33 – 54. In: J. Flood and R. Murphy (Eds). *Cocoa Futures: A Source Book of Some Important Issues Facing the Cocoa Industry*. Chinchiná, Colombia: CABI-FEDERACAFE, USDA.
12. MATYSSEK R., WIESER G., CALFAPIETRA C., DE VRIES W., DIZENGREMEL P., ERNST D. 2012. Forest under climate change and air pollution: gaps in understanding and future directions for research. *Environmental Pollution* 160: 57–65. doi: 10.1016/j.envpol.2011.07.007. Disponible desde: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15895296>
13. RÉGNIERE, J. (2012). Invasive species, climate change and forest health. pp. 27–37. In T. Schlichter y L. Monetes (Eds.). *Forest in development: a vital balance*. Berlin: Springer.
14. PAUTASSO M., DÖRING T., GARBELOTTO M., PELLIS L., JEGER M. 2012. Impacts of climate change on plant diseases—opinions and trends. *European Journal of Plant Pathology* 133 (1):295–31
15. GIRALDO J., LANDRY M., FALTEMEIER S., MCNICHOLAS, T., IVERSON N., BOGHOSSIAN A., REUEL N., HILEMER A., SEN F., BREW J., STRANO M. 2014. Plant nonobionics approach to augment photosynthesis and biochemical sensing. *Nature Materials* 13 (5): 400–408.27
16. DEHNE H., GOLDBACH H. 2011. Detection, identification, and quantification of fungal diseases of sugar beet leaves using imaging and non-imaging hyperspectral techniques. Institute of Crop Science and Resource Conservation – Phytomedicine. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn. 186p
17. CHARYCH D., CHENG Q., REICHERT A., UZIEMKO G., STROH N., NAGY J., SPEVAK W., STEVENS R. 1996. . A “litmus test” for molecular recognition using artificial membranes. *Chemical Biology* 3 (2):113 – 120
18. SHARON M., CHOUDHARY A., KUMAR R. 2010. Nanotechnology in agricultural diseases and food safety. *Journal of Phytology* 2(4): 83–92
19. PRIETO-SIMON B, CORTINA M, CAMPAS M, CALAS-BLANCHARD C. 2008. Electrochemical biosensors as a tool for antioxidant capacity assessment. *Sensors and Actuators* 129 (1):459–466.
20. TEMBE S, INAMDAR S, HARAM S, KARVE M, D'SOUZA S. 2007. Electrochemical biosensor for catechol using agarose-guar gum entrapped tyrosinase. *Journal of Biotechnology* 128 (1):80–85.
21. JAROSZ-WILKOLAZKA A, RUZGAS T, GORTON L. 2004. Use of laccase modified electrode for amperometric detection of plant flavonoids. *Enzyme and Microbial Technology* 35 (3):238–241.
22. LAOTHAWORNKITKUL J., JANSEN B., SMIDD H., BOUWMEESTER H., MULLER J., VAN BRUGGENA A. 2010. Volatile organic compounds as a diagnostic marker of late blight infected potato plants: A pilot study. *Crop Protection* 29 (8): 872 – 878.
23. GHAFFARI R., ZHANG F., ILIESCU D., HINES E., LEESON M., NAPIER R., CLARKSON J. 2010. Early detection of diseases in tomato crops: An Electronic Nose and intelligent systems approach. Proceedings pp. 1–6. In: 2010 International Joint Conference on Neural Networks IJCNN 2, Barcelona, 18–23 July 2010. Published in: IEEE International Conference on Neural Networks.
24. BERGESON L. 2010. Nanosilver pesticide products: what does the future hold? *Environmental Quality Management* 19 (4): 73– 82.
25. BORDES P., POLLET E., AVÉROUS L. 2009. Nano-biocomposites: biodegradable polyester/nanoclay systems. *Progress in Polymer Science* 34 (2): 125–155.
26. BOUWMEESTER H., DEKKERS S., NOORDAM M., HAGENS, W., BULDER A., DE HEER C., TEN VOORDE S., WIJNHOFEN W., MARVIN H., SIPS A. 2009. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 53 (2): 52–62.
27. SOZER N., KOKINI J. 2009. Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in biotechnology* 27 (2):82–89.
28. KHODAKOVSKY A., SCHRODER P., SWELDENS W. 2000. Progressive geometry compression, in *Siggraph 2000. Computer Graphics Proceedings* pp. 271–278.
29. PARK H., SUNG H., HWA J., SEONG-HO CH. 2006. A New Composition of Nanosized Silica-Silver for Control of Various Plant Diseases. *Plant Pathology Journal* 22(3): 295–302.
30. SHETTY R., JENSEN B., SHETTY N., HANSEN M., HANSEN C., STARKEY K., JØRGENSEN, H. 2012. Silicon induced resistance against powdery mildew of roses caused by *Podosphaera pannosa*. *Plant Pathology* 61(1): 120–131
31. XANTHOPOULOS G., KORONAKI E. BOUDOUVIS G. 2012. Mass transport analysis in perforation-mediated modified atmosphere packaging of strawberries. *Journal of Food Engineering* 111 (2): 326–335.
32. JIANGLIAN D, SHAOYING Z. 2013. Application of Chitosan Based Coating in Fruit and Vegetable Preservation: A Review. *Journal of Food Processing and Technology* 4 (5): 227. doi:10.4172/2157-7110.1000227
33. STADLER T, BUTELER M., WEAVER D. 2010. Nano-insecticidas: Nuevas perspectivas para el control de plagas. *Revista de la Sociedad Entomológica de Argentina* 69 (3): 149–156.
34. PEITAO L., CAO J., HEA S., LIU J., LI H., CHENGA G., DINGA Y., JOYCEC D. 2010. Nano-silver pulse treatments improve water relations of cut rose cv. Movie Star flowers. *Postharvest Biology and Technology* 57 (3): 196–202.
35. SIEGRIST M., COUSIN H., KASTENHOLZ K., WIEK A. 2007.

- Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: the influence of affect and trust. *Appetite* 49 (3): 459 - 466.
36. SIEGRIST M., STAMPFLI H., KASTENHOLZ K. 2008. Perceived risks and perceived benefits of different nanotechnology foods and nanotechnology packaging. *Appetite* 51(2): 283 - 289.
 37. TIMOTHY, D. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science* 363 (1): 1-24
 38. REYNOLDS, G. 2007. FDA recommends nanotechnology research, but not labelling. *FoodProductionDaily.com*. Consultado diciembre 17, 2013. Available at <http://www.foodproductiondailyusa.com/news/ng.asp?n=78574->
 39. SORRENTINO A., G GORRASI AND VITTORIA V. 2007. Potential perspectives of bio-nano composites for food packaging applications. *Trends in Food Science and Technology* 18 (2): 84-95.
 40. DUPONT. 2010. Titanium dioxide: a brief overview of TiO2 pigments compared with TiO2 nanomaterials. Consultado 10 febrero 2014. Available at: http://www.dtsc.ca.gov/TechnologyDevelopment/Nanotechnology/upload/Whiting-_TiO2_Uses.pdf.
 41. YU Y., ZHANG S., REN Y., LI H., ZHANG X., DI J. 2012. Jujube preservation using chitosan film with nano-silicon dioxide. *Journal of Food Engineering* 113 (3) : 408-414.
 42. MEHAR Q., SWAMINATHAN K., KARTHIKEYAN P., PERVEZ K., SUDHIR U., UMESH M. 2012. Application of nanotechnology in food and dairy processing: An overview. *Pakistan Journal of Food Sciences* 22(1): 23-31.
 43. CHA D., CHINNAN M. 2004. Biopolymer based antimicrobial packaging. *Review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44 (4): 223-237.
 44. PARK H. 1999. Development of Advanced Edible Coatings for Fruits. *Trends in Food Science and Technology* 10 (8): 254-260.
 45. DUVALL M., WYATT A. 2011. Regulation of nanotechnology and nanomaterials at EPA and around the world: recent developments and context. *Beveridge & Diamond, P.C.* 1350 I Street, N.W., Suite 700 Washington, DC 20015.
 46. ETC GROUP ACTION. GROUP ON EROSION, TECHNOLOGY AND CONCENTRATION. 2005. The potential impacts of nano-scale technologies on commodity markets: the implication for commodity depending development countries. Consultado enero 12, 2014. <http://etcgroup.org/upload/publications/45/01/southcentre.commodities.pdf>
 47. BOWMAN D., HODGE, G. 2007. A small matter of regulation: an international review of nanotechnology regulation. *Columbia Science. Technology Law Review*. 8: 1-32.
 48. XU L., LIU Y., BAI R., CHEN C. 2010. Applications and toxicological issues surrounding nanotechnology in the food industry. *Pure and Applied Chemistry*. 82 (2): 349-372.
 49. CHAU, F., HUEI, SH., CHIN G. 2007. The development of regulations for food nanotechnology. *Trends in food Science and technology* 18 (5): 269 - 280.

Recibido: 20 de Mayo de 2017.

Aprobado: 20 de Junio de 2017.

#VACCINESWORK TO PROTECT INDIVIDUALS AND COMMUNITIES

Immunization is our shield against serious diseases.

When immunization rates are high, the wider community is protected including:

Infants who are too young to receive their vaccines.



Older adults at risk of serious diseases.

People who take medication that lowers their immune systems.



Check with your doctor that you are fully vaccinated.



World Health Organization