

Nanotecnología: buscando agroquímicos más eficientes y respetuosos con el medio ambiente



1. ¿ Qué es la nanotecnología?

2. Nanotransportes para liberación controlada de sustancias.

3. Soluciones nanotecnológicas para la agricultura.

4. Consideraciones para las aplicaciones en campo.

5. El Proyecto HYPATIA

6. Ejemplos de nanomateriales para su uso en agricultura.



INSTITUTO ANDALUZ DE INVESTIGACIÓN
Y FORMACIÓN AGRARIA, PESQUERA,
ALIMENTARIA Y DE LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA
Consejería de Agricultura, Ganadería,
Pesca y Desarrollo Sostenible



Unión Europea
Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Nanotecnología: buscando agroquímicos más eficientes y respetuosos con el medio ambiente. / [Miguel-Rojas, C.; Pérez de Luque, A.]. - Córdoba. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2020. 1-10 p. Formato digital (e-book) - (Producción Agraria)

Nanotecnología - Agroquímicos - Nanopartículas - Agricultura sostenible - Hypatia



Este documento está bajo Licencia Creative Commons.
Reconocimiento-No comercial-Sin obra derivada.
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es>

Nanotecnología: buscando agroquímicos más eficientes y respetuosos con el medio ambiente.

© Edita JUNTA DE ANDALUCÍA. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible.
Córdoba, Abril de 2020.

Autoría:

Cristina Miguel-Rojas ¹

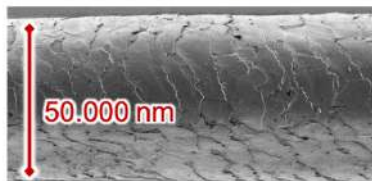
Alejandro Pérez de Luque ¹

¹ IFAPA, Centro Alameda del Obispo

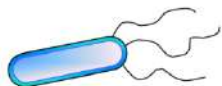
Nanotecnología: buscando agroquímicos mas eficientes y respetuosos con el medio ambiente

1.- ¿Qué es la nanotecnología?

La primera vez que alguien habló de nanotecnología fue en 1959, durante una charla que impartió el premio Nobel de Física, Richard P. Feymann. En ella comentaba la posibilidad de manipular los átomos para dar forma a la materia según nuestras necesidades. Desde entonces, esta rama de la ciencia ha evolucionado mucho hasta convertirse en una de las más destacadas durante este siglo XXI.



Cabello humano



Bacterias
5.000 nm



Virus
80 nm

Imagen 1. Escala comparativa de las dimensiones de un nanómetro (nm)

Definición de la Real Academia Española (RAE)

El diccionario de la RAE define la nanotecnología como la “tecnología de los materiales y de las estructuras en la que el orden de magnitud se mide en nanómetros, con aplicación a la física, la química y la biología”. Pero, ¿qué significa eso? Pues nada más y nada menos que lo que decía el Dr. Feymann: manipular la materia a una escala muy pequeña, casi a la de los átomos individuales.

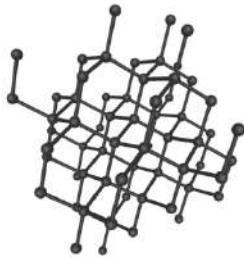
El **nanómetro (nm)**, que es la unidad de medida que se usa en este caso, es la millonésima parte de un milímetro. Para hacerse una idea de las dimensiones, la nanotecnología manipula la materia con tamaños que oscilan de 1 a 100 nm, y un cabello humano tiene un grosor de entre 50.000-80.000 nm (Imagen 1).

Pero, ¿es entonces tan importante la nanotecnología? Pues mucho: simplemente el cambiar cómo se organizan los átomos de un mismo elemento puede dar lugar a materiales muy distintos. Es como emplear piezas de LEGO para hacer cosas distintas. En la imagen 2 se muestran varios ejemplos usando como elemento común el carbono.

Nanotecnología: buscando agroquímicos mas eficientes y respetuosos con el medio ambiente

Por ejemplo, el carbono, si se ordena en una estructura de red tridimensional, da lugar al diamante, mientras que si se ordena en láminas bidimensionales (en capas), origina el grafito (imagen 2A). Dos materiales compuestos por los mismos átomos pero con propiedades muy diferentes según cómo se organizan éstos. Y hoy día ya somos capaces de reordenar esos átomos para originar materiales muy diferentes, como los fulerenos y nanotubos (imagen 2B).

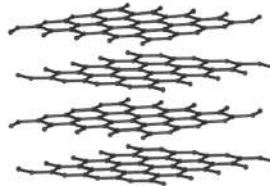
A)



ESTRUCTURA CRISTALINA DEL DIAMANTE



DIAMANTE

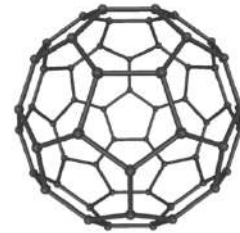


ESTRUCTURA LAMINAR DEL GRAFITO

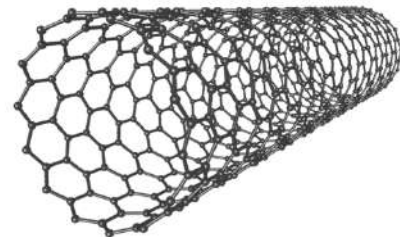


GRAFITO

B)



FULERENO



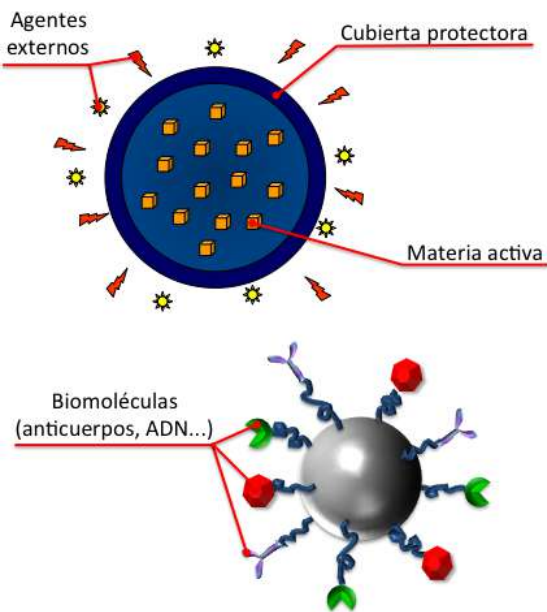
NANOTUBO

Imagen 2. El panel A muestra la organización de los átomos de carbono en la estructura natural del diamante y la estructura en forma de capas del grafito. El panel B muestra la organización de los átomos de carbono en las estructuras artificiales de los materiales fulerenos y nanotubos.

Nanotecnología: buscando agroquímicos mas eficientes y respetuosos con el medio ambiente

2.- Nanotransportes para liberación controlada de sustancias.

Desde finales del siglo pasado, la nanotecnología ha iniciado una revolución en algunas disciplinas como la medicina, contribuyendo con avances muy prometedores en las áreas de detección precoz de enfermedades y en el tratamiento localizado y específico con fármacos (sobre todo para el cáncer). La mayor parte de esa revolución se ha debido al desarrollo de nanotransportes, diminutas partículas o cápsulas que permiten controlar cuándo y dónde se van a liberar las sustancias con las que se cargan. Y son estos nanodispositivos los que tienen una aplicación más inmediata en el terreno de la agricultura, debido a sus cualidades y características, que describimos a continuación (Imágenes 3 y 4):



1. Poseen una cubierta que envuelve a la materia activa que transportan, y la protege frente a la acción de agentes externos que podrían degradarla (pH, luz, temperatura...).
2. La cubierta también puede cambiar la solubilidad (en medios acuosos o lipídicos), para favorecer la penetración en unos tejidos u otros.
3. Pueden engancharse biomoléculas (ADN, anticuerpos...) en la superficie, que sirven para reconocer a otras sustancias específicas y unirse a ellas.

Imagen 3. Características de las nanocápsulas y nanopartículas usadas para el transporte de sustancias.

Nanotecnología: buscando agroquímicos mas eficientes y respetuosos con el medio ambiente

4. Las nanopartículas o nanocápsulas pueden liberar la materia activa de una forma controlada, bien de golpe al recibir algún tipo de activación, o bien lentamente durante un período prolongado de tiempo.

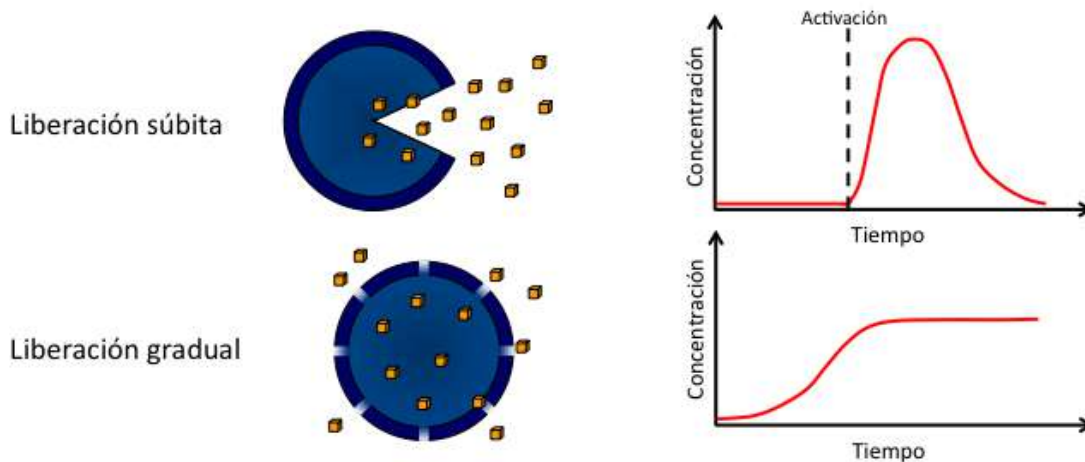


Imagen 4. Tipos de liberación de la materia activa por parte de las nanopartículas y nanocápsulas.

El crecimiento de la población mundial durante los próximos años nos va a llevar a una mayor demanda de alimentos y a mantener o incrementar los rendimientos de la agricultura. Además, el excesivo uso de agroquímicos, tanto para el abonado como para fines fitosanitarios, supone una continua amenaza para el medio natural. Por tanto, la situación actual es totalmente insostenible si queremos evitar la degradación de la naturaleza. Y es que tanto gobiernos, como la sociedad en general, se enfrentan a dos objetivos totalmente antagónicos: por un lado mantener o aumentar la producción de alimentos, mientras se disminuye el impacto ambiental que ello supone. Y aquí es donde la nanotecnología y los dispositivos de liberación controlada pueden aportar soluciones.

Nanotecnología: buscando agroquímicos mas eficientes y respetuosos con el medio ambiente

3.- Soluciones nanotecnológicas para la agricultura.

Las **nanopartículas** y **nanocápsulas** para liberación controlada de agroquímicos nos pueden permitir reducir la cantidad de materia activa necesaria para aplicar en campo, lo que se traduciría en un menor impacto ambiental. Al proteger las sustancias en su interior, se reducirían las pérdidas por distintos factores, como pueden ser:

- 1.-Descomposición debido al efecto de agentes físicos (luz, temperatura, pH...).
2. Degradación por la actuación de microorganismos.
3. Lavado por la lluvia y el riego hacia capas inferiores del suelo o masas de agua subterráneas.

Debido a que las pérdidas serían menores, redundaría en una mayor eficacia del producto, por lo que la cantidad resultante de agroquímico que se debería aplicar en campo tendría que ser menor.

Por otro lado, esto abre la vía a la utilización de otro tipo de sustancias más lábiles (que se descomponen fácilmente) y que no se pueden emplear actualmente o no dan buenos resultados por degradarse muy rápido en el campo. Por ejemplo, muchos productos que se están ensayando como **biopesticidas** tienen ese problema: se descomponen con demasiada facilidad y se necesitan cantidades muy grandes para aplicarlos y que sean efectivos, lo cual no los hace rentables. Pero si se puede aumentar su persistencia protegiéndolos con nanoformulaciones, su uso se vuelve una opción más interesante.

La **nanoencapsulación** también permite diseñar agroquímicos con mayor selectividad y especificidad a la hora de ejercer su acción. La capacidad de unir en la superficie biomoléculas, como anticuerpos y ácidos nucleicos (ADN y ARN), que reconocen dianas muy específicas, posibilita actuar sobre agentes concretos, como pueden ser fitopatógenos causantes de enfermedades, sin afectar a otros organismos beneficiosos. Sin ir más lejos, ya se está investigando sobre cómo utilizar ARN en nanocápsulas de arcilla para combatir virosis en plantas.

Nanotecnología: buscando agroquímicos mas eficientes y respetuosos con el medio ambiente

4.- Consideraciones para las aplicaciones en campo.

Como ya se ha comentado, las aplicaciones de la nanotecnología para la producción de agroquímicos provienen de estudios previos en medicina y farmacología. Sin embargo, no es tan sencillo trasladar los resultados de investigaciones y tecnología empleada en medicina a la agricultura, ya que hay que considerar una serie de cuestiones distintas:

1.- **Tratamientos en masa frente a individuales:** a la hora de dar un tratamiento en el campo, hay que tener en cuenta que se hará con miles de individuos, y que los procedimientos para ello son muy distintos de los empleados en medicina, donde los pacientes se consideran individualmente.

2.- **Tratamientos sistémicos o de contacto:** El diseño de los nanodispositivos debe ser distinto según se quieran emplear para tratamientos de contacto, en los que deben permanecer en la superficie de la planta, o sistémicos, donde el producto debe penetrar en los tejidos y moverse a través de los haces conductores (xilema y floema).

3.- **Absorción por hojas frente a raíces:** Cuando las nanoformulaciones deben penetrar en el interior de la planta, hay que considerar si se aplicarán vía foliar o radicular, ya que las raíces son órganos adaptados para la absorción (lo que facilita las cosas), mientras que las hojas poseen cubiertas y cutículas protectoras que las impermeabilizan al paso de sustancias.

4.- **Movimiento y acumulación (frutos, etc.):** Es muy importante saber dónde tenderán a acumularse las nanopartículas, ya que su presencia en los tejidos es la que determinará dónde actuarán y liberarán la carga química. Si lo hacen en el lugar incorrecto, no serán efectivos e incluso pueden dar problemas después al liberar los agroquímicos en otros sitios.

Nanotecnología: buscando agroquímicos mas eficientes y respetuosos con el medio ambiente

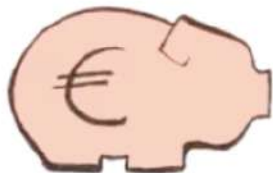
5.- Comprobar y estar seguros de que **las nanopartículas y los materiales que las componen no son tóxicos** y no van a dar problemas en caso de incorporarse a la cadena alimentaria.

6.- Deben ser **fácilmente escalables** de cara a la producción en grandes cantidades por la industria, y de **muy bajo coste económico**.

En definitiva, he aquí un resumen de los principales factores a tener en cuenta para la aplicación de nanoformulaciones en campo:



Compuestos no tóxicos



Bajo coste de producción



Compuestos eficientes



Fácilmente escalables

En resumen, se trata de utilizar una tecnología para solucionar algunos de los problemas que existen actualmente en la agricultura, principalmente relacionados con la degradación del medio ambiente, de una forma que sea beneficiosa para todos, desde productores a consumidores, y que nos permita dejar en herencia un planeta algo más saludable a las generaciones venideras.

Nanotecnología: buscando agroquímicos mas eficientes y respetuosos con el medio ambiente

5.- El proyecto HYPATIA.

HYPATIA es un proyecto multidisciplinar cuyo objetivo es la integración de la nanotecnología en el uso de fertilizantes, para así conseguir una agricultura mas sostenible y eficiente. Este proyecto se ha desarrollado gracias a la colaboración de investigadores del IFAPA de Córdoba, de la Universidad de Granada y de la Universidad de Insubria, en Italia.

5.1. DISEÑO DE NANOFERTILIZANTES

Se han diseñado nanopartículas de apatito, un material sintético análogo al componente mineral de los huesos (Imagen 5), y por tanto ricas en P (fósforo) y Ca (calcio), que además han sido mejoradas con otros macro- y micronutrientes, ya que estos nano-materiales poseen una alta capacidad para incorporarlos. **El objetivo es la aplicación de este material en plantas de trigo, con el fin de lograr un proceso de fertilización mas eficiente y sostenible, además de una liberación controlada (Imagen 6) de los macronutrientes a lo largo del tiempo.**

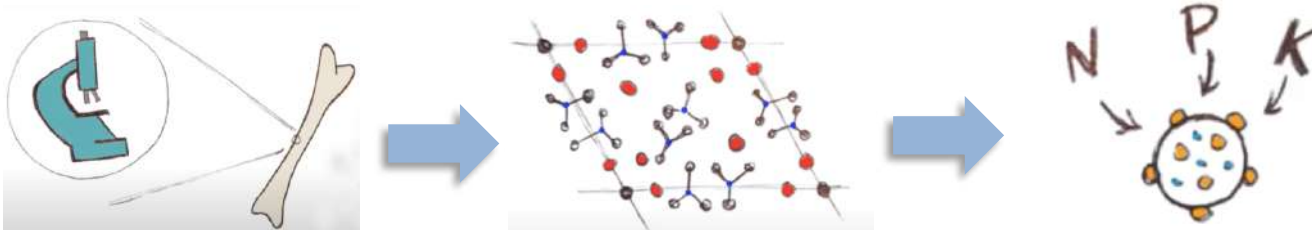


Imagen 5 . Nanopartículas de apatito mejoradas con nitrógeno, fósforo y potasio para su uso como fertilizantes más sostenibles y eficientes que los convencionales.

Nanotecnología: buscando agroquímicos mas eficientes y respetuosos con el medio ambiente

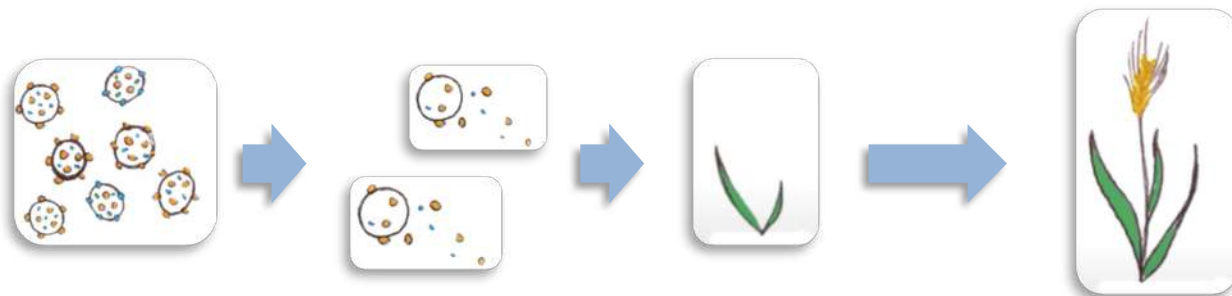


Imagen 6. Esquema del mecanismo de liberación controlada de las nanopartículas de apatita

Se han llevado a cabo experimentos de fertilización en plantas de trigo con nanopartículas de apatito mejoradas con macronutrientes, con el fin de evaluar su papel en la liberación controlada y eficiente de nitrógeno (N). Y es que este elemento constituye el nutriente más importante para la productividad de los cultivos. Además, entre el 50-70% del N aplicado en forma de fertilizante convencional se pierde antes de su utilización por los cultivos, causando graves problemas medioambientales tales como eutrofización, contaminación de masas de agua, explotación ineficiente de recursos naturales no renovables y alteración irreversible de la composición química de los suelos, así como de sus comunidades microbiológicas.

La idea es que empleando las nanopartículas de apatito se pueda aplicar menos cantidad de N y P que con el fertilizante convencional, ya que se reducirían las pérdidas antes mencionadas.



Nanopartículas de apatito mejoradas con N y P

Fertilizante convencional

Nanotecnología: buscando agroquímicos mas eficientes y respetuosos con el medio ambiente

5.2. METODOLOGÍA

Inicialmente, la eficiencia de las nanopartículas de apatita como nanofertilizantes de nitrógeno se ha evaluado en cámaras de cultivo en condiciones controladas y, usando la variedad comercial de trigo Amilcar (Monsanto). Cada semilla se plantó en macetas de plástico que contenían una mezcla de suelo-arena (1:1). El suelo se recogió de Santaella, Córdoba. Las condiciones de crecimiento se establecieron en $22 \pm 1^\circ\text{C}$ y un ciclo de iluminación de día-noche de 12h/12h. El diseño experimental contemplaba la aplicación de una cantidad inicial (justo durante la siembra) de fertilizante convencional para todas las plantas ($36 \text{ kg de N ha}^{-1}$), así como el riego con agua de grifo cuando fuese necesario. La aplicación de los tres tratamientos de fertilización se llevó a cabo durante la elongación del tallo (justo antes de la formación de la espiga). Dichos tratamientos fueron:

- 1.- **Control negativo:** en el que no se aplica ningún aporte extra de N, salvo el presente en el sustrato de forma natural.
- 2.- **Fertilizante convencional:** donde las plantas son tratadas con el fertilizante convencional fosfato diamónico (DAP), $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$. Éste se aplicó siguiendo la dosis de $150 \text{ kg de N ha}^{-1}$, que es la recomendada para Andalucía y las regiones del Mediterráneo que cultivan trigo.
- 3.- **Nanopartículas de apatita:** las plantas se trataron con $60 \text{ kg de N ha}^{-1}$ de DAP en formato granular y $15 \text{ kg de N ha}^{-1}$ de nanopartículas de apatita mejoradas con NPK.

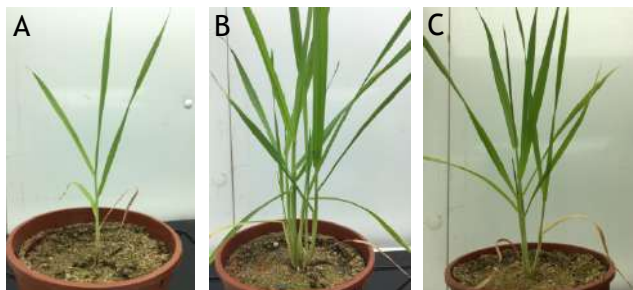


Imagen 7. Plantas de trigo en cámara de cultivo sometidas a diferentes tratamientos de N. (A) control negativo; (B) fertilizante convencional. (C) nanopartículas de apatita

Nanotecnología: buscando agroquímicos mas eficientes y respetuosos con el medio ambiente

5.3. RESULTADOS PRELIMINARES

Los resultados preliminares obtenidos se muestran en la Imagen 8. El peso de los granos, un importante parámetro de cosecha y fuertemente afectado por la disponibilidad de N, se evaluó una vez que la planta alcanzó su el fin de su ciclo. Resultados muy similares, y sin diferencias estadísticas significativas, se han obtenido en los dos tipos de tratamientos, a pesar de la gran reducción del N aplicado en el caso del tratamiento con nanopartículas. Como era de esperar, el control negativo presenta una fuerte disminución en el peso medio de los granos.

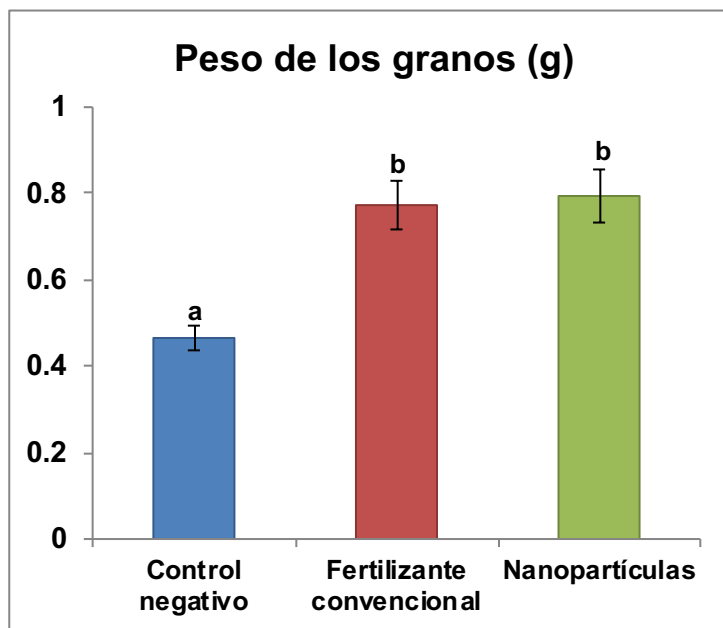


Imagen 8. Peso promedio de los granos de trigo por planta. Los datos están expresados en base a las medias obtenidas con sus correspondientes desviaciones estándar. Las diferentes letras indican diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p \leq 0.05$).

Nanotecnología: buscando agroquímicos más eficientes y respetuosos con el medio ambiente

6.- Ejemplos de nanomateriales y su uso en agricultura.

Tal y como se ha apuntado previamente, la nanotecnología es una de las ciencias que más avances está experimentando durante el siglo XXI. Tal es así, que muchísimos grupos de investigación de todo el mundo están desarrollando diferentes aplicaciones nanotecnológicas para hacer frente a los problemas de la agricultura de hoy día. A continuación, se muestran algunos de estos ejemplos:

1.- **Se están desarrollando nanoláminas de arcilla para la protección de moléculas biológicas, particularmente ácidos nucleicos, y que se emplean como agentes protectores altamente específicos contra enfermedades víricas.** Un estudio llevado a cabo contra el virus del Moteado suave del pimiento (PMMoV) y el virus del mosaico del pepino (CMV) revelaron que tras la aplicación de las nanopartículas cargadas con los ácidos nucleicos, las plantas tratadas mantenían la protección durante al menos 20 días, así como las nuevas hojas emergentes que no habían sido tratadas.

2.- **Los nanodiamantes o nanopartículas diamantinas han sido usadas como transportadores del insecticida de origen natural “Neb-colloostatin”, con el objetivo de hacer frente a plagas de insectos.** Se han llevado a cabo estudios con el comúnmente llamado gusano de la harina, *Tenebrio molitor*, en los que se ha visto como dichas nanopartículas conjugadas con el insecticida han sido capaces de atravesar la cutícula del insecto y llegar a la hemolinfa. Allí, el efecto del insecticida se ha hecho patente inhibiendo la respuesta inmune del insecto, así como induciendo la muerte de sus células sanguíneas, en todos los estadios del desarrollo del mismo. Estos resultados abren las puertas al desarrollo de nuevas estrategias para el control de las plagas adaptadas específicamente a la especie en cuestión.

3.- **Estudios de campo han demostrado que el uso de nanosistemas para el transporte de hormonas tiene efectos muy positivos en la producción de frutos.** Por ejemplo, se ha comprobado que nanopartículas de alginato+quitosano o de quitosano+trifosfato que contienen la hormona Giberelina mejoran su aplicación y efectividad para el crecimiento y la productividad de plantas de tomate, *Solanum lycopersicum*, en campo. Así pues, estos sistemas han llegado a incrementar la producción de fruto en casi cuatro veces con respecto a los controles.

Nanotecnología: buscando agroquímicos mas eficientes y respetuosos con el medio ambiente

4.- Otros estudios están demostrando el uso de nanopartículas para la descontaminación de aguas. Concretamente, se han usado nanopartículas de hierro cero valentes para la descontaminación de aguas con cromo. Su efecto ha sido medido en condiciones controladas de laboratorio y con plantas de tomate. Los resultados indican que la aplicación de estas nanopartículas ayudaron tanto a la germinación de las semillas, como al desarrollo del hipocotilo y las raíces en presencia del cromo. Finalmente, se evaluó el posible efecto negativo de las nanopartículas de hierro cero valentes en el estado fisiológico de la planta, llegando a concluir que no suponían una amenaza para éstas y que por tanto se podrían considerar como una alternativa en casos de remediación de aguas contaminadas.

5.- Estudios de campo han demostrado que el uso de nanopartículas de plata para el acondicionamiento fisiológico de semillas de sandía mejora la germinación, el crecimiento, la cosecha y la calidad del fruto final. Ensayos realizados en diferentes localizaciones de Texas, EEUU, han concluido que la aplicación de nanopartículas de plata (obtenidas a partir de productos agrícolas) han mejorado considerablemente el acondicionamiento fisiológicos de semillas de sandía diploides y triploides, las cuales presentaban bajos niveles de germinación. Mientras que el contenido de azúcares solubles (glucosa y fructosa) se incrementó en aquellas semillas tratadas con nanopartículas, el contenido de macro y micronutrientes en las sandías permaneció similar al de las semillas no tratadas.

Nanotecnología: buscando agroquímicos más eficientes y respetuosos con el medio ambiente

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera

Avenida de Grecia s/n
41012 Sevilla (Sevilla) España
Teléfonos: 954 994 595 Fax: 955 519 107
e-mail: webmaster.ifapa@juntadeandalucia.es
www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa



www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa



INSTITUTO ANDALUZ DE INVESTIGACIÓN
Y FORMACIÓN AGRARIA, PESQUERA,
ALIMENTARIA Y DE LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA
Consejería de Agricultura, Ganadería,
Pesca y Desarrollo Sostenible



Unión Europea
Fondo Europeo de Desarrollo Regional