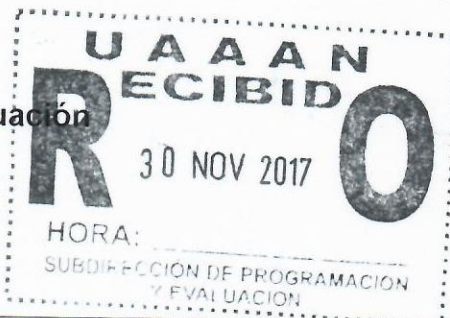




Dirección de Investigación
Subdirección de Programación y Evaluación



Proyecto de Investigación 2017

Unidad:	Saltillo	División:	Agronomía	Departamento:	Horticultura
Programa de Investigación:	Doctorado en Ciencias de Agricultura Protegida				
Línea de investigación:	Producción hortícola sustentable				
Título del proyecto:	Respuesta de Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) a la Aplicación de Nanopartículas de Zn y Ti				
Presupuesto solicitado (Máximo \$100,000)	\$ 100,000	El proyecto es:	Nuevo	<input checked="" type="checkbox"/> Continuación	
Tipo de investigación:	Básica	Aplicada	<input checked="" type="checkbox"/> Tecnológica	<input checked="" type="checkbox"/>	e-mail del responsable: luisalonso_va@hotmail.com
Vinculación:	<input checked="" type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/>	Fondos concurrentes:	
Cooperante(s):					
Entidad (es):	Coahuila	Municipio (s):	Saltillo		
Localidades:	Buenavista				
A realizar durante el año(s):	2017-2020				
Participantes		Adscripción (Clave Depto.)	Expediente No.	Firma	
Responsable	Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar	0208	3924		
Colaborador:	Dr. Armando Hernández Pérez	0208	4188		
Colaborador:	Dr. Karim De Alba Romenus	0208	2362		
Colaborador:					
Colaborador:					
		Nivel estudios	Matrícula	Firma	
Tesista:	Eneida Adilene Pérez Velasco	Doctorado	41091348		
Programa Docente:	Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida				
Tesista:					
Programa Docente:					
Tesista:					
Programa Docente:					
	Vo. Bo.		Autoriza		
Firma y sello					
Nombre	Dr. Víctor Manuel Reyes Salas Jefe de Departamento		Dr. Armando Robledo Olivo Subdirector de Programación y Evaluación		

• Cada Jefe de Departamento deberá dejar copia para su archivo

1.-Título del proyecto

Respuesta de Tomate (*Solanum lycopersicum*) a la Aplicación de Nanopartículas de ZnO y TiO₂

2.- Introducción

La nanotecnología es una ciencia interdisciplinaria aplicada en múltiples áreas del conocimiento como lo son el sector energético, cosmético, ganadería, industria alimenticia, textil, construcción, medicina y la agricultura. En la actualidad la población está en aumento constante y esto conlleva a que la producción de cultivos deba mantenerse al día para abastecer el requerimiento de alimentos (Cheng *et al.*, 2016). Dicha población cada vez presta mayor atención al valor nutricional y al abastecimiento de alimentos por lo que la seguridad alimentaria es un asunto de interés social, lo que estimula el desarrollo de alternativas para la obtención de cultivos de mayor resistencia a factores bióticos y abióticos así como aumentar el rendimiento de éstos. A la espera de que la población mundial supere los 9,000 millones para el año 2050, los científicos están trabajando para desarrollar nuevas formas para satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos, energía y agua, sin aumentar la exigencia sobre los recursos naturales. La nanotecnología – el diseño de partículas ultra pequeñas – está emergiendo para promover el crecimiento y desarrollo eficiente de los cultivos. Esta idea es parte de la ciencia en evolución llamada agricultura de precisión, en la que los agricultores utilizan la tecnología para orientar el uso de agua, fertilizantes y otros insumos (Sekhon, 2014).

La nanotecnología aplicada al agro se ha estudiado desde hace 15 años, y ahora existen muchas investigaciones sobre los avances de la nanotecnología agrícola. De los años 2014 a 2017 hubo más de 14,000 publicaciones sobre los estudios de la nanotecnología en la agricultura (SCOPUS, 2017). En contraste con el uso de fertilizantes convencionales, lo que implica muchas toneladas de insumos, la nanotecnología se centra en pequeñas cantidades. Las partículas a nanoescala miden entre 1 y 100 nanómetros en al menos una de sus dimensiones (Gutiérrez *et al.*, 2008). Los científicos están investigando activamente una gama de nanopartículas de metales y óxidos metálicos, también conocidos como nanofertilizantes (NF), para su uso en las plantas y en la agricultura. Estos materiales se pueden aplicar a las plantas a través del riego o pulverizarse sobre sus hojas. Los estudios sugieren que la aplicación de las nanopartículas sobre las hojas de la planta es especialmente beneficiosa para el medio ambiente, ya que no entran en contacto con el suelo (Peteu, 2010). El uso de NF es una de las aplicaciones potenciales de la nanotecnología en la agricultura, estos nanomateriales proporcionan uno o más nutrientes en las plantas para apoyar su crecimiento y producción (Liu y Lal, 2015). El fácil acceso de las nanopartículas (NPs), debido a su tamaño, a las rutas de absorción de las plantas (simplasto y apoplasto), la disminución de la pérdida de fertilizantes (lixiviación), reducción de costos y minimizar del deterioro ambiental son ventajas del uso de nanofertilizantes en la agricultura (Dubey y Mailapalli, 2016).

Actualmente existen diferentes nanofertilizantes a base de Cu, Ag, Mn, Mo, Zn, Fe, Si, Ti y sus óxidos, esta nanoforma ha demostrado resultados prometedores a concentraciones óptimas en la germinación de la semillas, el crecimiento y la producción de las plantas (Taha *et al.*, 2016). En esta investigación enfocaremos nuestra atención a los nanofertilizantes a base de Zn y Ti pues en estudios publicados se demostró que usando ZnO en frijol aumentó la actividad de tres enzimas: fosfatasa ácida, fosfatasa alcalina y fitasa, además las plantas de frijol aumentaron su contenido de fósforo, aumentaron su biomasa (27%) y la producción de grano incrementó 6% comparado con plantas tratadas con fertilización convencional (Mahajan *et al.*, 2011). En cultivos como pepino

(Zhao *et al.*, 2014) y cacahuete (Prasad *et al.*, 2012), los NFs ayudaron a incrementar la eficiencia en el uso de Zn. Los NFs también tienen el potencial de aumentar el valor nutricional de las plantas. En otro estudio se reportó que la aplicación de NPs de TiO₂ en plantas de tomate aumentan la tasa fotosintética, mientras que en el cultivo de espinaca incrementó el crecimiento de la planta en un 73%, hubo mayor fijación de N y mejor contenido nutricional, y en *Vigna unguiculata* aumentó el rendimiento de 26%-51% (Zheng *et al.*, 2005). Recientemente Dehkourdi y Mosavi (2013) usaron TiO₂ en semillas de perejil, lo que aumentó el porcentaje de germinación, biomasa y el contenido de clorofila.

A pesar de los buenos resultados que se han obtenido con las nanopartículas, aún se requiere llevar a cabo evaluaciones de impacto sobre la salud humana y en el medio ambiente, desarrollar métodos para evaluar y gestionar los riesgos que puedan surgir, así como también las formas sostenibles para su fabricación. La nanotecnología tiene un extenso campo de estudio y existen aspectos que en la actualidad no han sido estudiados profundamente; por ejemplo, la mayoría de los estudios reportados se han realizado ya sea en condiciones de invernadero exclusivamente o bien en condiciones de campo, y no han sido diseñados para determinar si el sistema de cultivo en condiciones de agricultura protegida o a campo abierto imponen condiciones que modifiquen la respuesta de las plantas a los NFs. Entre otros aspectos, tampoco se ha reportado si la forma de las NPs tiene un efecto sobre las respuestas de las plantas a los NFs. Por lo anteriormente expuesto se planteó el presente proyecto con los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Determinar el efecto de las nanopartículas de ZnO y TiO₂ en el cultivo de tomate.

Objetivos específicos:

- Determinar si la concentración/elemento de la NP modifica la respuesta en función de las condiciones del cultivo (campo abierto e invernadero).
- Determinar el efecto de la morfología/elemento de la NP en el cultivo tanto en condiciones protegidas como de campo abierto.
- Determinar el efecto causado por la forma de aplicación de NP: foliar y drench.

Hipótesis

La aplicación de nanopartículas de ZnO y TiO₂ estimulará el crecimiento y desarrollo del cultivo de *Solanum lycopersicum*

3.-Revisión de Literatura

La agricultura actualmente enfrenta diversos obstáculos como el cambio climático, uso irracional de recursos no renovables y uso excesivo de agroquímicos, los cuales se intensifican con el aumento constante de la población humana (7.4 billones: Datos del Banco Mundial 2015). A medida del incremento poblacional la producción de alimentos debe estar al día para evitar la escasez de alimento. La población en la actualidad ha mostrado mayor interés en la seguridad alimentaria y valor nutricional de los alimentos. Existen países en donde la agricultura es la columna vertebral de su economía, por ello, y por el escenario antes expuesto, es imperativo mejorar las prácticas agrícolas convencionales a prácticas más inteligentes; por esto se recurre a tecnologías avanzadas como la nanotecnología aplicada al agro. La nanotecnología estudia materiales de tamaño nanométrico que tiene características físicas, químicas y mecánicas muy particulares (Guo, 2004). La nanotecnología tiene múltiples aplicaciones en la agricultura en forma

de nanoplaguicidas, nanosensores y nanofertilizantes, lo que ha permitido que la agricultura convencional se convierta en agricultura de precisión, en la que los agricultores utilizan la tecnología para orientar el uso de agua, fertilizantes y otros insumos. La agricultura de precisión hace que la agricultura sea más sostenible, ya que reduce los residuos (Chhipa y Joshi, 2016)

Un aumento significativo en la producción agrícola podría ser posible mediante la utilización del conocimiento actual en el campo de la nanotecnología para una nutrición eficiente, buenas prácticas de protección de plantas y agricultura de precisión (Tarafdar *et al.*, 2013). En el caso de la nutrición de cultivos, el uso de fertilización química impulsa la producción agrícola, pero disminuye la calidad de estos, además puede causar serias amenazas al ecosistema (flora microbiana del suelo), contaminación de fuentes de agua dulce, afectando severamente a las personas que usan estas fuentes de agua para beber y afecta la vida acuática aumentando el crecimiento de algas (Bacon, 2014). Los fertilizantes nitrogenados son los que se usan de una manera incontrolada y/o excesiva, esto ha causado una acumulación de nitratos a un nivel tóxico en aguas subterráneas (Dubrovsky, 2010). Se ha informado que entre un 50% y 70% de los insumos químicos no se utilizan por que se pierden por lixiviación o mineralización (Bollag *et al.*, 1992). La nanotecnología no solo ha revolucionado la agricultura con nutrientes innovadores en forma de NFs, también ha ayudado en el campo de protección de plantas a través del desarrollo de nanoplaguicidas, eficiente sistema de gestión de agua, y también aumentar la eficiencia de las plantas en la utilización de la energía del sol (Ditta, 2015). De aquí surge la necesidad de desarrollar un sistema de nutrición vegetal más eficiente, convertir las prácticas agrícolas convencionales en prácticas inteligentes mediante la participación de tecnologías avanzadas. Los investigadores alrededor del mundo han instado en desarrollar y promover el uso de NFs que podrían servir como nutrientes para las plantas, mejorar las tasas de germinación, crecimiento, rendimiento y muchos parámetros fisiológicos (Liu y Lal, 2015).

Distintos autores definen a los NFs como nanomateriales (NMs) que miden aproximadamente 1-100 nm, pueden ser responsables de proporcionar uno o más tipos de nutrientes para las plantas en crecimiento, y apoyar su crecimiento y mejorar la producción (Liu y Lal, 2015); estos NMs pueden actuar como vehículos de macro o micronutrientes para las plantas o bien ayudar como portadores de elementos metálicos y sus óxidos, debido a su tamaño son capaces de entrar en las células directamente, lo que reduce/evita los mecanismos intensivos de energía de su absorción (Brackhage, 2013; DeRosa *et al.*, 2010). De forma similar a los fertilizantes convencionales, los NFs se disuelven en la solución del suelo y las plantas pueden absorberlos directamente, su solubilidad podría ser mayor que la de los sólidos que se encuentran en la rizosfera debido a su pequeño tamaño. Estos son más eficientes en comparación con los fertilizantes comunes, ya que reducen la pérdida de N debido a lixiviación y disminuyen el deterioro del suelo (Suman, 2010).

Los NFs se dividen en tres categorías:

1.- NF de macronutrientes: en esta categoría se encuentran los elementos que la planta necesita en gran cantidad como son el N, P, K, Ca, Mg, S (Ditta, 2015). Muchos investigadores han desarrollado y estudiado los NFs de macronutrientes usándolos en laboratorio y campo. Liu y Lal (2015) y Ditta *et al.* (2015) han revisado el uso de NFs en la agricultura de manera integral. La zeolita recubierta con urea, fue usada como fuente de N y mostró capacidades de liberación lenta y controlada de N (Kottegoda *et al.*, 2011). Liu y Lal (2014) estudiaron nanopartículas de Ca y P las cuales mostraron un incremento de 20% y 33% en el rendimiento de semilla de *Glycine max* en comparación con los fertilizantes convencionales. Liu y colaboradores (2004) desarrollaron NPs de

calcio en el cultivo de *Arachis hypogaea* y estos mejoraron 15% la biomasa. Delfani et al. (2014) desarrollaron NPs de Mg como alternativa al Mg convencional y obtuvieron un incremento del 7% en el peso de la semilla de *Vigna unguiculata*.

2.- NF de micronutrientes: son definidos como oligoelementos, que a diferencia de los macronutrientes, la planta requiere de cantidades mínimas (≤ 100 ppm) pero siguen siendo esenciales (Ditta, 2015). Delfani et al. (2014) utilizaron NPs de Fe en guisantes de ojos negros y obtuvieron un aumento del 10% en el contenido de clorofila en las hojas; en *Glycine max*, el contenido de clorofila se incrementó con una concentración de 30-60 ppm (Ghafariyan et al., 2013). Nanopartículas de Mn en el cultivo de *Vigna radiata* aumentaron en 52% la longitud de la raíz, 38% de longitud de brote y 38% la biomasa (Pradhan et al., 2013). Las NP-Cu han aumentado un 35% la fotosíntesis en algas *Egeria densa* (Nekrasova et al., 2011) y aumentó un 40% el crecimiento de lechuga (Shah y Belozerova, 2009). Las NPs de Molibdeno aumentaron la actividad microbiana y crecimiento de semilla en garbanzo (Taran et al., 2014). En cuanto al Zn, es un micronutriente esencial encargado de regular las actividades enzimáticas en las plantas, en estudios con aplicación de ZnO mostraron una mejora significativa en la biomasa, longitud de raíz, contenido de clorofila y proteína, y actividad enzimática (fosfatasa) en *Vigna radiata*, *Cicer arietinum*, *Cucumis sativus*, *Raphanus sativus*, *Brassica napus* y frijol cluster (Lin y Xing 2007; Mahajan et al., 2011; Zhao et al., 2013; Raliya y Tarafdar 2013). Muchos investigadores han enfocado su atención en los efectos de las NPs de ZnO en el crecimiento y productividad de los cultivos empleando, de tal forma que de todos los micronutrientes el Zn es el elemento más estudiado. En otro experimento de invernadero con el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) se demostró un aumento de 10% entre y 60% en la masa seca de la raíz de la planta con la aplicación de 400 y 800 mg kg⁻¹, respectivamente, en comparación con un tratamiento sin aplicación de NPs de ZnO (Zhao et al., 2014).

3.- NFs nanoparticulados: en esta lista se encuentran elementos que no son esenciales para las plantas, sin embargo, su aplicación ha mostrado respuestas positivas en cultivos a los que se le han aplicado, varios investigadores han informado sobre su efecto positivo sobre la eficacia de la fotosíntesis y actividades enzimáticas como la de la nitrogenasa, aumentando así el suministro de N para las plantas (Yang et al., 2007). Otro elemento de esta lista es el Titanio, este elemento aumentó la fijación de nitrógeno, la germinación y crecimiento de la semilla en *G. max* (Lu et al., 2002), en *Spinacia oleracea* el TiO₂ aumentó el N total, contenido de proteína y clorofila (Gao et al., 2008).

4.- Procedimiento Experimental

La investigación se realizará en las la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el área de invernaderos del Departamento de Horticultura.

El material vegetal que se empleará es tomate de crecimiento indeterminado variedad Clermon, se manejará a un solo tallo con cosecha hasta el 8° racimo. Se empleará una solución fertilizante basada en la solución de Steiner usando un sistema de riego por goteo. Las plantas de tomate se colocarán en contenedores de 12L de capacidad usando como sustrato una combinación de sphagnum peat, fibra de coco y perlita. El experimento se desarrollará en dos condiciones: campo abierto e invernadero. Los NFs de ZnO y TiO₂ serán evaluados en ambas condiciones, por lo que los factores a estudiar son:

- Condición de cultivo: invernadero y campo abierto

- Concentración de la Nanopartícula (de 0 a 1500 mg L⁻¹)
- Formas de aplicación: foliar y drench
- Morfología de la NP: cúbica, esférica y cilíndrica.

Se planea realizar el estudio en dos etapas

1ª etapa: se evaluará la concentración de las NPs de ZnO y TiO₂ partiendo de 0 a 1500 mg L⁻¹ con la finalidad de encontrar la concentración óptima en el que el cultivo de tomate muestre mejores resultados agronómicos y fisiológicos; la aplicación de las NPs será tanto foliar como al drench, en condiciones de invernadero y campo abierto. En esta etapa se emplearán NPs con morfología esférica. Por lo tanto el experimento se establecerá en un diseño factorial, siendo los factores:

- Condición de cultivo: invernadero y campo abierto
- Nanofertilizante: ZnO y TiO₂
- Concentración: 8 niveles
- Forma de aplicación: drench y foliar

2ª etapa: conociendo la concentración y la forma de aplicación con mejores resultados se evaluarán las morfología de las NPs: cilíndrica, cúbica y esférica. Ésta última se analizará de nuevo para evitar cualquier sesgo en la investigación y de este modo evitar obtener datos erróneos. Por lo tanto el experimento se establecerá en un diseño factorial, siendo los factores:

- Condición de cultivo: invernadero y campo abierto
- Nanofertilizante: ZnO y TiO₂
- Concentración de la Nanopartícula: ±20% del óptimo obtenido en la Etapa 1
- Morfología de la NP: cúbica, esférica y cilíndrica.

Se analizarán las variables a continuación listadas:

Variables agronómicas

- Altura de planta
- Diámetro de tallo
- Área foliar
- Biomasa fresca/seca de parte aérea
- Longitud de raíz
- Volumen de raíz
- Biomasa fresca/seca de raíz
- Rendimiento

Variables fisiológicas (metodología para su determinación)

- Ácido ascórbico (HPLC)
- B carotenos (HPLC)
- Licopeno (HPLC)
- Clorofila a y b (método Lichtenthaler y Wellburn)
- Aminoácidos (HPLC)
- Fenoles totales (Folin-Ciocalteu)
- Capacidad antioxidante (Método ORAC)

Concentración de macro y micronutrientes

- N, P, K, Ca, Mg, S: para el N se empleará el método de *micro Kjeldahl* y el resto de elementos se determinarán por ICP.
- B, Cu, Fe, Mn, Zn
- Ti

Dichas variables serán evaluadas durante tres etapas fenológicas del ciclo de cultivo de tomate

(floración, amarre de fruto y cosecha), la absorción de macro y micro elementos se realizará al finalizar el último corte de cosecha ya que para realizar esta determinación se requiere de muestreos destructivos.

En todos los experimentos se empleará un diseño de bloques al azar con 5 repeticiones de tres plantas cada una. Para el análisis estadístico se usará el programa SAS, con una comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$).

Cronograma de Actividades.

Programación del Gasto.

Actividad a realizar / semestre	2017	2018		2019		2020
	1	2	3	4	5	6
Elaboración del protocolo	X					
Establecimiento de 1ª etapa de investigación		X				
Envío de primer artículo			X			
Establecimiento de 2ª etapa de investigación			X	X		
Envío de segundo artículo					X	
Estancias				X		
Asistencia a congresos			X		X	
Redacción de tesis doctoral		X	X	X	X	X
Examen de grado						X

5.-Productos Esperados

- Tesis nivel doctorado
- Ponencia en 2 congresos
- 1 artículo aceptado
- 1 artículo enviado
- Estancia

6.-Literatura Citada

- Brackhage C, Schaller J, Bäucker E, Dudel EG. 2013. Silicon availability affects the stoichiometry and content of calcium and micro nutrients in the leaves of common reed. *Silicon*. 5, 199–204.
- Bacon J. 2014. Third day is the charm, Toledo can drink its water. *USA Today*. <http://www.usatoday.com/story/news/usanow/2014/08/04/ohio-toledo-water-ban/13562707/>.
- Bollag JM, Myers CJ, Minard RD. 1992. Biological and chemical interactions of pesticides with soil organic matter. *Sci Total Environ* 123:205–217
- Cheng, H.N., Klasson, K.T., Asakura, T., Wu, Q. (2016). Nanotechnology in Agriculture. In: Cheng, H.N., Doemeny, L., Gerace, C.L., Schmidt, D.G., editors. *Nanotechnology: Delivering the Promise Volume 2*. ACS Symposium Series, Washington, DC: American Chemical Society. p. 233-242.
- Chhipa H, Joshi P (2016) Nanofertilisers, nanopesticides and nanosensors in agriculture. In: Ranjan S, Dasgupta N, Lichtfouse E (eds) *Nanoscience in food and agriculture 1, Sustainable agriculture reviews*, vol 20. Springer, pp 247–282. doi:10.1007/978-3-319-39303-2.
- Dehkourdi EH, Mosavi M. Effect of anatase nanoparticles (TiO₂) on parsley seed germination (*Petroselinum crispum*) *in vitro* (2013). *Biological Trace Element Research*, 155(2):283-286. DOI: <http://doi:10.1007/s12011-013-9788-3>.

- Delfani M, Firouzabadi MB, Farrokhi N, Makarian H (2014) Some physiological responses of black-eyed pea to iron and magnesium nanofertilizers. *Commun Soil Sci Plant Anal* 45:11.
- DeRosa MC, Monreal C, Schnitzer M, Walsh R, Sultan Y. 2010. Nanotechnology in fertilizers. *Nat. Nanotechnol.* 5, 91–94.
- Ditta A, Arshad M, Ibrahim M. 2015. Nanoparticles in sustainable agricultural crop production, applications and perspectives. In *Nanotechnology and Plant Sciences*. Springer International Publishing: Switzerland, pp. 55–75.
- Dubey, A. and Mailapalli, D.R. 2016. Nanofertilisers, Nanopesticides, Nanosensors of Pest and Nanotoxicity in Agriculture. In E.Lichtfouse (ed). *Sustainable Agriculture Reviews* 19, DOI:10.1007/978-3-319-26777-7_7. p.307-362.
- Dubrovsky NM, Hamilton PA. 2010. Nutrients in the nation's streams and groundwater, national findings and implications. U.S. Geological Survey Fact Sheet 2010–3078, pp. 6.
- Gao F, Liu C, Qu C, Zheng L, Yang F, Su M, Hong F. 2008. Was improvement of spinach growth by nano-TiO₂ treatment related to the changes of Rubisco activase? *Biometals*. 21, 211–217.
- Ghafariyan MH, Malakouti MJ, Dadpour MR, Stroeve P, Mahmoudi M (2013) Effects of magnetite nanoparticles on soybean chlorophyll. *Environ Sci Technol* 47:10645–10652. doi:10.1021/es402249b
- Guo LJ (2004) Recent progress in nanoimprint technology and its applications. *J Phys D Appl Phys* 37(11):R123
- Gutiérrez, J. M., González, C., Maestro, A., Solè, I., Pey, C. M., and Nolla, J. 2008. Nano-emulsions: new applications and optimization of their preparation. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 13, 245–251. doi: 10.1039/C5SM02958A.
- Kottegoda N, Munaweera I, Madusanka N, Karunaratne V (2011) A green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. *Curr Sci* 101:73–78.
- Lin D, Xing B (2007) Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. *Environ Pollut* 150:243–250.
- Liu X, Zhang F, Zhang S, He X, Wang R, Fei Z. 2004. Responses of peanut to nano-calcium carbonate. *Plant Nutr Fertil Sci* 11:385–389.
- Liu R, Lal R (2014) Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*). *Sci Rep* 4:6. doi:10.1038/srep05686.
- Liu, R. y Lal, R. (2015) Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Sci Total Environ* 514:131–139. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.01.104.
- Lu CM, Zhang CY, Wen JQ, Wu GR, Tao MX. 2002. Research on the effect of nanometer materials on germination and growth enhancement of *Glycine max* and its mechanism. *Soybean Sci.* 21, 168–172.
- Mahajan P, Dhoke SK, Khanna AS. 2011. Effect of nano-ZnO particle suspension on growth of mung (*Vigna radiata*) and gram (*Cicer arietinum*) seedlings using plant agar method. *J Nanotechnol* 2011:7. doi:10.1155/2011/696535.
- Nekrasova GF, Ushakova OS, Ermakov AE, Uimin MA, Byzov IV. 2011. Effects of copper(II) ions and copper oxide nanoparticles on *Elodea densa* (Planch). *Russ J Ecol* 42:458–463.
- Peteu, S.F. 2010. Micro- to nano-biosensors and actuators integrated for responsive delivery of counter measures. *IEEE CAS. Proc.* in print
- Pradhan S, Patra P, Das S, Chandra S, Mitra S, Dey KK, Akbar S, Palit P, Goswami A (2013) Photochemical modulation of biosafe manganese nanoparticles on *Vigna radiata*: a detailed molecular, biochemical, and biophysical study. *Environ Sci Technol* 47:9. doi:10.1021/es402659t
- Prasad TNVKV., Sudhakar P., Sreenivasulu Y., Latha P., Munaswamy V., Reddy K.R., Sreepasad T.S., Sajanlal P.R., Pradeep T. (2012). Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *J. Plant Nutr.* 35, 905–927.
- Raliya R, Tarafdar J (2013) ZnO nanoparticle biosynthesis and its effect on phosphorous-mobilizing enzyme secretion and gum contents in Clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Agric Res* 2:48–57.

- Rico C.M., Majumdar S, Duarte-Gardea M, Peralta-Videa JR, Gardea-Torresdey JL. (2011). Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(8):3485-3498. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/jf104517j>
- Sasson, Y.; Levy-Ruso, G.; Toledano, O.; Ishaaya, I. (2007). Nanosuspensions: emerging novel agrochemical formulations. In *Insecticides Design Using Advanced Technologies*; Ishaaya, I., Nauen, R., Horowitz, A. R., Eds.; Springer-Verlag: Berlin & Heidelberg, pp 1–39.
- Sekhon, B. S. (2014). Nanotechnology in agri-food production: an overview. *Nanotechnol. Sci. Appl.* 7, 31–53. doi: 10.2147/NSA.S39406.
- Shah V, Belozeroval I (2009) Influence of metal nanoparticles on the soil microbial community and germination of lettuce seeds. *Water Air Soil Pollut* 197:143–148.
- SCOPUS (2017). Number of documents on scopus.com with the search term “nano” and (food or agriculture). Accessed date: march 15,2017.
- Suman PR, Jain VK, Varma A. 2010. Role of nanomaterials in symbiotic fungus growth enhancement. *Curr. Sci.* 99, 1189–1191.
- Taha RA, Hassan MM, Ibrahim EA, Baker NHA, Shaaban EA. 2016. Carbon nanotubes impact on date palm in vitro cultures. *Plant Cell Tissue Organ Cult* 127(2):525–534.
- Taran NY, Gonchar OM, Lopatko KG, Batsmanova LM, Patyka MV, Volkogon MV (2014) The effect of colloidal solution of molybdenum nanoparticles on the microbial composition in rhizosphere of *Cicer arietinum* L. *Nanoscale Res Lett* 9:289. doi:10.1186/1556-276X-9-289
- Tarafdar JC, Sharma S, Raliya R. 2013. Nanotechnology, interdisciplinary science of applications. *Afr. J. Biotechnol.*, 12, 219–226.
- Yang F, Liu C, Gao F, Su M, Wu X, Zheng L, Hong F, Yang P. 2007. The improvement of spinach growth by nano-anatase TiO₂ treatment is related to nitrogen photoreduction. *Biol. Trace Elem. Res.*, 119, 77–88.
- Zhao L, Hernandez-Viezcas JA, Peralta-Videa JR, Bandyopadhyay S, Peng B, Munoz B, Keller AA, Gardea-Torresdey JL. 2013. ZnO nanoparticle fate in soil and zinc bioaccumulation in corn plants (*Zea mays*) influenced by alginate. *Environ Sci Process Impacts* 15(1):260–266.
- Zhao L, Peralta-Videa JR, Rico CM, Hernandez-Viezcas JA, Sun Y, Niu G, Servin A, Nunez JE, Duarte-Gardea M, Gardea-Torresdey JL. 2014. CeO₂ and ZnO nanoparticles change the nutritional qualities of cucumber (*Cucumis sativus*). *J. Agric. Food Chem.* 62, 2752–2759.
- Zhao, Y., L. Xu, Y. Wang, Ch. Gao y D. Liu. (2004). Preparation of Ti-Si mixed oxides by sol–gel one step hydrolysis, *Catalysis today*: 93-95, 583 – 588.
- Zheng L, Hong F, Lu S, Liu C (2005) Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. *Biol Trace Elem Res* 104:83–91. doi:10.1385/BTER:104:1:08.