

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Nanopartículas de Óxido de Zinc más Plata y Grafeno en Algunas Variables de Respuesta de *Raphanus sativus* Cultivado en Dos Tipos de Sustratos

Por:

IVÁN BONILLA ORTIZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo, 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Nanopartículas de Óxido de Zinc más Plata y Grafeno en Algunas Variables de
Respuesta de *Raphanus sativus* Cultivado en Dos Tipos de Sustratos

Por:

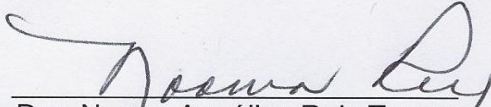
IVÁN BONILLA ORTIZ

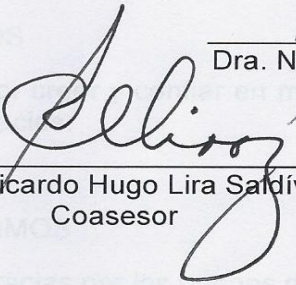
TESIS

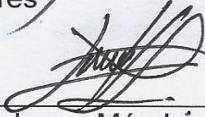
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

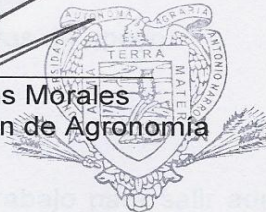
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dra. Norma Angélica Ruiz Torres
Asesor Principal


Dr. Ricardo Hugo Lira Saldívar
Coasesor


Dr. Bulmaro Méndez Argüello
Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México,
Marzo, 2016

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

Sra. Lorenza Ortiz Rosas y Sr. Salvador Bonilla Zaragoza

Por darme la vida y estar en todo momento apoyándome, no solo en mí trayectoria por la universidad para lograr una carrera, si no a lo largo de mi vida guiándome por el buen camino y que gracias a los esfuerzos y al apoyo constante hoy hemos logrado esa meta que tanto costo, fruto del trabajo y sacrificio de ustedes muchas gracias.

A MIS HERMANOS

Gracias por su comprensión al apoyo moral y económico que me brindaron durante este largo trayecto de mi carrera, por compartir sus alegrías, tristezas y logros de cada uno de ustedes, a pesar de la distancia tuve el compromiso de salir adelante porque ustedes fueron uno de mis motivos que me inspiraron a seguir adelante y por muchas otras cosas gracias.

A MI CUÑADA Y SOBRINO

Por las palabras de apoyo moral por creer en mí y tenerme en mente como un referente para mi sobrino y porque él es la alegría de la familia y gracias a su carisma ha sido el motivo de tantas risas en los momentos más difíciles, gracias por el apoyo.

A MIS TIOS

Gracias por creer y confiar en mí, al apoyo moral recibido a sus consejos y buenos deseos gracias.

A MIS PRIMOS

Muchas gracias por los buenos deseos y palabras de apoyo.

A MIS ABUELOS

A ellos que fueron claro ejemplo de lucha y trabajo para salir adelante día a día y aunque no estén ya con nosotros sé que estarían llenos de orgullo y satisfacción por un logro más.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de la vida, por brindarme salud para seguir adelante durante toda la carrera, por cuidar y bendecir mi camino para llegar a este momento tan especial.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la oportunidad de estudiar una carrera profesional, por haberme permitido aprovechar sus conocimientos y ser parte de ver formado un profesionista más para el campo mexicano.

Al Dr. Ricardo Hugo Lira Saldívar por el apoyo brindado durante el proceso de este trabajo tan interesante donde me siento satisfecho por los tiempos de trabajo así como lo aprendido y las experiencias adquiridas.

Al Dr. Bulmaro Méndez Argüello por ser parte importante dentro del trabajo donde fue guía y apoyo en las actividades desarrolladas, trasmitiendo conocimientos y ser comprensivo.

A la Dra. Norma Angélica Ruiz Torres por el apoyo brindado y ser parte importante dentro de este proceso así como su comprensión y buenos deseos.

A la Dra. Ileana Vera Reyes por el apoyo directa e indirectamente y por ser parte importante dentro del equipo de trabajo.

A mis amigos de generación por el apoyo y compañía durante la estancia en la universidad y por todos los buenos y malos momentos que viví con ellos, que fueron esa gran familia donde compartimos aventuras, platicas, conocimientos, problemas y diversión donde apoyándonos logramos salir adelante y poder cumplir con esta meta tan añorada.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
RESUMEN	V
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVO GENERAL	4
2.1. Objetivos específicos	4
III. HIPÓTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. Clasificación taxonómica del rábano	5
4.2. Sustrato	5
4.3. Características de procesamiento de la perlita	6
4.4. Zeolitas naturales	7
4.4.1. Historia de las zeolitas	8
4.4.2. Características generales de la zeolita	9
4.4.3. Usos de la zeolita	9
4.5. Nanotecnología	10
4.5.1. Nanotecnología en la agricultura	12
4.6. Importancia de las nanoparticulas	12
4.6.1. Aplicación de las nanoparticulas en la agricultura	13
4.6.2. Clasificación de los nanomateriales	13
4.6.3. Nanopartículas de grafeno	14
4.6.4. Nanopartículas metálicas	16
4.6.5. Nanopartículas de plata	16
4.6.6. Nanopartículas de óxido de zinc	16
V. MATERIALES Y MÉTODOS	19
5.1. Localización del sitio experimental	19

5.2. Preparación de la solución con nanoparticulas	19
5.3. Distribución de los tratamientos	19
5.4. Manejo del cultivo.....	20
5.5. Aplicación de nanopartículas a las plantas de <i>Raphanus sativus</i>	20
5.6. Determinación del crecimiento y biomasa.....	21
5.7. Análisis estadístico.....	21
VI. RESULTADOS.....	22
VII. DISCUSIÓN	35
VIII. CONCLUSIÓN	38
IX. LITERATURA CITADA.....	39
X. APENDICE	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos de nanopartículas de grafeno aplicados a plantas de <i>R. sativus</i> cultivadas en dos sustratos bajo condiciones de invernadero.....	19
Cuadro 2. Tratamientos de nanopartículas de óxido de zinc más plata aplicados a plantas de <i>R. sativus</i> cultivadas en dos sustratos bajo condiciones de invernadero.	20
Cuadro 3. Comparación de medias de las respuestas fisiológicas de plantas de <i>R. sativus</i> sembradas en dos tipos de sustratos y por el efecto de dosis de nanopartículas de grafeno y por la interacción de los tratamientos.....	22
Cuadro 4. Comparación de medias de las respuestas fisiológicas de plantas de <i>R. sativus</i> sembradas en dos tipos de sustratos y por el efecto de dosis de nanopartículas de grafeno y por la interacción de los tratamientos.....	27
Cuadro 5. Comparación de medias de las respuestas fisiológicas de plantas de <i>R. sativus</i> sembradas en dos tipos de sustratos y por el efecto de dosis de nanopartículas de grafeno y por la interacción de los tratamientos.....	28
Cuadro 6. Comparación de medias de las respuestas fisiológicas de plantas de <i>R. sativus</i> sembradas en dos tipos de sustratos y por el efecto de dosis de nanopartículas de óxido de zinc más plata y por la interacción de los tratamientos .	29
Cuadro 7. Comparación de medias de las respuestas fisiológicas de plantas de <i>R. sativus</i> sembradas en dos tipos de sustratos y por el efecto de dosis de nanopartículas de óxido de zinc más plata y por la interacción de los tratamientos .	33
Cuadro 8. Comparación de medias de las respuestas fisiológicas de plantas de <i>R. sativus</i> sembradas en dos tipos de sustratos y por el efecto de dosis de nanopartículas de óxido de zinc más plata y por la interacción de los tratamientos .	34
Cuadro 9. Análisis de varianza para la variable altura con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.....	45
Cuadro 10. Análisis de varianza para la variable número de hojas con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.....	45

Cuadro 11. Análisis de varianza para la variable IR de clorofila con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.....	45
Cuadro 12. Análisis de varianza para la variable área foliar con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.....	46
Cuadro 13. Análisis de varianza para la variable peso fresco de hojas con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.....	46
Cuadro 14. Análisis de varianza para la variable peso seco de hojas con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.....	46
Cuadro 15. Análisis de varianza para la variable peso fresco del bulbo con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.....	47
Cuadro 16. Análisis de varianza para la variable peso seco del bulbo con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.....	47
Cuadro 17. Análisis de varianza para la variable diámetro longitudinal con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.....	47
Cuadro 18. Análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.....	48
Cuadro 19. Análisis de varianza para la variable altura con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano.....	48
Cuadro 20. Análisis de varianza para la variable número de hojas con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano	48
Cuadro 21. Análisis de varianza para la variable IR de clorofila con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano	49
Cuadro 22. Análisis de varianza para la variable área foliar con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano.....	49
Cuadro 23. Análisis de varianza para la variable peso fresco de hojas con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano	49
Cuadro 24. Análisis de varianza para la variable peso seco de hojas con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano	50
Cuadro 25. Análisis de varianza para la variable peso fresco del bulbo con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano	50

Cuadro 26. Análisis de varianza para la variable peso seco del bulbo con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano	50
Cuadro 27. Análisis de varianza para la variable diámetro longitudinal con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano	51
Cuadro 28. Análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de las diferentes aplicaciones de la nanotecnología en diversos aspectos de la agricultura	11
Figura 2. Estructura bidimensional del grafeno	15
Figura 3. Modelo conceptual que ilustra la liberación sincronizada de ZnO desde el interior de una nanopartícula hacia la zona de la rizósfera, de acuerdo a la demanda del cultivo	18
Figura 4. Efecto de dos tipos de sustrato y tres dosis de nanopartículas de grafeno y su interacción en la altura de plantas <i>R. sativus</i>	24
Figura 5. Efecto de dos tipos de sustrato y tres dosis de nanopartículas de grafeno y su interacción en la biomasa fresca de plantas <i>R. sativus</i>	25
Figura 6. Efecto de dos tipos de sustrato y tres dosis de nanopartículas de grafeno y su interacción en el Diámetro ecuatorial de plantas <i>R. sativus</i>	26
Figura 7. Crecimiento de plantas de <i>R. sativus</i> debido a los tratamientos aplicados con nanopartículas de grafeno.....	26
Figura 8. Efecto de dos tipos de sustrato y tres dosis de nanopartículas de óxido de zinc más plata y su interacción en el peso fresco del bulbo de plantas <i>R. sativus</i> ...	30
Figura 9. Efecto de dos tipos de sustrato y tres dosis de nanopartículas de óxido de zinc más plata y su interacción en el peso seco del bulbo de plantas <i>R. sativus</i>	31
Figura 10. Efecto de dos tipos de sustrato y tres dosis de nanopartículas de óxido de zinc más plata y su interacción en el diámetro ecuatorial de plantas <i>R. sativus</i>	32

RESUMEN

Nanopartículas de óxido de zinc más plata y grafeno en algunas variables de respuesta de *Raphanus sativus* cultivado en dos tipos de sustratos.

El trabajo fue desarrollado en julio de 2015, en un invernadero de mediana tecnología en las instalaciones del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), en Saltillo, Coahuila, México. En el presente estudio se establecieron seis tratamientos en proporciones de v/v de peat moss 70% + perlita 30%, peat moss 70% + 30% zeolita, con aplicaciones de nanopartículas de grafeno y óxido de zinc más plata a concentraciones de 100 y 200 ppm. Con el objetivo de evaluar el crecimiento, desarrollo y rendimiento de plantas de rábano (*Raphanus sativus*) variedad Champion de la empresa Fax de Occidente S.A. de C.V. Las aplicaciones de NPs se realizaron una vez por semana, durante todo el ciclo productivo del rábano hasta la evaluación final aplicando 1 ml de las diferentes soluciones.

La siembra de las semillas de rábano se realizaron el 16 de Junio y la fecha de finalización del experimento el 13 de Julio del 2015, evaluando las plantas por un método destructivo al final del experimento. Se midieron 10 variables en las plantas, donde 3 de ellas se realizaron las mediciones cada ocho días y el resto de las variables fue al finalizar el trabajo. Los experimentos se establecieron en un diseño completamente al azar con seis tratamientos y cinco repeticiones. El análisis de varianza de las variables fisiológicas se realizó mediante un análisis de varianza y prueba de rango múltiple Tukey ($P \leq 0.05$) con el software estadístico JMP-SAS versión 5.0 (SAS Institute, 2002).

Se establecieron dos experimentos, en el primero se evaluaron los sustratos con aplicación de NPs de grafeno, los mejores resultados lo muestran las plantas con el sustrato zeolita donde se observa claramente un mayor desarrollo, las aplicaciones de grafeno por si solas se muestran estadísticamente iguales que el control, pero en

combinación con el sustrato se observa una sinergia ya que se obtuvo mayor desarrollo en la interacción con sustrato zeolítico y aplicaciones de grafeno. En el segundo experimento con aplicación de óxido de zinc más plata, con las dos fuentes de sustrato diferente, se observó un mejor crecimiento y desarrollo de las plantas establecidas en sustrato zeolita, para la aplicación de NPs de óxido de zinc más plata no se observaron diferencias importantes. Por lo tanto, en este trabajo se obtuvieron resultados muy eficientes para las plantas con el uso de sustrato zeolita tipo clinoptilolita y aplicación de grafeno, teniendo un mejor desarrollo y crecimiento de las plantas.

Palabras clave: hortalizas, zeolita, nanotecnología, nanopartículas, óxido de zinc y grafeno.

Correo electrónico; Ivan Bonilla Ortiz, ivanbonilla07@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de rábano (*Raphanus sativus L.*) es originario de China, pero se le puede encontrar en estado silvestre en localidades del Mediterráneo, pertenece a la familia de las crucíferas, la importancia de este cultivo es por la precocidad de su periodo vegetativo (Giaconi y Escaff, 1998).

En México para el año 2014, se reporta una superficie sembrada de 2,763.66 ha con un rendimiento de 32,261.11 toneladas, los estados con mayor superficie sembrada son Puebla, Baja California, Jalisco y Sonora con un 83% de la superficie total sembrada (SIAP, 2014).

Es una planta de gran importancia por sus propiedades nutricionales, con contenidos de vitaminas A, B₁, B₂ y C. También contiene minerales como el hierro, fósforo, potasio, cobre y sodio esenciales para el organismo (Pinzón e Isshiki, 2001).

Por otra parte, es importante conocer el suelo o sustrato para el cultivo, el término sustrato se aplica a todo material sólido distinto al suelo, natural o de síntesis, mineral u orgánico que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando por tanto, soporte para la planta. El sustrato puede o no intervenir en la nutrición vegetal (Urrestarazu, 2015). Existen diversos materiales que pueden utilizarse como sustratos o medios de crecimiento, estos pueden ser orgánicos o inorgánicos.

El uso de estos materiales presenta diversas ventajas, tales como el cuidado del suelo y el agua; pero debe considerarse bajo diversos criterios la selección de algún material ya que este será de importancia para el buen desarrollo de la planta, así como para la economía del productor. En la actualidad, los sustratos representan un componente importante en la agricultura moderna, específicamente en los sistemas semihidropónicos de especies hortícolas. Existen criterios que deben considerarse para su elección como: requerimientos de las plantas, que se ajusten

en lo posible a las características ideales de un sustrato, así como efecto en el medio ambiente (Cruz-Crespo et al., 2013)

Uno de los sustratos más utilizados para la producción en el ámbito mundial es la turba de musgo (peat moss); sus características físicas, químicas y biológicas permiten una excelente germinación y crecimiento de buena calidad en las plantas (Picón, 2013).

La perlita es otro sustrato utilizado en la agricultura se obtiene de un mineral natural y es muy usada en cultivos hidropónicos, debido fundamentalmente a que contiene gran cantidad de aire en sus partículas y poco peso por la escasa densidad que presenta con respecto de la tierra. La perlita, además de usarse en cultivos hidropónicos, forma parte de los sustratos normales de cultivo de plantas ornamentales, debido a las características mencionadas (Maya, 2014).

Las zeolitas se han utilizado en la agricultura desde la década de 1960 como mejoradores de suelo para el crecimiento de las plantas, aditivos de fertilizantes y como fertilizantes de liberación lenta, debido a la eficiencia de estos sólidos cristalinos que son micro-porosos funcionan como intercambiadores de cationes y poseen alta capacidad de retención de agua (Jakkula, 2005). La más común para aplicaciones agrícolas es la clinoptilolita por su alta tasa de absorción, intercambio catiónico y catálisis, ayudan a retener los nutrientes con liberación lenta posterior y por lo tanto, mejoran la calidad del suelo a largo plazo. En las plantas permite retener los nutrientes en la zona radicular para ser utilizados cuando sean necesarios. Debido a eso, las zeolitas son utilizadas para promover un mejor crecimiento en la planta, mejorar la calidad de los suelos y el uso eficiente de los fertilizantes. En consecuencia, esto conduce a la obtención de mayores rendimientos (Polat, 2004).

En los últimos años la nanotecnología (NT) se ha convertido en uno de los campos de vanguardia más importantes e inquietantes en la física, la química, la ingeniería y la biología, con diversas innovaciones que están cambiando la dirección de los avances tecnológicos en agricultura (Poole y Owens, 2003).

La NT en la agricultura tiene un gran potencial y pudiera ser muy importante porque promete mantener cultivos sanos y mejor nutridos, y puede ayudar a incrementar de manera sustentable los rendimientos, considerando generar nanoplaguicidas, nanofertilizantes y nanoherbicidas (Quispe, 2010).

Por otra parte, las nanopartículas (NPs) son una nueva clase de materiales que prometen una mejora significativa de nuestra vida y el medio ambiente en muchas formas. Existen numerosas líneas de investigación que se encuentran en curso en todo el mundo para el estudio fundamental de sus propiedades y aplicaciones llevadas a la práctica con el fin de obtener innovaciones para el bienestar de la humanidad y para la protección del ambiente, productos farmacéuticos, cuidado personal, revestimientos de superficies, plástico, textiles, alimentos, materiales de construcción, electrónica, etc. (Tsuzuki, 2009).

En la agricultura diversas áreas están siendo beneficiadas en un área importante donde se están aplicando las nuevas tecnologías para mejorar el rendimiento de los cultivos. Nano agricultura implica el empleo de nanopartículas en la agricultura, donde estas partículas impactarían en algunos efectos beneficiosos para las plantas. La aparición de la NT y el desarrollo de nuevos nanodispositivos y nanomateriales abren nuevos potenciales para aplicaciones en la agricultura y la biotecnología. Las nanopartículas son materiales que son lo suficientemente pequeños para estar dentro del tamaño nanométrico, con al menos una de sus dimensiones. Estos materiales pueden liberar pesticidas o fertilizantes en un momento específico. Las nanopartículas como agroquímicos u otras sustancias podrían reducir el daño a otros tejidos de la planta y la cantidad de productos químicos liberados en el medio ambiente (Srilatha, 2011).

II. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el crecimiento, desarrollo y producción de biomasa en plantas de rábano en dos sustratos sometidos a diferentes concentraciones de nanopartículas de grafeno y a un nanohíbrido óxido de zinc más plata.

2.1. Objetivos específicos

1. Estudiar el efecto en las plantas de rábano concentraciones de 0, 100 y 200 ppm de nanopartículas de grafeno.
2. Evaluar concentraciones de 0, 100, 200 ppm de nanopartículas de óxido de zinc en el crecimiento de plantas de rábano.
3. Analizar el efecto en el crecimiento de las plantas por tres concentraciones (0, 100 y 200 ppm) de nanopartículas de óxido de zinc dopadas con plata.
4. Estudiar algunas respuestas de plantas de *R. sativus* por efecto de la mezcla de sustrato (70:30) peat moss y zeolita (v/v).

III. HIPÓTESIS

El sustrato zeolítico, así como las nanopartículas grafénicas y metálicas aplicadas a plantas de *R. sativus* promoverán su crecimiento, desarrollo y producción de biomasa.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Clasificación taxonómica del rábano

De acuerdo a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2009), la taxonomía generalmente aceptada para *R. sativus* es:

Reino: Plantae

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Brassicales*

Familia: *Cruciferae*

Género: *Raphanus*

Especies: *sativus*

4.2. Sustrato

Se conoce como sustrato cualquier material sólido distinto del suelo, que en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular y se puede definir por una serie de características físicas, químicas y biológicas, que determinan su comportamiento como medio de cultivo. De un sustrato se espera que sea el medio de cultivo ideal, mediante el cual obtengamos el máximo rendimiento de un cultivo. De acuerdo con Beltrano et al. (2015), está formado por tres fases que a continuación se mencionan:

Fase sólida, constituida por las partículas del sustrato propiamente dicha.

Fase líquida, constituida por el agua o solución que contiene sustancias disueltas.

Fase gaseosa, que es el aire en los poros del sustrato.

Shany (2004) señala que el sustrato tiene que ser fino, aireado, sano, libre de enfermedades y de semillas de malezas. Por eso, hay que escoger bien los materiales que sirven para preparar la mezcla, debiéndose escoger únicamente materiales de alta calidad. La mezcla se compone en general de 65 - 75% de material inerte o mineral, con 25- 35% de un material orgánico. Los materiales más aptos son: turba orgánica (peat moss) o humus de lombriz como materia orgánica y vermiculita o perlita como materia inerte.

La perlita es una roca volcánica higroscópica y químicamente inerte, compuesta básicamente por sílice y aluminio, la cual tiene, la capacidad de que absorbe fácilmente la humedad. La perlita expandida tiene una densidad media de alrededor de 130 kg/m³, se expande cuando se calienta rápidamente a una temperatura entre 800 y 1200 °C (Shawyer y Pizzali, 2005).

4.3. Características de procesamiento de la perlita

La perlita es un mineral obtenido en minas de varios países, incluyendo Estados Unidos y Nueva Zelanda. Después de ser extraído, el mineral es aplastado y expuesto a temperaturas tan altas como 1,000°C, produciéndose partículas blancas y ligeras en peso, el agua se adhiere sólo en la superficie de las partículas de perlita, y por tanto el sustrato que contenga perlita tendrá buen drenaje, además de ser ligero en peso. La perlita es también rígida y no se comprime con facilidad, lo cual promueve una buena porosidad, en especial si es comparada con otros dos componentes inorgánicos (Landis, 1990).

Existen tres diferentes formas de la perlita: subredonda–rugosa, subangular–rugosa, subredonda–rugosa–ondulada y cuatro formas vesiculares: redonda–lisa–ondulada, subredonda–lisa–ondulada, redonda–ondulada y subredonda–ondulada. La mayor variedad de formas se presenta en partículas mayores a 2 mm, y las formas más homogéneas (subredonda y redonda) en partículas menores a estas.

Cuando se relaciona la distancia entre partículas con la forma de ellas, se observa que a mayor variedad de formas, la distancia entre poros se incrementa entre 100 y 700 μm (partículas >3.36 mm); mientras que en formas más homogéneas los diámetros dominantes fueron entre 0 y 200 μm (partículas pequeñas <1 mm); lo que significa mayor compactación.

A medida que el tamaño de partícula disminuye, la densidad aparente se incrementa. La mayor densidad se observa en partículas de 0.13 mm (0.32 g cm^{-3}) y la menor en partículas >3.36 mm (0.14 g cm^{-3}). Las partículas forman dos tipos de poros: empaquetamiento simple con cavidades principalmente en tamaños menores de 0.50 mm y poros vesiculares con cavidades principalmente de tamaños mayores a 0.50 mm. La presencia de poros entre partículas (macroporos de 0.01 a 1 mm y mesoporos de 0.05 a 0.01 mm), e intra partículas (microporos < 0.05 mm) varían con el tamaño de las mismas. Acorde con Anicua et al. (2009), el mayor porcentaje de poros inter partícula se presenta en tamaños <0.13 mm (93%). En el caso de las partículas >3.36 mm ocurrió tanto el menor porcentaje de poros entre (55.2%) como el mayor porcentaje de poros intra partícula (44.8%)

4.4. Zeolitas naturales

Las zeolitas son una familia de minerales, son aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos que al deshidratarse desarrollan en el cristal ideal, una estructura porosa con diámetros de poro mínimos o sea de 3 a 10 angstroms. La zeolita es un aluminosilicato cuya estructura forma cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento, que permiten el intercambio iónico y la deshidratación reversible, su estructura está constituida por aluminio (Al), silicio (Si), sodio (Na), hidrógeno (H) y oxígeno (O), (Bosch y Schifter, 1998).

Básicamente las zeolitas naturales son de origen sedimentario volcánico. Su interior está formado por cavernas y canales que lo convierten en una estructura cristalina hueca con un gran porcentaje de su capacidad volumétrica para almacenar agua, la cual por procesos de intercambio catiónico, cederá racionadamente a las plantas; posee además polaridad negativa, lo que le permite atraer todo tipo de cationes, existiendo especial selectividad por K_2O , NH_4 , P_2O_5 , Ca, Mg y otros esenciales en la nutrición de los cultivos (Haro, 2011).

La zeolita forma tamices moleculares y su uso está bien arraigada en áreas tan diversas como detergentes para la ropa, las industrias de refinación de petróleo y petroquímica, separaciones de gases, adsorbentes y la agricultura. Desde la introducción exitosa de tamices moleculares de aluminosilicatos, las zeolitas han mejorado continuamente las áreas de aplicación actuales como la agricultura y genera otras nuevas (Bekkum et al., 2001).

4.4.1. Historia de las zeolitas

La historia de las zeolitas empezó en 1756 cuando el mineralogista sueco Cronstedt descubrió la primera zeolita mineral y las reconoció como una nueva clase de minerales, las cuales consisten en aluminosilicatos hidratados de las tierras alcalinas y alcalinotérreas. La literatura señala que la palabra zeolita se deriva de dos palabras griegas: "zeo" y "lithos" que significa "hervir una piedra" (Bekkum et al. 2001). Las zeolitas fueron consideradas como minerales que se encuentran en rocas volcánicas por un período de 200 años. Las zeolitas naturales se forman donde las rocas volcánicas y capas de ceniza alcalina reaccionan con el agua subterránea. La mayor parte de la investigación realizada sobre el uso de estos aluminosilicatos en la agricultura tuvo lugar en la década de 1960 en Japón.

Se tiene información señalando que los agricultores japoneses han utilizado roca de zeolita durante años para controlar el contenido de humedad y el pH de los suelos ácidos. Debido a las propiedades de intercambio iónico, las zeolitas se

pueden utilizar en la agricultura debido a su gran porosidad y alta capacidad de intercambio de cationes. Que pueden ser utilizados tanto como portadores de nutrientes y como un medio para atrapar y liberar nutrientes (Ramesh et al., 2011).

La propiedad del intercambio de iones de las zeolitas fue reportada por primera vez por Damour en 1840, quien mostró que estos minerales podrían ser reversiblemente deshidratados sin cambios aparentes en su transparencia o morfología cristalina (Jakkula, 2005).

4.4.2. Características generales de la zeolita

Las propiedades y características más destacadas de los materiales zeolíticos según Bekkum et al. (2001), son las siguientes:

- Importantes propiedades de intercambio iónico.
- Gran capacidad de absorción dependiendo del tamaño de las aberturas de poros y el volumen de huecos.
- Su diversidad de formas.
- Su actividad catalítica o función como portador de materiales nanocompuestos y a nivel micrométrico.
- Alto grado de hidratación.

4.4.3. Usos de la zeolita

En los últimos años ha habido un interés creciente en la utilización de aluminosilicatos naturales en la agricultura y la protección del ambiente. Gracias a sus propiedades físicas y químicas únicas pueden ser utilizadas en la producción de fertilizantes minerales. Debido a su estructura y propiedades son utilizadas como un portador de liberación lenta de fertilizantes y diversos tipos de productos agroquímicos. Una amplia gama de aplicaciones de zeolita promueve la búsqueda de otras posibilidades para su uso, en virtud de las exigencias actuales de la agricultura

ecológica o sustentable, hay amplias áreas de aplicación de un producto natural, material inerte y no tóxico, tal como la zeolita natural (Szerement et al., 2014).

Las zeolitas presentan estructuras porosas, alta capacidad de retención de humedad y de intercambio catiónico. Sus características físicas y químicas las hacen un sustrato atractivo para cultivos hidropónicos. Se resalta que las plántulas establecidas en zeolitas tienen mejor crecimiento que en otros sustratos como el tezontle de granulometría gruesa (Urbina et al. 2006).

La estructura de la zeolita natural del tipo clinoptilolita es ideal para procesos de intercambio de iones y de absorción, también puede ser utilizada para mejorar las propiedades físicas de los suelos y para el tratamiento de suelos contaminados. También es adecuada en muy pequeñas cantidades como aditivos para la alimentación animal (Reháková et al. 2004). Autores como Gül et al. (2005) indican que la zeolita podría proporcionar economía en el uso de nutrientes y reducir la contaminación ambiental por la disminución de la cantidad de elementos perdidos por lixiviación y volatilización.

4.5. Nanotecnología

Se refiere a estructuras más o menos en el régimen de tamaño de 1 a 100 nm. La NT comúnmente se refiere a estructuras que son de hasta varios cientos de nanómetros en tamaño (Farokhzad y Langer, 2009), sin embargo, se acepta que la verdadera tecnología nano se refiere a dimensiones menores a 100 nm.

La palabra nanotecnología se usa extensivamente para definir las ciencias y técnicas que se aplican al nivel de nanoescala, esto es, medidas extremadamente pequeñas o "nanos", que permiten trabajar y manipular las estructuras moleculares y sus átomos. Esto nos podría conducir a la posibilidad de fabricar materiales a partir del reordenamiento de átomos y moléculas. Por lo tanto, la NT es el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control, explotación de fenómenos y propiedades de la

materia a nanoescala. Cuando se manipula la materia a la escala tan minúscula de átomos y moléculas, demuestra fenómenos y propiedades totalmente nuevas. Es por eso que científicos utilizan la NT para crear materiales, aparatos y sistemas novedosos y poco costosos con propiedades únicas. La revolución nanotecnológica, se asocia, por una parte, a la fabricación molecular cuya viabilidad tendría un impacto enorme en nuestras vidas, en las economías, los países y en la sociedad en general en un futuro no lejano. Entre los efectos, destacan sus potenciales impactos en la medicina, la biología, el medioambiente, la informática y construcción (Castillo, 2012).

La NT en virtud de las propiedades relacionadas con los nanomateriales, tiene potenciales aplicaciones agro-biotecnológicas en pesticidas y fertilizantes que provocan la contaminación del ambiente, la aparición de plagas y patógenos en la agricultura y la pérdida de biodiversidad. En la Figura 1 se representa un esquema que muestra las diferentes aplicaciones de la nanotecnología en diversos aspectos de la agricultura (Ghormade et al. 2011).

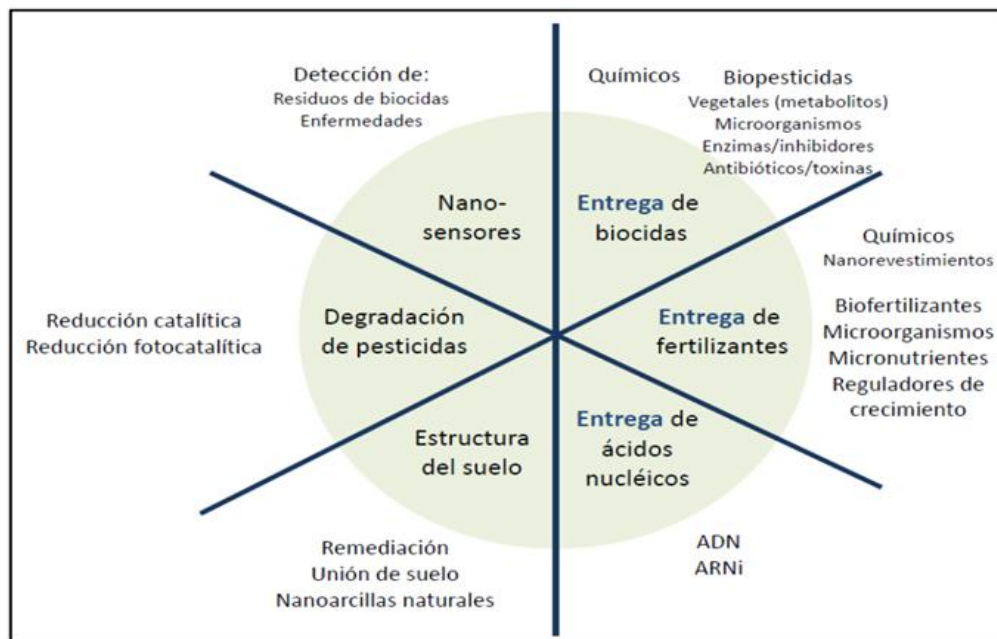


Figura 1. Esquema que representa diferentes aplicaciones de la nanotecnología en aspectos relacionados con la agricultura (Ghormade et al., 2011).

4.5.1. Nanotecnología en la agricultura

Los investigadores involucrados con NT están trabajando con las partículas más pequeñas, que prometen mejorar la productividad agrícola. En un proceso continuo donde se hacen esfuerzos para aumentar la eficacia de los fertilizantes aplicados para la restauración de la fertilidad del suelo mediante la liberación de nutrientes (Chinnamuthu y Murugesu, 2009).

Las técnicas nanotecnológicas desempeñan una función fundamental para la producción mundial de alimentos y la seguridad alimentaria. La importancia de las aplicaciones de la NT en la agricultura incluyen fertilizantes para aumentar el crecimiento y rendimiento de la planta, pesticidas para combatir plagas y enfermedades, sensores para monitorear la calidad del suelo y la sanidad de las plantas. Durante la última década se han desarrollado una serie de patentes y productos que incorporan nano materiales en prácticas agrícolas (por ejemplo, nanopesticidas, nanofertilizantes y nanosensores). Las metas colectivas de todos estos enfoques es mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de las prácticas agrícolas, al requerir menos recursos y generando menos residuos indeseados que productos y enfoques convencionales (Servín et al., 2015).

4.6. Importancia de las nanopartículas

Las propiedades novedosas que muestran las NPs han hecho que sean el objeto de estudio en los últimos años. Las NPs son la aplicación más utilizada en la NT con dimensiones entre 1 y 100 nm. Poseen propiedades únicas que les dan aplicaciones potenciales en la medicina y la biología. Las NPs de metales nobles como el oro, plata y el cobre, han sido objeto de investigación por sus diversas aplicaciones (Ferrer, 2012). Existen muchos tipos como, ultrafinas, aglomerados y agregados, estas se utilizan en los diferentes subsectores de la agricultura. Estas NPs tienen la capacidad potencial de viajar en el interior del organismo que otros

materiales o partículas más grandes no pueden hacer. Por lo tanto, se pueden evaluar diversas interacciones de las NPs con fluidos, células y tejidos (Bhattacharyya et al., 2014).

4.6.1. Aplicación de las nanopartículas en la agricultura

Esta tecnología ofrece la promesa de liberación controlada de productos agroquímicos y el sitio de administración dirigida de varias macromoléculas necesarias para mejorar la resistencia a enfermedades de las plantas, la utilización de nutrientes eficiente y crecimiento de las plantas. Procesos como nanoencapsulación muestran el beneficio de un uso más eficiente y un manejo más seguro de los plaguicidas con menor exposición al ambiente que garantice ecoprotección. La eficiencia de absorción y los efectos de las NPs sobre las diversas funciones de crecimiento y procesos metabólicos varían de manera diferenciada entre las plantas. En concreto, la aplicación de tecnología de NPs en la patología de las plantas se dirige a los problemas agrícolas específicos en las interacciones planta-patógeno y para proporcionar nuevas formas para la protección de cultivos (Nair et al., 2010).

4.6.2. Clasificación de los nanomateriales

Según Fages (2012), los nanomateriales se pueden clasificar conforme a su naturaleza química en cuatro grandes familias:

- Nanomateriales derivados del silicio: nanoarcillas, nanoesferas de sílice, nanoesferas de silicio y nanocompuestos tipo oligomérico poliédrico silsesquioxano (POSS).

- Nanomateriales derivados del carbono: fullerenos, nanotubos y nanofibras de carbono.
- Nanopartículas metálicas y derivados de éstas: plata, oro, cobre, titanio, zinc, dióxido de titanio, óxido de zinc, etc.
- Nanopartículas poliméricas: dendrímeros.

4.6.3. Nanopartículas de grafeno

En el año 2004, el grupo del Dr. Andre Geim de la Universidad de Manchester, y del Dr. Kostya Novoselov, del Instituto de Tecnología Microelectrónica en Chernogolovka, Rusia, reportaron por primera vez la fabricación del grafeno en la revista *Science* (Takeuchi, 2009). El grafeno es una lámina plana de átomos de carbono, teniendo hexágonos regulares en los vértices; son del tamaño de un átomo de espesor y se apilan con otras láminas iguales para formar el grafito (Mosquera et al., 2009).

El grafeno consiste en átomos de carbono dispuestos en una red cristalina casi plana, con pequeñas ondulaciones en forma de panal de abeja, y supone la lámina delgada más fina que es posible producir, ya que se trata de un material de un solo átomo de espesor. Sus propiedades mecánicas, ópticas y eléctricas lo han puesto en la mira de muchos proyectos de investigación que lo visualizan como la próxima gran revolución en electrónica. Sin duda será interesante seguir el desarrollo del grafeno en el futuro próximo, aunque de momento, como en el caso de otros materiales nanométricos de gran potencial, existen aún grandes dificultades técnicas para su explotación industrial (Tanarro, 2011). En la Figura 2 se muestra la estructura bidimensional del grafeno (Rodríguez y Vasiliévna, 2008).

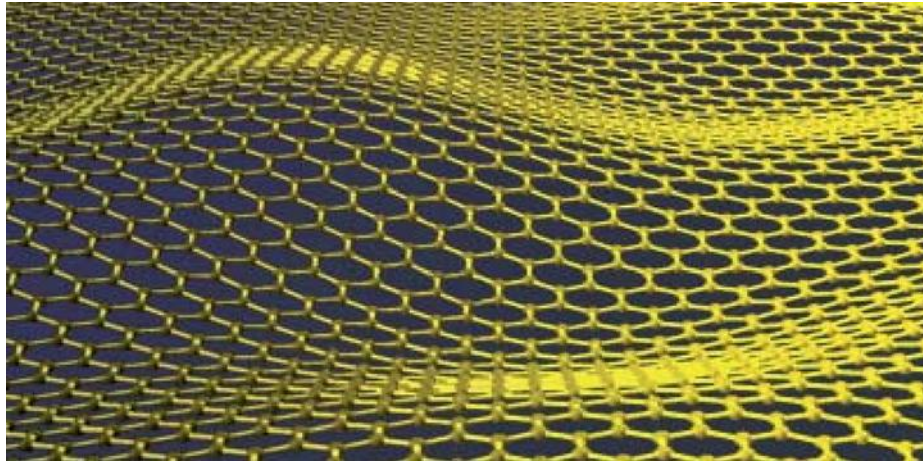


Figura 2. Estructura bidimensional de una lámina de grafeno formada por carbono puro (Rodríguez y Vasilievna, 2008).

El grafeno ha despertado el interés a nivel científico para su estudio por las magníficas propiedades que presenta (Soria, 20015), mismas que se señalan a continuación:

- Alta dureza
- Flexibilidad
- Elasticidad
- Ecológico
- Impermeable
- Alta densidad
- Efecto antibacteriano
- Ligero y transparente
- Alta conductividad térmica
- Alta conductividad eléctrica
- El grafeno es el material más bidimensional

4.6.4. Nanopartículas metálicas

Las NPs metálicas poseen propiedades con aplicación en diversas áreas tecnológicas y desde la antigüedad se tiene conocimiento de estas, aun cuando se tenían antecedentes de la utilización de NPs metálicas, en 1857 Faraday realizó el primer estudio sistemático de ellas, presentando un estudio de la síntesis y propiedades de coloides de oro (Gutiérrez, 2005).

4.6.5. Nanopartículas de plata

La plata es un metal blanco, brillante, suave y maleable con unos de los valores más altos de conductividad térmica y eléctrica. Desde el punto de vista químico es considerado como un metal noble, sin embargo, desde el punto de vista comercial es clasificado como un metal precioso. La plata pura es un metal moderadamente suave, de color blanco, un poco más duro que el oro. Cuando se pule adquiere un lustre brillante y refleja el 95% de la luz que incide sobre ella. Las NPs de plata se están aplicando de forma muy intensa en el desarrollo de materiales poliméricos con propiedades antibacterianas y en algunos casos, antifúngicas (Fages, 2012).

4.6.6. Nanopartículas de Óxido de Zinc

Se habla de las NPs metálicas, especialmente las de plata y de óxido de zinc, han sido ampliamente estudiadas por sus propiedades antimicrobianas en diversas áreas como: la industria textil, alimentación animal, aplicaciones con potencial médico y tratamiento de aguas (Alvarado et al., 2014).

Es conocido que la reducción de las dimensiones de un material hasta la escala nanométrica conduce a un cambio relevante en sus propiedades con respecto al mismo material con dimensiones micrométricas. Estos cambios son atribuidos a efectos que conducen a nuevos y únicos comportamientos físicos químicos y biológicos de los nanomateriales, convirtiéndolos en un centro de atención para su investigación y aplicaciones en diversos campos como la medicina, energía, medio ambiente e industria tecnológica de alimentos, biología, farmacéutica, etc. El óxido de zinc (ZnO) es un semiconductor, el cual es transparente a la luz visible, pero absorbe fuertemente la luz ultravioleta.

El ZnO nanoestructurado se ha convertido en uno de los principales materiales multifuncionales, ofreciendo importante potencial para diversas aplicaciones en biosensores, sistema de purificación de agua, celdas solares, nanomedicina, etc. En los últimos años el ZnO ha sido motivo de intensa investigación, tanto puro, como dopado con metales de transición, habiéndose producido con diversas morfologías abarcando NPs, nanobarras, películas delgadas, etc., (Jáuregui et al., 2011).

La Figura 3 muestra que los conceptos de comunicación química representan un enfoque prometedor para el desarrollo de modelos inteligentes de nanofertilizantes. El principal mecanismo de liberación de nutrientes se basa en el reconocimiento y la unión de una señal específica de la planta por un biosensor alojado en una película de polímero que recubre NPs de ZnO. Estos se enlazan sincronizadamente en respuesta de la señal de liberación de la raíz y las necesidades del cultivo (Monreal et al, 2015).

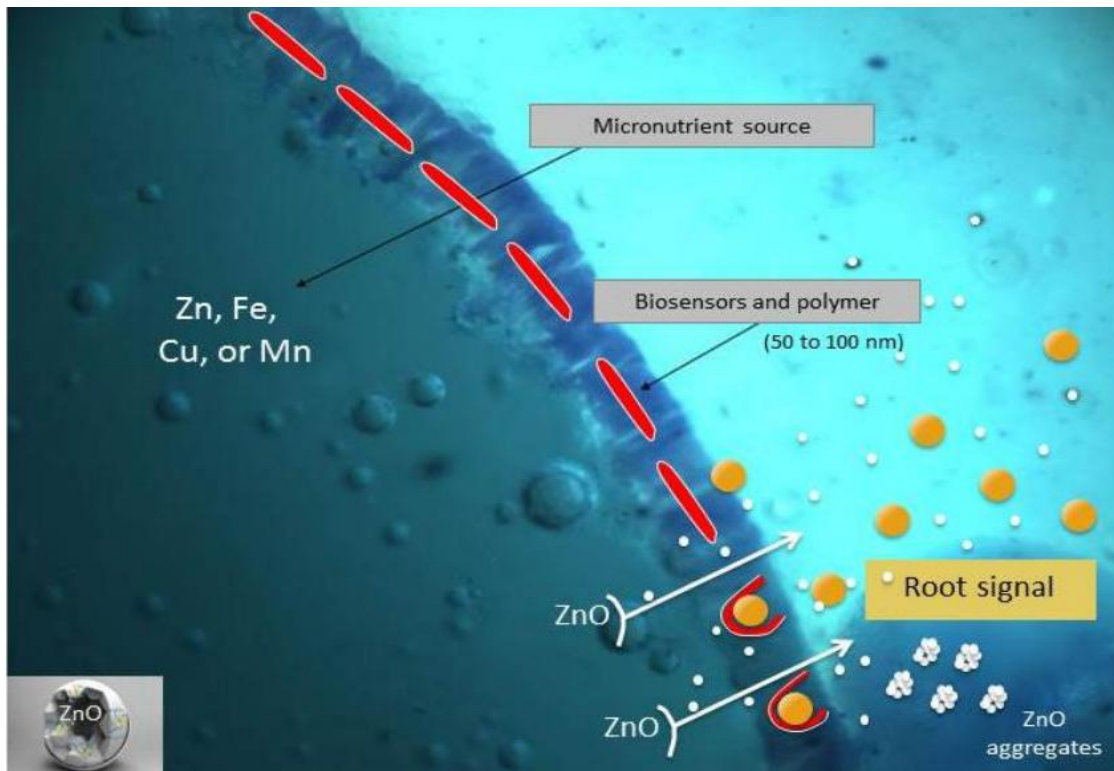


Figura 3. Modelo conceptual que ilustra la liberación sincronizada de ZnO desde el interior de una nanopartícula, hacia la zona de la rizósfera de acuerdo a la demanda del cultivo. Se muestra la unión de señales químicas específicas de la raíz (amarillo) con un nanobiosensor (rojo) (Monreal et al., 2015).

Las NPs aplicadas a las plantas sugieren su uso potencial comercial, posiblemente como fuentes de nutrientes en la producción de cultivos. Las NPs de Fe, Zn, Mn y Cu, así como sus óxidos pueden tener el potencial para aumentar el crecimiento de las plantas, esto debido a un incremento en la eficiencia en el uso de micronutrientes por los cultivos, ya sea que se apliquen a los suelos o follaje (Monreal et al., 2015).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización del sitio experimental

El trabajo se realizó en julio de 2015 en un invernadero de mediana tecnología en las instalaciones del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), en Saltillo, Coahuila, ubicado en las coordenadas geográficas 25° 45' de Latitud Norte, 100° 97' de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altitud de 1575 msnm (INAFED, 2010).

5.2. Preparación de la solución con nanopartículas

Las soluciones con las NPs de grafeno y óxido de zinc más plata, fueron preparadas con una concentración de 0, 100 y 200 mg L⁻¹ en agua destilada, y dispersadas con un sonicador Branson 2510 por 30 min (dos tiempos de 15 min). Para su aplicación se utilizó un adherente comercial (Bionex) y se aplicó 1 ml planta⁻¹

5.3. Distribución de los tratamientos

Cuadro 1. Tratamientos de nanopartículas de grafeno aplicados a plantas de *R. sativus* cultivadas en dos sustratos bajo condiciones de invernadero.

Concentración (ppm)	Tratamientos	
	70:30 pm:per (v/v)	70:30 pm:zeo (v/v)
0	T1	T2
100	T3	T4
200	T5	T6

pm= peat moss; per=perlita; zeo= zeolita.

Cuadro 2. Tratamientos de nanopartículas de óxido de zinc más plata aplicados a plantas de *R. sativus* cultivadas en dos sustratos bajo condiciones de invernadero.

Concentración (ppm)	Tratamientos	
	70:30 pm:per (v/v)	70:30 pm:zeo (v/v)
0	T1	T2
100	T3	T4
200	T5	T6

pm= peat moss; per=perlita; zeo= zeolita.

5.4. Manejo del cultivo

La siembra de las semillas de rábano variedad Champion de la empresa Fax de Occidente S.A. de C.V. se realizó directamente colocando 4 semillas en las macetas de polietileno de 5 L de capacidad con la mezcla de sustratos 70% peat moss y 30% perlita; 70% peat moss y 30% zeolita (v/v). De igual modo se realizó el establecimiento de otro bioensayo con la única diferencia que se aplicó óxido de zinc más plata. A los ocho días de haber sembrado se realizó la primera aplicación de fertilizante cuando la planta ya contaba con los cotiledones desarrollados y una hoja verdadera, la una altura promedio de las plantas en ese momento era de 4.5 cm. Durante el desarrollo del cultivo se aplicó riego de acuerdo a la demanda de la planta y cada 8 días se realizó la fertilización con una solución Hoagland (Hoagland y Arnon, 1950).

5.5. Aplicación de NPs a las plantas de *R. sativus*

La aplicación de NPs se realizó vía foliar en plantas de rábano de manera manual una vez por semana, para esta labor se utilizaron aspersores manuales de 20 ml de capacidad, se realizaron tres aplicaciones hasta la evaluación final,

proporcionando 1 ml para cada tratamiento de las plantas de rábano dependiendo de la concentración y nanopartícula que se aplicaba al igual en cada repetición.

5.6. Determinación del crecimiento y biomasa

Se midió altura de la planta, área foliar (LI-COR modelo LI-300, Lincoln, Nebraska, USA), número de hojas, índice de clorofila (Minolta SPAD 502), tamaño del bulbo (diámetro longitudinal y ecuatorial), biomasa fresca y seca de hojas y bulbos. Estas mediciones se hicieron al final del experimento en todas las plantas.

5.7. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con seis tratamientos y cinco repeticiones cada uno. El análisis de las variables fisiológicas se realizó mediante un análisis de varianza y prueba de rango múltiple de Tukey ($P \leq 0.05$), con el software estadístico JMP-SAS versión 5.0 (SAS Institute, 2002).

VI. RESULTADOS

Efecto de nanopartículas de grafeno en diversas variables fisiológicas de plantas de *R. sativus*

Con base a la información recabada durante el desarrollo experimental se analizaron diez variables morfofisiológicas del cultivo de rábano, las cuales se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Comparación de medias de las respuestas fisiológicas de plantas de *R. sativus* sembradas en dos tipos de sustratos y por el efecto de dosis de nanopartículas de grafeno y por la interacción de los tratamientos.

Tratamientos aplicados y variables morfofisiológicas analizadas				
Factores	Tratamientos	Número de hojas	IR clorofila (U Spad)	Área foliar (cm ²)
A	70:30 pm:zeo	8.83±(0.25)a	38.64±(0.66)a	486.96±(16.7)a
	70:30 pm:per	8.63±(0.17)a	36.52±(0.62)b	401.57±(13.6)b
p≤ 0.05		0.533	0.025*	0.0007**
B	0	8.50±(0.25)a	38.54±(0.82)a	462.99±(27.7)a
	100	8.70±(0.30)a	38.04±(0.82)a	427.60±(22.9)a
	200	9.00±(0.23)a	36.16±(0.78)a	442.20±(18.1)a
p≤ 0.05		0.442	0.09	0.432
A*B	0+(70:30 pm:per)	8.60±(0.24)a	37.82±(1.42)a	410.54±(20.9)ab
	0+(70:30 pm:zeo)	8.40±(0.48)a	39.26±(0.86)a	515.44±(40.6)a
	100+(70:30 pm:per)	8.40±(0.36)a	36.68±(0.92)a	377.44±(23.2)b
	100+(70:30 pm:zeo)	9.00±(0.47)a	39.40±(1.12)a	477.75±(24.0)ab
	200+(70:30 pm:per)	8.90±(0.33)a	35.06±(0.55)a	416.72±(27.5)ab
	200+(70:30 pm:zeo)	9.10±(0.36)a	37.26±(1.36)a	467.68±(19.8)ab
p≤ 0.05		0.593	0.84	0.014*

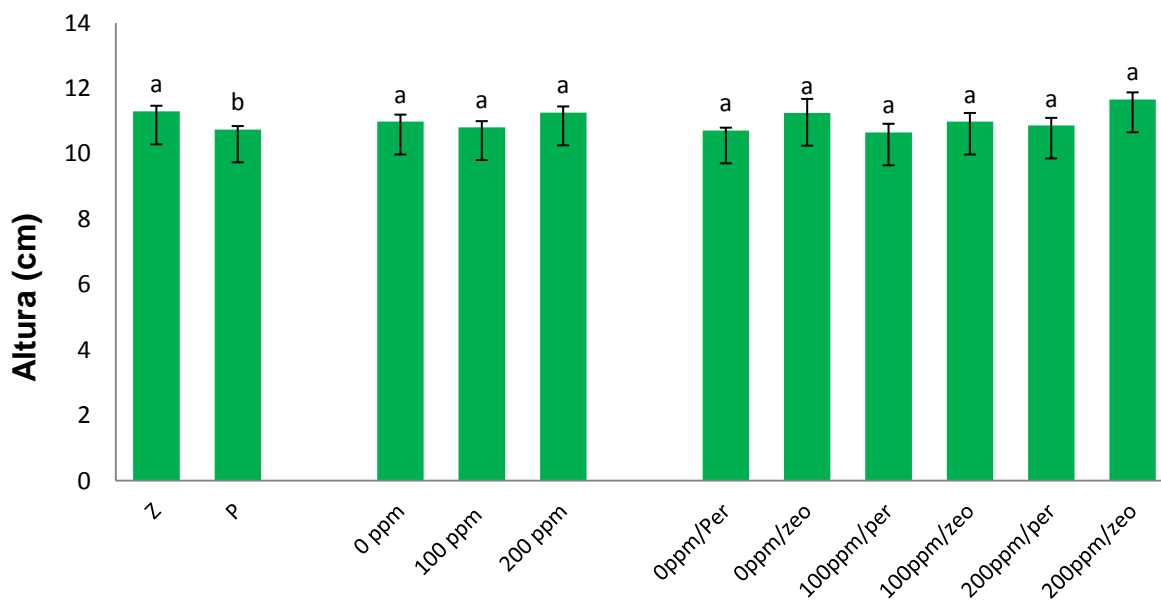
**Diferencia altamente significativa (p≤ 0.01), *Diferencia significativa (p≤ 0.05), valores con la misma literal en columnas no son significativos entre sí. pm= peat moss, zeo= zeolita, per= perlita, 0-200 ppm nanopartículas de grafeno.

En el Cuadro 3 se observa para la variable número de hojas que la zeolita mezclado con peat moss se comportó igual que la perlita con peat moss, no hay diferencia estadística, al igual que en la aplicación de nanopartículas no se obtiene diferencia de igual manera sucede en la interacción de sustratos y nanopartículas al comportarse iguales entre los tratamientos.

En el índice relativo de clorofila se muestran diferencias ($p \leq 0.05$), siendo mejor la mezcla de sustratos peat moss y zeolita, para la interacción de estos tratamientos se observa diferencia a favor de las nanopartículas y el grafeno aunque no significativa. El área foliar representa diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para el factor sustratos, siendo altamente eficaz el peat moss y la zeolita. Para las NPs no se observó diferencias, la interacción del grafeno y sustrato muestra diferencia estadística indicando que hubo inhibición del crecimiento en la aplicación de NPs.

Los resultados de la Figura 4 muestran efectos significativos ($p \leq 0.05$) para altura en plantas de rábano en los sustratos, destacando como mejor la mezcla de zeolita y peat moss. Para esta misma variable se observó un incremento en el porte de las plantas con la aplicación de 200 ppm de NPs de grafeno, aunque estos resultados no tuvieron significancia estadística. En la interacción de sustratos y nanopartículas se puede apreciar una sinergia positiva al incorporar zeolita al sustrato y aplicar 200 ppm de grafeno.

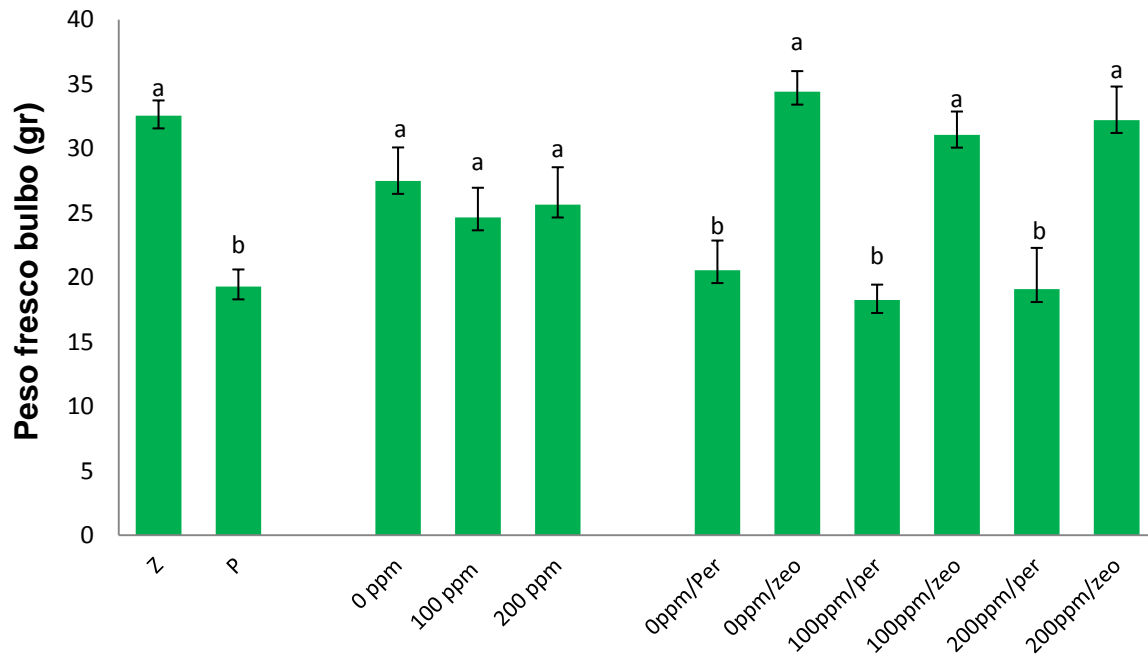
Figura 4. Efecto de dos tipos de sustrato y tres dosis de nanopartículas de grafeno y su interacción en la altura de plantas *R. sativus*.



Literales diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media. Sustrato, NPs, Interacción. Valores con la misma literal no son significativos entre sí. zeo= zeolita, per= perlita, 0-200 ppm nanopartículas de grafeno.

Para el peso fresco del bulbo, se obtuvo datos muy satisfactorios en el sustrato peat moss y zeolita, ya que mostraron diferencias significativas como se indica en las Figuras 5 y 7. En la aplicación de grafeno no se muestran diferencias, mientras que en la interacción de sustratos y nanopartículas nos marca una diferencia altamente significativa, siendo mejores los tratamientos con aplicaciones de 100 y 200 ppm de grafeno en sustrato zeolita y peat moss.

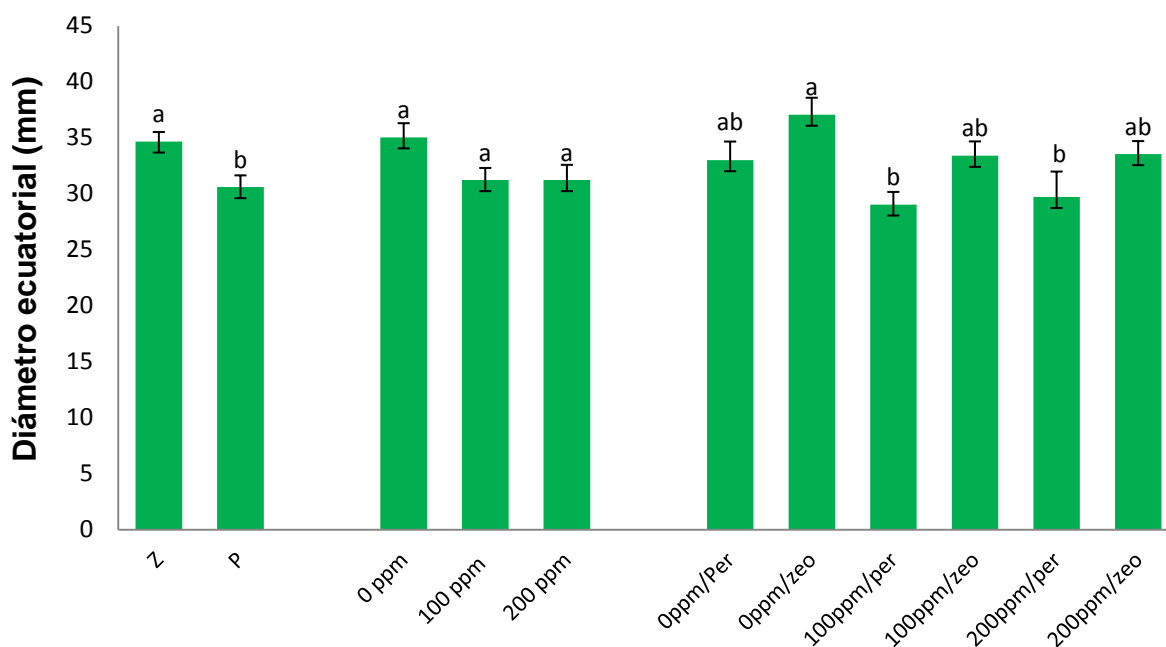
Figura 5. Efecto de dos tipos de sustrato y tres dosis de nanopartículas de grafeno y su interacción en la biomasa fresca de plantas *R. sativus*.



Literales diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media Sustrato, NPs, Interacción. Valores con la misma literal no son significativos entre sí, zeo= zeolita, per= perlita, 0-200 ppm nanopartículas de grafeno.

Para la variable diámetro ecuatorial, se observa en la Figura 6 diferencias significativas en los sustratos con mezcla de zeolita, mientras que para la aplicación de nanopartículas, no se obtuvieron diferencias significativas en la interacción de sustratos y nanopartículas, más bien se observó inhibición del crecimiento en aplicación de grafeno.

Figura 6. Efecto de dos tipos de sustrato y tres dosis de nanopartículas de grafeno y su interacción en el diámetro ecuatorial de plantas *R. sativus*. Literales diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$).



Las barras representan el error estándar de la media Sustrato, NPs, Interacción. Valores con la misma literal no son significativos entre sí. zeo= zeolita; per= perlita; 0-200 ppm nanopartículas de grafeno.

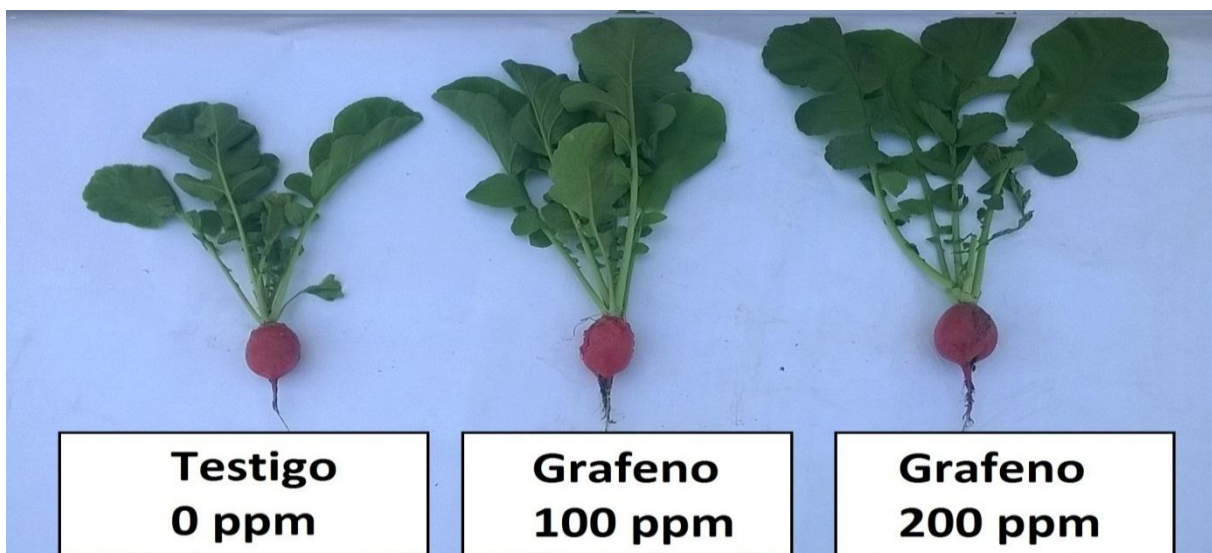


Figura 7. Crecimiento de plantas de *R. sativus* debido a los tratamientos aplicados con nanopartículas de grafeno.

El peso fresco de hojas para el factor sustratos, muestra efectos altamente significativos ($p \leq 0.01$) como se observa en el Cuadro 4. Destacando el peat moss y la zeolita, en la aplicación de NPs no se muestran diferencias significativas, para la interacción del sustrato y nanoparticulas se observan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) donde resalta el tratamiento 2 con mayor producción de biomasa. Para el peso seco de hojas de igual manera se muestra una diferencia altamente significativa expresada en el sustrato peat moss y zeolita; en la aplicación de grafeno no se observan diferencias estadísticas, sin embargo para la interacción de sustratos y nanoparticulas se tienen diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) y nos indica que el tratamiento peat moss y zeolita muestra el mejor peso seco de plantas, que cualquier otro tratamiento, también se observa que los tratamientos con zeolita y grafeno promovieron mayor biomasa seca.

Cuadro 4. Comparación de medias de las respuestas fisiológicas de plantas de *R. sativus* sembradas en dos tipos de sustratos y por el efecto de dosis de nanopartículas de grafeno y por la interacción de los tratamientos.

Tratamientos aplicados y variables morfofisiológicas analizadas			
Factores	Tratamientos	Biomasa fresca de hojas (gr)	Peso seco hojas (gr)
A	70:30 pm:zeo	22.768±(0.87)a	1.807±(0.08)a
	70:30 pm:per	19.104±(0.55)b	1.354±(0.05)b
p ≤ 0.05		0.001**	0.0001**
B	0	22.476±(1.20)a	1.694±(0.11)a
	100	19.951±(0.99)a	1.537±(0.13)a
	200	20.381±(0.87)a	1.511±(0.09)a
p ≤ 0.05		0.119	0.289
A*B	0+(70:30 pm:per)	20.477±(0.52)ab	1.45±(0.04)abc
	0+(70:30 pm:zeo)	24.475±(2.07)a	1.93±(1.16)a
	100+(70:30 pm:per)	18.005±(0.98)b	1.25±(0.10)c
	100+(70:30 pm:zeo)	21.898±(1.27)ab	1.82±(0.15)ab
	200+(70:30 pm: per)	18.830±(1.09)b	1.35±(0.13)bc
	200+(70:30 pm:zeo)	21.932±(1.03)ab	1.67±(0.07)abc
p ≤ 0.05		0.015*	0.003**

**Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$), valores con la misma literal en columnas no son significativos entre sí. pm= peat moss; zeo= zeolita; per= perlita; 0-200 ppm nanopartículas de grafeno.

Diferencias significativas ($p \leq 0.05$) se presentan en el peso seco del bulbo siendo mejor el sustrato donde se incorporó zeolita, en la aplicación de grafeno no se muestran diferencias significativas; mientras que en la interacción del sustrato y nanopartículas si se obtuvo diferencias ($p \leq 0.05$) ya que con el tratamiento 100 ppm de grafeno en sustrato 30% zeolita y 70% peat moss y el tratamiento 200 ppm de grafeno en sustrato peat moss 70% y zeolita 30% promovieron mayor rendimiento. En el diámetro longitudinal se observan diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para el peat moss y zeolita como sustrato, mientras que para las nanopartículas se observa una diferencia en 100 y 200 ppm de grafeno, en la interacción de sustrato y nanopartículas se observan diferencias significativas en sustrato peat moss y zeolita con 200 ppm de grafeno.

Cuadro 5. Comparación de medias de las respuestas fisiológicas de plantas de *R. sativus* sembradas en dos tipos de sustratos y por el efecto de dosis de nanopartículas de grafeno y por la interacción de los tratamientos.

Tratamientos aplicados y variables morfofisiológicas analizadas			
Factores	Tratamientos	Peso seco bulbo(gr)	Diámetro longitudinal (mm)
A	70:30 pm:zeo 70:30 pm: per	1.514±(0.07)a 1.068±(0.07)b 0.0005**	52.64±(1.7)a 42.45±(1.2)b 0.0001**
B	0 100 200	1.316±(0.13)a 1.365±(0.10)a 1.193±(0.11)a 0.44	47.02±(3.02)a 47.47±(1.9)a 48.15±(2.5)a 0.918
A*B	0+(70:30 pm:per) 0+(70:30 pm:zeo) 100+(70:30 pm: per) 100+(70:30 pm:zeo) 200+(70:30 pm:per) 200+(70:30 pm:zeo)	1.083±(0.10)ab 1.549±(0.20)ab 1.147±(0.11)ab 1.583±(0.08)a 0.976±(0.16)b 1.410±(0.09)ab 0.015*	40.64±(1.9)b 53.40±(4.1)a 44.22±(2.3)ab 50.71±(2.5)ab 42.49±(2.2)ab 53.82±(2.8)a 0.05*

**Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$), valores con la misma literal en columnas no son significativos entre sí. pm= peat moss; zeo= zeolita; per= perlita; 0-200 ppm nanopartículas de grafeno.

Nanopartículas de ZnO + Ag aplicados al follaje de las plantas

Los tratamientos evaluados con dos tipos de sustrato diferente se muestran en el Cuadro 6, no se obtuvieron diferencias significativas en las variables evaluadas. (Altura, numero de hojas e IR de clorofila), cabe resaltar que numéricamente promoviendo mayor crecimiento; para el factor b donde se realizó la aplicación de óxido de zinc más plata, las variables altura, numero de hojas e IR de clorofila mostraron una diferencia numérica en dosis alta (200 ppm). Respecto a la interacción del sustrato y las NPs, no se observó diferencia estadística, pero si se detectaron diferencias numéricas para las tres variables. Donde se puede apreciar una sinergia positiva y se observa que las plantas en sustrato zeolita y peat moss con aplicaciones de NPs promovieron el crecimiento de las plantas.

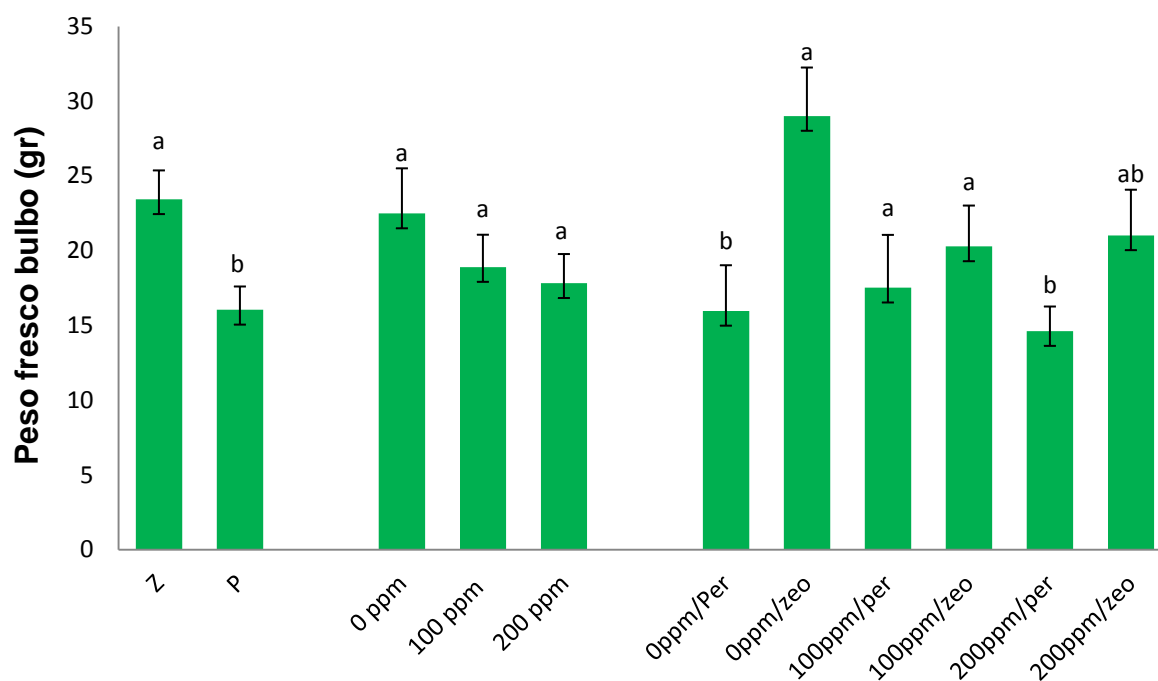
Cuadro 6. Comparación de medias de las respuestas fisiológicas de plantas de *R. sativus* sembradas en dos tipos de sustratos y por el efecto de dosis de nanopartículas de óxido de zinc más plata y la interacción de los tratamientos.

Tratamientos aplicados y variables morfofisiológicas analizadas				
Factores	Tratamientos	Altura (cm)	Numero de hojas	IR Clorofila (U Spad)
A	70:30 pm:zeo 70:30 pm:per	10.79 ± (0.11) a 10.52 ± (0.20) a	8.83 ± (0.30) a 8.53 ± (0.20) a	38.03 ± (1.43) a 37.06 ± (1.17) a
p ≤ 0.05		0.265	0.432	0.068
B	0 100 200	10.33 ± (0.16) a 10.74 ± (0.23) a 10.89 ± (0.17) a	8.70 ± (0.38) a 8.55 ± (0.20) a 8.80 ± (0.36) a	37.60 ± (0.38) a 37.30 ± (0.43) a 37.75 ± (0.50) a
p ≤ 0.05		0.158	0.861	0.766
A*B	0+(70:30 pm:per) 0+(70:30 pm:zeo) 100+(70:30 pm:per) 100+(70:30 pm:zeo) 200+(70:30 pm:per) 200+(70:30 pm:zeo)	10.17 ± (0.30) a 10.50 ± (0.15) a 10.63 ± (0.42) a 10.85 ± (0.26) a 10.76 ± (0.34) a 11.02 ± (0.10) a	8.50 ± (0.54) a 8.90 ± (0.57) a 8.80 ± (0.20) a 8.30 ± (0.33) a 8.30 ± (0.25) a 9.30 ± (0.64) a	37.02 ± (0.60) a 38.18 ± (0.37) a 37.10 ± (0.49) a 37.50 ± (0.78) a 37.08 ± (0.60) a 38.42 ± (0.75) a
p ≤ 0.05		0.983	0.279	0.72

**Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$), valores con la misma literal en columnas no son significativos entre sí. pm= peat moss; zeo= zeolita; per= perlita; 0-200 ppm nanopartículas de óxido de zinc más plata.

Para el peso fresco del bulbo se tienen diferencias significativas ($p \leq 0.01$) donde nuevamente el sustrato zeolita y peat moss promovió el desarrollo de las plantas, para la aplicación de NPs ZnO + Ag no se muestran diferencias estadísticas, en la interacción de sustratos y nanopartículas hay diferencia entre los tratamientos, siendo el tratamiento dos (70% peat moss y 30% zeolita con 0 ppm) el que promovió mejor comportamiento en las plantas, como se observa en la Figura 8.

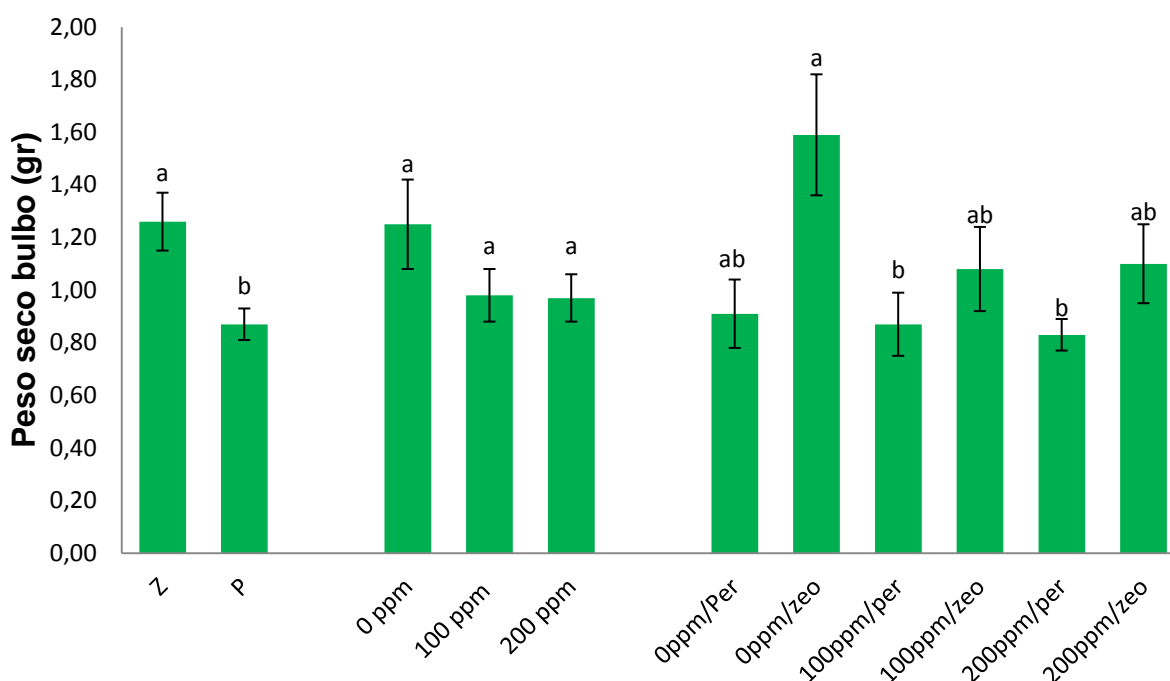
Figura 8. Efecto de dos tipos de sustrato y tres dosis de nanopartículas de óxido de zinc más plata y su interacción en el peso fresco del bulbo de plantas *R. sativus*.



Literales diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media, Sustrato, NPs, Interacción. zeo= zeolita; Per= perlita; 0-200 ppm nanopartículas de óxido de zinc más plata.

En el peso seco del bulbo (Figura 9) se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) siendo el sustrato con la incorporación de zeolita el mejor en rendimiento, para la aplicación de nanopartículas no se muestran diferencias; en la interacción de sustrato y nanopartículas se observa un sinergismo entre sustratos zeolíticos y aplicación de NPs demostrando mejores resultados numéricamente.

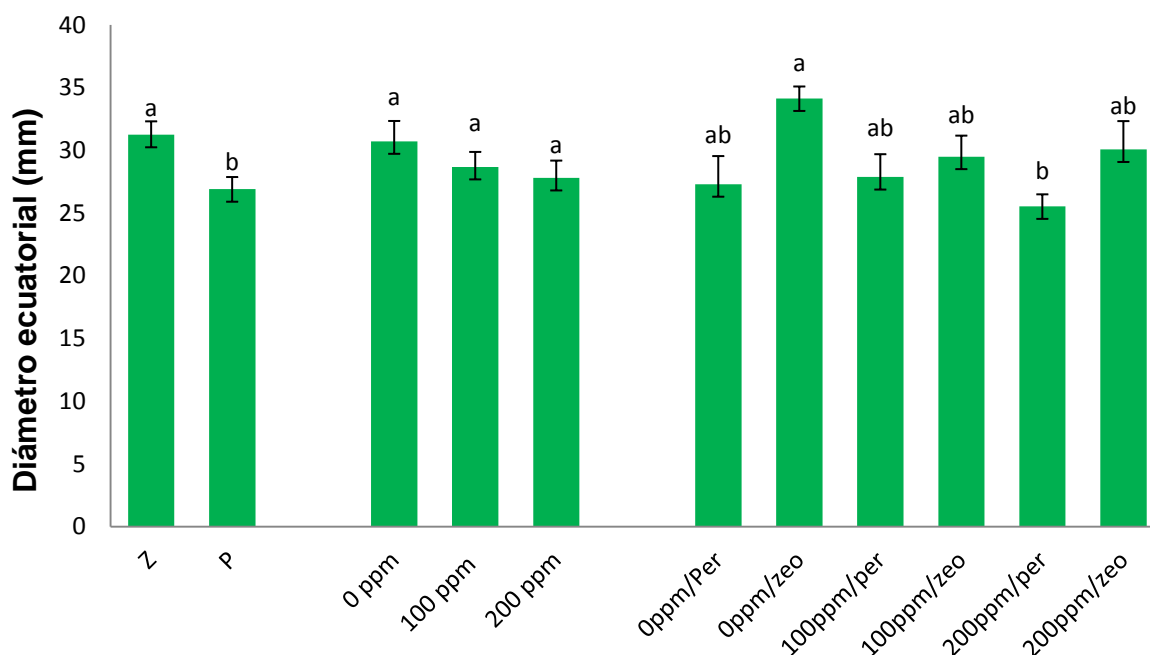
Figura 9. Efecto de dos tipos de sustrato y tres dosis de nanopartículas de óxido de zinc más plata y su interacción con el peso seco del bulbo de plantas *R. sativus*.



Literales diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media. Interacción. Zeo= zeolita; per= perlita; 0-200 ppm nanopartículas de óxido de zinc más plata.

En la variable diámetro ecuatorial se tiene diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para el sustrato zeolita y peat moss, mientras que para la aplicación de nanopartículas no se muestran diferencias. En la interacción de sustrato y nanopartículas, hay diferencia entre tratamientos, siendo el dos (70% peat moss y 30% zeolita con 0 ppm) el de mejor diámetro de plantas (Figura 10).

Figura 10. Efecto de dos tipos de sustrato y tres dosis de nanopartículas de óxido de zinc más plata y su interacción en el diámetro ecuatorial de plantas *R. sativus*.



Literales diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media Sustrato, NPs, Interacción. Zeo= zeolita; per= perlita; 0-200 ppm nanopartículas de óxido de zinc más plata.

Para la variable peso fresco de hojas no se muestran diferencias significativas en los sustratos ni en las nanopartículas aplicadas, al igual que en la interacción (Cuadro 7). En el peso seco de hojas se tiene diferencia estadística entre sustratos, donde las plantas en sustrato con zeolita y peat moss expresan mayor crecimiento y desarrollo, por otra parte, con la aplicación de nanopartículas no se presentaron diferencias estadísticas. En lo que concierne a la interacción de sustratos y NPs, los resultados no presentaron diferencias significativas.

Cuadro 7. Comparación de medias de las respuestas fisiológicas de plantas de *R. sativus* sembradas en dos tipos de sustratos y por el efecto de dosis de nanopartículas de óxido de zinc más plata y por la interacción de los tratamientos.

Tratamientos aplicados y variables morfofisiológicas analizadas			
Factores	Tratamientos	Peso fresco hojas (gr)	Peso seco hojas (gr)
A	70:30 pm:zeo 70:30 pm:per	21.82 ± (1.88) a 19.17 ± (0.85) a	1.66 ± (0.13) a 1.32 ± (0.05) b
p ≤ 0.05		0.201	0.029*
B	0 100 200	22.82 ± (2.67) a 19.01 ± (1.00) a 19.67 ± (1.21) a	1.62 ± (0.19) a 1.37 ± (0.06) a 1.49 ± (0.11) a
p ≤ 0.05		0.276	0.372
A*B	0+(70:30 pm:per) 0+(70:30 pm:zeo) 100+(70:30 pm:per) 100+(70:30 pm:zeo) 200+(70:30 pm:per) 200+(70:30 pm:zeo)	19.42 ± (1.59) a 26.21 ± (4.89) a 19.69 ± (1.47) a 18.32 ± (1.47) a 18.41 ± (1.67) a 20.93 ± (1.75) a	1.33 ± (0.09) a 1.91 ± (0.34) a 1.35 ± (0.08) a 1.38 ± (0.11) a 1.29 ± (0.10) a 1.68 ± (0.16) a
p ≤ 0.05		0.275	0.292

**Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$), valores con la misma literal en columnas no son significativos entre sí. pm= peat moss; zeo= zeolita; per= perlita; 0-200 ppm nanopartículas de óxido de zinc más plata.

El área foliar presenta diferencia significativa para plantas en sustratos con zeolita (Cuadro 8), sin embargo para la aplicación de nanopartículas no se muestran diferencias significativas ni para la interacción de sustratos, pero se observan mejores los tratamientos en sustrato zeolitico con aplicación de óxido de zinc más plata. En la variable diámetro longitudinal (Cuadro 8) se puede observar que la zeolita y el peat moss es el mejor sustrato, en la aplicación de nanopartículas no se observan diferencias, al igual que en la interacción del sustrato y nanopartículas.

Cuadro 8. Comparación de medias de las respuestas fisiológicas de plantas de *R. sativus* sembradas en dos tipos de sustratos y por el efecto de dosis de nanopartículas de óxido de zinc más plata y por la interacción de los tratamientos.

Tratamientos aplicados y variables morfofisiológicas analizadas			
Factores	Tratamientos	Área foliar (cm ²)	Diámetro longitudinal (mm)
A	70:30 pm:zeo 70:30 pm:per	446.25 ± (36.1) a 364.29 ± (14.1) b	41.34 ± (1.12) a 38.64 ± (1.69) a
p ≤ 0.05		0.034*	0.22
B	0 100 200	456.50 ± (48.2) a 366.37 ± (21.0) a 392.94 ± (28.6) a	40.78 ± (2.16) a 39.45 ± (1.86) a 39.74 ± (1.40) a
p ≤ 0.05		0.141	0.868
A*B	0+(70:30 pm:per) 0+(70:30 pm:zeo) 100+(70:30 pm:per) 100+(70:30 pm:zeo) 200+(70:30 pm:per) 200+(70:30 pm:zeo)	377.09 ± (20.8) a 535.92 ± (83.0) a 365.68 ± (34.2) a 367.07 ± (28.5) a 350.11 ± (19.7) a 345.77 ± (48.8)a	40.42 ± (4.38) a 41.13 ± (1.31) a 36.70 ± (2.18) a 42.20 ± (2.65) a 38.80 ± (2.06) a 40.68 ± (2.05) a
p ≤ 0.05		0.234	0.641

**Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$), valores con la misma literal en columnas no son significativos entre sí, pm= peat moss; zeo= zeolita; per= perlita; 0-200 ppm nanopartículas de óxido de zinc más plata.

VII. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados aquí expuestos, en plantas de *R. sativus* se propició un mejor desarrollo relacionado con las diversas características y propiedades de la zeolita, esto debido a su estructura y propiedades. La zeolita libera lentamente productos agroquímicos y fertilizantes de diversos tipos para mejorar las características tanto del suelo como de plantas, así lo indica Szerement et al. (2014). Khodaei et al. (2012) argumentan que la zeolita tiene alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo que puede mejorar el suelo y la disponibilidad de los elementos alrededor de las raíces, aumentando el rendimiento de los cultivos.

Se ha señalado que el mejoramiento de las propiedades químicas del suelo sobre la aplicación de la zeolita clinoptilolita y la gran porosidad interna de la zeolita permite una alta capacidad de intercambio catiónico para la retención de nutrientes principalmente nitrógeno, para después ser liberados de manera controlada (Krystle et al., 2013). Por su parte, el trabajo de Campos et al. (2010) demostró que se pueden reducir las pérdidas de fertilizantes con la adición de zeolitas y de esta manera mejorar el rendimiento de biomasa seca y la absorción de N en raigrás italiano.

Los resultados obtenidos con aplicación de zeolita en rábano concuerdan con los resultados de Noori et al. (2006), quienes demostraron que el uso de clinoptilolita puede mejorar la calidad del suelo y aumentar el rendimiento del cultivo de rábano, aplicaciones de zeolita natural en el cultivo de rábano aumenta el producto final y también retienen sales perjudiciales, ya que estas no logran pasar por las raíces hasta las plantas.

Otros estudios también demuestran la capacidad de la zeolita clinoptilolita natural para aumentar la eficiencia de absorción de fertilizante nitrogenado en cultivos como trigo, reflejándose en un incremento significativo en la producción de biomasa (Tsadilas y Argyropoulos, 2006).

Las plantas de rábano con los tratamientos de zeolita tuvieron mejor desarrollo y crecimiento en comparación de las plantas que estuvieron en sustrato con perlita, como se observa en los cuadros anteriores y en la Figura 7, donde se puede ver el crecimiento de las plantas. Jayasinghe et al. (2010), mencionan que la zeolita mejora física y químicamente las características de los sustratos adicionados con este material en comparación con sustratos sin zeolita, obteniendo siempre mejor crecimiento y rendimientos máximos con sustratos zeolíticos.

En este estudio es evidente que el uso de la zeolita como sustrato aumentó el crecimiento y el peso en las plantas especialmente el peso fresco del bulbo, la zeolita mejoró la producción y aumentó los rendimientos en rábano. Srilatha (2011), indica que las NPs tienen efectos beneficiosos para los cultivos en la agricultura. En esta investigación donde se aplicaron NPs ZnO + Ag no se observaron diferencias, y esto concuerda con Zhao et al. (2014), quienes realizaron un trabajo con *Salvinia natans* aplicándole NPs ZnO en dosis de 50 mgL⁻¹ y dando como resultado solo un estrés oxidativo, sin embargo, el crecimiento de la planta no se vio afectado de manera significativa.

Con base en los resultados obtenidos no se observó inhibición del crecimiento, ya que los tratamientos se comportaron iguales; por otro lado, Mukherjee et al. (2013) en un trabajo establecido con *Pisum sativum*, reportan toxicidad de las plantas por la aplicación de NPs de óxido de zinc, pero de igual manera menciona que las NPs pueden actuar de forma distinta y esto depende de la forma de aplicación ya sea en el suelo por la raíz o vía foliar al igual que la tasa de absorción depende del tamaño y las propiedades de la superficie de las nanopartículas.

En el presente trabajo no se observó crecimiento en las plantas por la aplicación de NPs, lo que puede deberse a las frecuencias de aplicaciones o dosis, al igual que el modo de aplicación, se ha reportado que en aplicaciones foliares las NPs pueden aglomerarse y no penetrar en los estomas, o también pueden tenerse ciertos inconvenientes cuando no existe una dispersión eficaz previa. Existen trabajos realizados donde se indican resultados positivos como el reporte de Raliya y Tarafda. (2013), que mediante un trabajo experimental con NPs de ZnO encontraron efecto en el crecimiento y biomasa seca en plantas de *Clusterbean*. Indican que las mejores respuestas obtenidas con aplicación de NPs de ZnO se puede deber a que intervienen en la síntesis de enzimas como la fitasa y fosfatasa. Por otra parte las NPs podrían entrar en el xilema a través de la corteza y se pueden acumular en la vacuola. También se menciona que el crecimiento de las plantas con aplicaciones de NPs se debe principalmente al Zn, ya que interviene en la biosíntesis de auxinas involucradas en la elongación y división celular, ya que se demuestra mediante un trabajo por Méndez et al. (2015), un mayor crecimiento en plantas de Chile, a las cuales se les aplicó foliarmente NPs de óxido de zinc y plata.

En los tratamientos que incluyeron la aplicación de nanopartículas de grafeno a plantas de rábano, no se presentaron diferencias significativas, lo que concuerda con el trabajo de Begum et al. (2011), donde demostraron que el grafeno ejerce efectos tóxicos sobre diversas especies de plantas como la col, tomate y espinaca. Se indica que la sobre producción de ROS inducida por grafeno podría ser responsable de la inhibición del crecimiento de las plantas y la biomasa en comparación del control. Pero Mukherjee et al. (2013) mencionan que puede haber varios efectos distintos en las plantas al aplicar NPs debido a diferentes factores, mientras tanto Patel et al. (2014) mencionan que la aplicación de NPs abrirán un panorama de la investigación en forma integrada como control de patógenos, interacciones planta-patógeno y muchos más. Sin embargo, varios aspectos de nanopartículas con relación a las plantas como toxicidad sobre plantas y la dosis óptima para su aplicación que deben ser determinados.

VIII. CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados, se concluye que los sustratos zeolíticos promueven el crecimiento, desarrollo y producción de biomasa en plantas de rábano *R. sativus*. Las nanopartículas gráficas y metálicas (óxido de zinc más plata) promovieron el crecimiento de plantas, reportando mejores resultados en la mayor dosis aunque no fue estadísticamente significativo.

Para la interacción de sustratos y NPs de grafeno, se mostró mayor crecimiento y desarrollo en siete de las diez variables evaluadas, mostrando así una sinergia positiva de las NPs y la zeolita. De manera similar en la interacción de NPs óxido de zinc más plata con el sustrato zeolítico, se obtuvo mayor crecimiento y desarrollo en tres variables relacionadas con rendimiento, mostrando buenos resultados en combinación de NPs y zeolita.

IX. LITERATURA CITADA

- Alvarado, R., Solera, F., y Vega-Baudrit, J. 2014. Síntesis sonoquímica de nanopartículas de óxido de cinc y de plata estabilizadas con quitosano. Evaluación de su actividad antimicrobiana. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 15: 3. 134-148.
- Anicua, S.R., Gutiérrez, C.C., Sánchez, G.P., Ortiz, S.C., Volke, H.V. y Rubiños, P.J. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura Técnica en México*. 35:2.
- Begum, P., Ikhtari, R. y Fugetsu, B. 2011. Graphene phytotoxicity in the seedling stage of cabbage, tomato, red spinach, and lettuce, de Universidad de Hokkaido. 49:12. 48-49.
- Bekum, H., Flanigen, E., Jacobs, P. y Jansen, J. 2001. Introduction to Zeolite Science and Practice. New York: Elsevier Science. En Roth, W.J. y Dorset, D. L. (2015). The role of symmetry in building up zeolite frameworks from layered zeolite precursors having ferrierite and CAS layers. In *Science of Crystal Structures Springer International Publishing*. pp. 255-260.
- Beltrano, J., Giménez, D., Ruscitti, M., Carbone, A., Andreau, R., Vasicek, A., Ronco, B., Martínez, S. y Garbi, M. 2015. Cultivo en hidroponía. Buenos Aires, Argentina: de la Universidad de la Plata. 182.pp.
- Beqiraj, E., Gjoka, F., Muller, F, y Baillif, P. 2008. Use of zeolitic material from munella region (Albania) as fertilizer in the sandy soils of divjaka region (Albania). *Carpth. J. of Earth and Environmental Sciences*. 3:2. 33-47.
- Bhattacharyya, A., Chandrasekar, R., Kumar, C.A., Epidi, T.T. y Shetty, P. 2014. Application of nanoparticles in sustainable agriculture: Its current status. The international mission of the book. Volume 2: 429-448.
- Bosch, P. y Schifter, I. 1998. La zeolita una piedra que hierva. México, D.F.. La ciencia desde México. 66 pp.
- Campos, B, A; Pereira, M, E; Henrique, S, S; Donizeti, C, R y Anchao, O, P. 2010. Ammonia volatilization, dry matter yield and nitrogen levels of Italian ryegrass fertilized with urea and zeolite. *Agronomía, Unicastelo*, 1: 22-25.
- Castillo, R.F. 2012. Introducción a los Nanomateriales. (En línea). Consultado 14 Febrero, 2016. (79p) Disponible en http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/Introduccion%20a%20los%20nanomateriales.pdf

- Chinnamuthu, C.R. y Murugesu, B.P. 2009. Nanotechnology and agroecosystem. *Madras Agriculture Journal*. 96:6. 17-3.
- CONABIO. 2009. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. Biodiversidad Mexicana/ (en línea). Consultado 14 Febrero, 2016. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/brassicaceae/raphanus-sativus/fichas/ficha.htm>.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Sandoval-Villa, M., Bugarín-Montoya, R., Robles-Bermúdez, A. y Juárez-López, P. 2013. Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias*. 2:2. 17-26.
- Fages, S.E. 2012. Investigación de fibras de polipropileno aditivas con nanopartículas de plata para la mejora de propiedades bioactivas en el sector textil. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 399 pp.
- Farokhzad, O.C. y Langer, R. 2009. Impact of nanotechnology on drug delivery. *ACS Nano* 3: 16–20.
- Ferrer, T, E. 2012. Investigación en nanotecnología con aplicaciones en microbiología, biotecnología y ciencias. Febrero 23, 2016, de Universidad Interamericana de Puerto Rico - Recinto de Ponce Sitio web: <http://cremc.ponce.inter.edu/360/revista360/tecnologia/Investigacion%20su%20bgraduada%20en%20nano%20tecnologia%20por%20Ferrer.pdf>.
- Giaconi, V. y Escaff, M. 1998. Clasificación de las hortalizas. En cultivo de hortalizas. Santiago Chile: Universitaria. Pp. 251-253.
- Ghormade, V., Deshpande, M.V., Paknikar, K.M. 2011. Perspectives for Nanobiotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnology Advances*. 29: 792–803.
- Gutiérrez C. E. 2005. Las nanopartículas. Pequeñas estructuras con gran potencial, ¿Por qué hay interés en estos materiales? ¿Qué aplicación tienen? Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. *Contacto nuclear* 1: 24-29.
- Gül, A., Eroglu, D. y Ongun, A.R. 2005. Comparison of the use of zeolite and perlite as substrate for crisp-head lettuce. *Scientia Horticulturae*, 106: 4. 464-471.
- Haro, M.F. 2011. Zeolita natural: triple impacto para el sector agropecuario ecuatoriano. *Ecuatorial*. (En línea). Consulta 09 Febrero, 2016. Disponible en: <https://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/zeolita-en-la-agricultura-t>

- Hoagland, D.R., y Arnon, D.I. 1950: The wáter culture method for growing plant without soil. Berkeley, California agricultural experiment station. Circular 392: 34.
- INAFED. 2010. Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (En línea). Consulta 10 Febrero, 2016. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM05coahuila/index.html>
- Jakkula, V.S. 2005. Synthesis of zeolites and their application as soil amendments to increase crop yield and potentially act as controlled release fertilizers. Thesis. University of Wolverhampton, U.K. p.273.
- Jáuregui, S.E., Sánchez, O.R., y Perales, P. O.J. 2011. Efecto de la temperatura de recocido en la cristalinidad y tamaño de nanopartículas de ZnO sintetizadas por el método sol-gel. SCIÉNDO 14: 56-66.
- Jayasinghe, Y, G; Tokashiki, Y., Kinjo, K. y Arachchi, L. I. 2010. Evaluation of the use of synthetic red soil aggregates (sra) and zeolite as substrate for ornamental plant production. Journal of Plant Nutrition 33: 2120–2134.
- Khodaei, J.A; Ghalavand, A., Aghaalikhani, M., Gholamhoseini, M. y Dolatabadian, A. 2012. How organic and chemical nitrogen fertilizers, zeolite, and combinations influence wheat yield and grain mineral content. Journal of Crop Improvement. 26: 116–129.
- Khodakovskaya, M., Dervishi, E., Mahmood, M., XuY., Watanabe, F. y Biris, A.S. 2009. Carbon nanotubes are able to penetrate seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. ACS Nano. 3: 3221- 3227.
- Krystle, A.R., Osumanu, H.A., y Susilawati, K. 2013. Use of formulated nitrogen, phosphorus, and potassium compound fertilizer using clinoptilolite zeolite in maize (*Zea mays* L.) cultivation. Emir. J. Food Agric. , 25: 9. 713-722.
- Landis, T.D. 1990. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. USDA. EUA. 2: 46-92.
- Maya, M.A. 2014. Operaciones culturales, riego y fertilización. Antequera, Málaga: IC Editorial.
- Méndez A.B., Lira, R. H., Ruiz, T.N.A., Ponce, Z.R., Vera, R.I., Mendoza, M.E., García, C.L.A. y De los Santos, V.G. 2015. Influencia de nanopartículas de óxido de zinc puras y dopadas con plata en el crecimiento y producción de biomasa en plántulas de chile. XVI Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. Guadalajara, Jalisco del 21 al 16 de junio, 2015.

- Monreal, C. M., DeRosa, M., Mallubhotla, S. C., Bindraban, P. S., y Dimkpa, C. 2015. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients. *Biology and Fertility of Soils*. 1: 1-15.
- Mosqueira, J., Maza, J, y Veira, J, A. 2009. Física del estado sólido. Santiago de Compostela España: Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico. p 51.
- Mukherjee, A., Peralta, V J., Bandyopadhyay, S., Rico, M.C., Zhao, L. y Torresdey, G.J. 2013. Physiological effects of nanoparticulate ZnO in green peas (*Pisum sativum* L.) cultivated in soil. *The Royal Society of Chemistry*. 6:132-138.
- Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y. y Kumar, D.S. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant science*, 179:3. 154-163.
- Noori, M., Zendehdel, M., y Ahmadi, A. 2006. Using natural zeolite for the improvement of soil salinity and crop yield. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 88:1. 77-84.
- Pandoy, A.C., Sanjay, S.S., y Yadav, R. S. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. Febrero 28, 2016, de *Journal of Experimental Nanoscience*. 5: 6. 488–497.
- Picón-Canahuí R.C. 2013. Evaluación de sustratos alternativos para la producción de pilones del cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. En los municipios de Esquipulas y Chiquimula (tesis). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Pinzón, H.R. e Isshiki, M. 2001. El cultivo del Rábano. El cultivo de algunas Hortalizas Promisorias en Colombia., Bogotá Colombia: Produmedios.
- Polat, E., Karaca, M., Demir, H. y Onus, N.A. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 12: 183-189.
- Poole, C, P. y Owens, J, F. 2003. Introduction to physics of the solid state. En *Introduction to Nanotechnology* Hoboken, New Jersey: Wiley- Interscience. 391 pp.
- Quispe, C.C. 2010. Nanotecnología en la agricultura. *Revista de Información, Tecnología y Sociedad*. 5: 72-73.
- Raliya, R. y Tarafda, C.J. 2013. ZnO Nanoparticle Biosynthesis and Its Effect on Phosphorous-Mobilizing Enzyme Secretion and Gum Contents in Clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Agric Res*, 2:1. 51- 56.

- Ramesh, K., Reddy, D.D., Biswas, K.A., y Rao, S.A. 2011, Zeolites and their potential uses In Agriculture, of Journal Advances in Agronomy. 113: 219- 241.
- Rehakova, M., Cuvanová, S., Dzivak, M., Rimár, J. y Gaval'Ova, Z. 2004. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. Current Opinion in Solid State and Materials Science, 8:6. 397-404.
- Rodríguez, G.C. y Vasilievna, K.O. 2008. Propiedades y aplicaciones del grafeno. Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, 11:38. 17-23.
- SAS Institute Inc., JMP 5 Administrator's Guide to annually licensed windows and macintosh versions. Version 5. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2002.
- Servin, A., Wade, E., Mukherjee, A., De la Torre, R., Hamdi, H., White, J., Bindranban, P. y Dimkpa, C. 2015. A review of the use of engineered nanomaterials to suppress plant disease and enhance crop yield. De J Nanopart Res. 17:92. 21-25.
- Shany, M. 2004. Producción de hortalizas en condiciones Tecnificadas. (En línea). Consultado 12 Febrero, 2016. (65p) Disponible en <https://books.google.com.mx/books?id=1vlwLakf5FoC&pg=PA36&dq=sustratos+agricolas+perlita#v=onepage&q=sustratos%20agricolas%20perlita&f=false>
- Shawyer, M., y Pizzali, A, M. 2005. El uso de hielo en pequeñas embarcaciones de pesca. Roma Italia: FAO. 69 p.
- Soria, L, M-F. 2015. Aplicaciones del grafeno en biotecnología. Monografía. Consultada Febrero 24, 2016. Disponible en línea. <http://repositorio.puce.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/22000/8729/maifemonaografiaa.pdf?sequence=1&isAllowed=y> 72p.
- Srilatha, B. 2012. Nanotechnology in agriculture. Journal of Nanomedicine & Nanotechnology. 2:7.
- Szerement, J., Ambrozewicz-Nita, A., Kedziora K. y Piasek, J. 2014. Use of zeolite in agriculture and environmental protection. De Institute of Agrophysics. 1: 172-177.
- Takeuchi, N. 2009. Nanociencia y nanotecnología (La construcción de un mundo mejor átomo por átomo). México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Tanarro, I. y Arcos, T. 2011. Plasma: el cuarto estado de la materia. Madrid, España: Los libros de la Catarata. pp. 75-76.

- Tsadilas, C.D y Argyropoulos, G. 2006. Effect of clinoptilolite addition to soil on wheat yield and nitrogen uptake. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 37: 2691–2699.
- Tsuzuki, T. 2009. Commercial scale production of inorganic nanoparticles. *International journal of nanotechnology*, 5:6. 567-578.
- Urbina, S. E., Baca, C.G., Núñez, E.R., Colinas, L.M., Tijerina, C.L., y Tirado, T.J. 2006. Cultivo hidropónico de plántulas de jitomate en zeolita cargada CON K⁺, Ca²⁺ O Mg²⁺ y diferente granulometría. *Agrociencia*. 40:4. 419- 429.
- Urrestarazu, G.M. 2015. Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía. Madrid España: Mundi-Prensa. 269pp.
- Zhao, Y., Li, X., Liu, X. y Hu, C. 2014. Evaluation of growth and biochemical indicators of *Salvinia natans* exposed to zinc oxide nanoparticles and zinc accumulation in plants. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 21: 732-739.

X. APENDICE

Cuadro 9. Análisis de varianza para la variable altura con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	3.603	5	0.720	1.883	0.134
Sustrato	2.324	1	2.324	6.074	0.02*
Nanopartículas	1.014	2	0.507	1.325	0.284
Sustrato*Nanopartículas	0.265	2	0.132	0.346	0.71
Error	9.183	24	0.382		
C. Total	12.786	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 10. Análisis de varianza para la variable número de hojas con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	2.366	5	0.473	0.631	0.677
Sustrato	0.300	1	0.300	0.400	0.533
Nanopartículas	1.266	2	0.633	0.844	0.442
Sustrato*Nanopartículas	0.800	2	0.400	0.533	0.593
Error	18.000	24	0.750		
C. Total	20.366	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 11. Análisis de varianza para la variable IR de clorofila con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	67.276	5	13.455	2.274	0.079
Sustrato	33.708	1	33.708	5.699	0.025*
Nanopartículas	31.496	2	15.748	2.662	0.090
Sustrato*Nanopartículas	2.072	2	1.036	0.175	0.840
Error	141.952	24	5.914		
C. Total	209.228	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 12. Análisis de varianza para la variable área foliar con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	65481.760	5	13096.4	3.599	0.014
Sustrato	54682.048	1	54682.0	15.028	0.0007**
Nanopartículas	6326.413	2	3163.21	0.869	0.432
Sustrato*Nanopartículas	4473.297	2	2236.65	3.599	0.014**
Error	87326.92	24	3638.6		
C. Total	152808.68	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 13. Análisis de varianza para la variable peso fresco de hojas con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	138.393	5	27.678	3.520	0.015
Sustrato	100.705	1	100.705	12.809	0.001**
Nanopartículas	36.488	2	18.244	2.320	0.119
Sustrato*Nanopartículas	1.199	2	0.599	3.520	0.015*
Error	188.688	24	7.862		
C. Total	327.081	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 14. Análisis de varianza para la variable peso seco de hojas con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	1.821	5	0.364	4.819	0.003
Sustrato	1.543	1	1.543	20.419	0.0001**
Nanopartículas	0.197	2	0.098	1.304	0.289
Sustrato*Nanopartículas	0.080	2	0.040	4.819	0.003**
Error	1.814	24	0.075		
C. Total	3.635	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 15. Análisis de varianza para la variable peso fresco del bulbo con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	1361.486	5	272.297	10.631	0.0001
Sustrato	1318.972	1	1318.97	51.495	0.0001**
Nanopartículas	41.151	2	20.575	0.803	0.459
Sustrato*Nanopartículas	1.363	2	0.681	10.631	0.0001**
Error	614.716	24	25.613		
C. Total	19776.202	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 16. Análisis de varianza para la variable peso seco del bulbo con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	1.646	5	0.329	3.560	0.015
Sustrato	1.487	1	1.487	16.087	0.0005**
Nanopartículas	0.157	2	0.078	0.849	0.440
Sustrato*Nanopartículas	0.001	2	0.00008	3.560	0.015*
Error	2.218	24	0.092		
C. Total	3.865	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 17. Análisis de varianza para la variable diámetro longitudinal con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	839.531	5	167.906	4.400	0.005
Sustrato	779.076	1	779.076	20.418	0.0001**
Nanopartículas	6.522	2	3.261	0.085	0.918
Sustrato*Nanopartículas	53.932	2	26.966	4.400	0.005**
Error	915.718	24	38.155		
C. Total	1755.249	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 18. Análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial con tratamiento de grafeno en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	212.924	5	42.584	3.562	0.015
Sustrato	124.807	1	124.807	10.441	0.003**
Nanopartículas	87.777	2	43.888	3.671	0.040
Sustrato*Nanopartículas	0.339	2	0.169	3.562	0.015*
Error	286.874	24	11.953		
C. Total	499.798	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 19. Análisis de varianza para la variable altura con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	2.209	5	0.441	1.065	0.404
Sustrato	0.540	1	0.540	1.301	0.265
Nanopartículas	1.655	2	0.827	1.994	0.158
sustrato*Nanopartículas	0.014	2	0.007	0.016	0.983
Error	9.960	24	0.415		
C. Total	12.170	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 20. Análisis de varianza para la variable número de hojas con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	3.841	5	0.768	0.726	0.610
Sustrato	0.675	1	0.675	0.637	0.432
Nanopartículas	0.316	2	0.158	0.149	0.861
Sustrato*Nanopartículas	2.850	2	1.425	1.346	0.279
Error	25.400	24	1.058		
C. Total	29.241	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 21. Análisis de varianza para la variable IR de clorofila con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	9.267	5	1.853	0.970	0.455
Sustrato	6.969	1	6.969	3.648	0.068
Nanopartículas	1.030	2	0.515	0.269	0.766
Sustrato*Nanopartículas	1.267	2	0.633	0.331	0.720
Error	45.849	24	1.91		
C. Total	55.116	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 22. Análisis de varianza para la variable área foliar con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	124319.410	5	24863.90	2.466	0.061
Sustrato	50382.287	1	50382.29	4.998	0.034*
Nanopartículas	42900.647	2	21450.30	2.127	0.141
Sustrato*Nanopartículas	31036.472	2	15518.20	1.539	0.234
Error	241928.04	24	10080.30		
C. Total	366247.45	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 23. Análisis de varianza para la variable peso fresco de hojas con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	218.891	5	43.778	1.431	0.248
Sustrato	52.695	1	52.695	1.723	0.201
Nanopartículas	82.882	2	41.441	1.355	0.276
Sustrato*Nanopartículas	83.313	2	41.656	1.362	0.275
Error	733.905	24	30.579		
C. Total	952.796	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 24. Análisis de varianza para la variable peso seco de hojas con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	1.557	5	0.311	1.995	0.115
Sustrato	0.831	1	0.831	5.327	0.029*
Nanopartículas	0.321	2	0.160	1.029	0.372
Sustrato*Nanopartículas	0.404	2	0.202	1.295	0.292
Error	3.746	24	0.156		
C. Total	5.304	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 25. Análisis de varianza para la variable peso fresco del bulbo con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	664.859	5	132.972	3.094	0.027
Sustrato	410.182	1	410.182	9.544	0.005**
Nanopartículas	119.305	2	59.652	1.388	0.268
Sustrato*Nanopartículas	135.372	2	67.686	3.094	0.027*
Error	1031.416	24	42.976		
C. Total	1696.276	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 26. Análisis de varianza para la variable peso seco del bulbo con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	1.957	5	0.391	3.187	0.024
Sustrato	1.111	1	1.111	9.05	0.006**
Nanopartículas	0.519	2	0.259	2.114	0.142
Sustrato*Nanopartículas	0.326	2	0.163	3.187	0.024*
Error	2.947	24	0.122		
C. Total	4.905	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 27. Análisis de varianza para la variable diámetro longitudinal con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	95.457	5	19.0991	0.554	0.733
Sustrato	54.567	1	54.567	1.585	0.220
Nanopartículas	9.741	2	4.870	0.141	0.868
Sustrato*Nanopartículas	31.149	2	15.574	0.452	0.641
Error	826.247	24	34.427		
C. Total	921.70	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 28. Análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial con tratamiento de óxido de zinc más plata en plantas de rábano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	220.054	5	44.010	2.905	0.034
Sustrato	141.050	1	141.050	9.312	0.005**
Nanopartículas	44.843	2	22.421	1.480	0.247
Sustrato*Nanopartículas	34.160	2	17.080	2.905	0.034*
Error	363.514	24	15.146		
C. Total	583.568	29			

F.V.= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, GL= Grados de libertad, CM= Cuadrado medio del error. **Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), *Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).