

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO CIENCIAS DEL SUELO



Sustratos funcionalizados con zeolita más nanopartículas metálicas y su efecto promotor de crecimiento en plantas de chile y tomate

Por:

MARIA DEL CARMEN GÓMEZ GARCÍA

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Marzo 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO CIENCIAS DEL SUELO



Sustratos funcionalizados con zeolita más nanopartículas metálicas y su efecto promotor de crecimiento en plantas de chile y tomate

Por:

MARIA DEL CARMEN GÓMEZ GARCÍA

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobada por:

M.C. Víctor Samuel Peña Olvera
Asesor Principal

Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar
Coasesor

Dr. Bulmaro Méndez Argüello
Coasesor

Dr. Luis Sañanigo Moreno
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México. Marzo 2015



DEDICATORIAS

A mis padres: Gudelia García y Francisco Gómez

A quienes debo la vida, su interminable apoyo en todo momento de mi vida, por sus enseñanzas, consejos, valores, por su eterna paciencia, por ser mi guía, mis primeros maestros ante la vida y el por el grande apoyo en toda la formación profesional de mi carrera.

¡Los amo!

A mi Hijo: Carlos Andres Gómez

Mi amado hijo que es por la persona que me da la mayor motivación profesional para poder darle educación, valores, apoyo en todo lo que necesite y sobre todo para poder darle un buen crecimiento profesional en todo el trayecto de su vida, Gracias por la fuerza que me das de seguir adelante, Te amo Carlitos.....

A mi abuela Juliana Naranjo

Por ser una grandísima persona, que me regalo incondicionalmente su amor y cariño, su motivación que siempre me brindo en todo momento.

A mis hermanos

*Que siempre he contado con ellos, por el amor y cariño y su apoyo moral que me han brindado en los momentos necesarios, por estar conmigo en momentos difíciles, ¡Gracias!
Por el cuidado especial y todo el amor que le han regalado a Carlos Andres.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios Que siempre estuvo conmigo durante todo el trayecto de mi carrera, por cuidarme y bendecirme en cada paso de mi vida, y por todo lo que Él provee para mí.

*En primer lugar quiero expresar mis más especiales y sinceros agradecimientos **Al Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar** por su apoyo incondicional brindado, en todo el trayecto del proyecto de la investigación, por la motivación de todo el conocimiento novedoso aprendido, de las zeolitas y las nanopartículas. Bien, ya que sin su valioso apoyo no hubiese sido posible este interesante trabajo.*

***Al Dr. Bulmaro Mendez** por su confianza depositada en mí, por la paciencia y comprensión en cada momento del desarrollo de la investigación en este ámbito, por los conocimientos transmitidos en este tiempo.*

***Al M.C V. Samuel Peña Olvera** por el apoyo que me brindo y dar persistencia a una buena presentación como profesionista.*

***A mi familia** que siempre estuvo ahí con su apoyo constante sin recibir nada a cambio, por su sacrificio y esfuerzo constante; espero que comprendan que el logro mío es suyo, mi esfuerzo es motivación e inspiración de ustedes. Gracias por ayudarme a realizar uno de mis logros en la vida, el cual no será el último pero si uno de los primeros más importantes. En especial al M.C José Eleazar Gómez P. por el apoyo moral, económico en cuanto a su alcance y por sus conocimiento consejos. Y su compañía un tiempo en mi carrera.*

***A mis amigos** por su motivación y su compañía en el trayecto de la carrera especialmente en apoyos de salud, y bienestar durante el embarazo de Carlos Andrés por procurarme y dedicar su tiempo a este cuidado especial sin recibir nada a cambio. En especial a Rosa Antonio, Onofre Pastrana, Reyna Amada Díaz López.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	VI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. IMPORTANCIA DE LA ZEOLITA EN LA AGRICULTURA	1
1.2 LA NANOTECNOLOGÍA EN EL SIGLO XXI.....	5
II. OBJETIVO GENERAL.....	8
2.1 Objetivos específicos.....	8
III. HIPÓTESIS.....	8
IV. REVISION DE LITERATURA	9
4.1 La pérdida de fertilizantes por volatilización.....	9
4.2 Reducción de la volatilización del amoniaco con la aplicación de zeolita	10
4.3 ¿Que son las zeolitas?.....	10
4.3.1 Origen de las zeolitas	11
4.3.2 Características generales de la zeolita	11
4.3.3. Propiedades físicas y químicas de la Zeolita	12
4.3.4 Cómo actúan las zeolitas y sus usos.....	14
4.3.5. Usos de la Zeolita en la agricultura.....	15
4.3.6. Zeolita como biofertilizantes	15
4.4 Uso de sustratos en la agricultura moderna.....	17
4.4.1 Zeolita y perlita como sustratos en cultivos protegidos.....	19
4.4.2. Algunas características del sustrato zeolítico	19
4.4.3. Algunas características de la perlita	20
4.5 NANOTECNOLOGÍA	21
4.5.1. Dimensiones de la nanotecnología.....	21
4.5.2. Tipos de nanopartículas.....	22
4.5.3 Aplicación de las nanopartículas en la agricultura	26
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
5.1 Localización del sitio experimental.....	29
5.2 Características climáticas del lugar	29

5.3	Síntesis de las nanopartículas (NPs)	30
5.4	Preparación de la solución con NPs.....	31
5.5	Manejo del cultivo	31
5.6	Aplicación de NPs a las plantas	31
5.7	Determinación del crecimiento y biomasa de las plantas.....	31
5.8	Análisis estadístico de datos	32
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
VII.	CONCLUSIÓN.....	40
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Muestra las variables medidas con las dosis de Nanopartículas evaluadas en este tratamiento.....	33
Cuadro 2.	Muestra las variables medidas con las dosis de Nanopartículas evaluadas en este tratamiento.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diversidad del extenso campo industrial que tiene el uso actual de las nanopartículas.....	7
Figura 2.	Unidades de construcción de zeolita. Dos tetraedros $\text{SiO}_4/\text{AlO}_4$ unidos para compartir el oxígeno de una esquina.....	13
Figura 3.	Estructuras que se componen de 24 tetraedros en forma de jaula. Estas estructuras de zeolitas construidas a partir de unidades de sodalitas: a) sodalita (SOD), b) zeolita A (LTA), c) faujasita (zeolita X y zeolita Y) (FAU) y d) zeolita Rho. SU corresponde a unidad sodalita y LC a gran cavidad.....	14
Figura 4.	Las nanopartículas de oro están siendo usadas para detectar virus causantes de gripas (Flu) y graves enfermedades como el HIV o Sida	24
Figura 5.	Nanopartículas de óxido de aluminio (Al_2O_3) con un tamaño promedio en el rango de 20 a 60 nm.....	25
Figura 6.	Representación esquemática mostrando como una fibra de tela conteniendo nanopartículas de plata ejerce su acción antibacterial (A) Bacteria	

aproximando la fibra. (B) Bacteria entrando en contacto con las nanopartículas de plata. (C) Bacteria siendo dañada o eliminada.....26

Figura 7. Las plantas de manera natural hacen una absorción y traslocación selectiva de NPs minerales del suelo que luego son enviadas a los puntos de demanda acorde al crecimiento vegetativo.....28

Figura 8. Plantas de tomate Cv. Floradade representativas de los 4 diferentes tratamientos aplicados, conteniendo las dosis de 100 % Pm + 0 % Per+ 0 Zeo; 70 % Pm + 20 % Per + 10 % Zeo; y 70 % Pm+ 0% Per + 30 % Zeo.....35

Figura 9. Raíces de las plantas de tomate Cv. Floradade representativas de los 4 diferentes tratamientos aplicados, conteniendo las dosis de 100 % Pm + 0 % Per+ 0 Zeo; 70 % Pm + 20 % Per + 10 % Zeo; y 70 % Pm+ 0% Per + 30 % Zeo.....36

Figura 10. Tratamientos testigo y con aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc solo y dopado con plata al 1.25 y 2.5% utilizando 20% de zeolita.....37

Figura 11. Raíces desarrolladas con diferentes concentraciones de las NPs de ZnO, ZnO+Ag 1.25% y ZnO+Ag 2.5%.....38

RESUMEN

Esta investigación fue desarrollada en los invernaderos del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) en Saltillo, Coahuila, México, durante el ciclo de Otoño-invierno. En tomate Cv. Floradade se establecieron cuatro tratamientos en proporciones de v/v de peat moss 100%, peat moss 70% + per 30%+ zeo 0%, peat moss 70% + per 20+ zeo 10%, peat moss 70 + per 0%+ zeo 30%, con el objetivo de determinar el efecto de la zeolita del tipo clinoptilolita en el crecimiento y acumulación de biomasa seca en plantas. En pimiento dulce Cv. Californiana Wonder se evaluó el efecto de NPs de ZnO, ZnO+Ag 1.25% y ZnO+Ag 2.5% aplicados vía foliar, en plántula sembradas en peat-moss y perlita combinada con 20 % de zeolita. Las aplicaciones de NPs se realizaron una vez por semana, durante tres semanas usando 1 ml de las diferentes soluciones.

La siembra de la semilla de tomate y de chile se realizó el 1 de octubre, con fecha de terminación de todo el experimento el 17 de diciembre del 2014, evaluando las plantas por un método destructivo. Las mediciones de las variables se realizaron una vez por semana, así como el método destructivo para ver el incremento de la materia seca. Los experimentos se establecieron en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. Se realizó un análisis de varianza y prueba de rango múltiple Tukey ($P < 0.05$) con el software estadístico JMP-SAS versión 5.0 (SAS Institute, 2002).

En el primer experimento evaluación de zeolitas con otros sustratos, el mejor tratamiento lo representa el cuatro con relación más alta del sustrato zeolítico al (30%) y en el segundo experimento; evaluación de nanopartículas el mejor es el de NPs al 2.5% ZnO+Ag con 20% de zeolita para los cultivos de tomate y chile por lo que las variables muestran mayor desarrollo de crecimiento de altura, longitud de raíz, número de hojas, área foliar, biomasa seca área, biomasa seca de raíz y biomasa seca de hojas. Por lo tanto en este trabajo se obtuvieron resultados muy favorables y eficientes con el uso de la zeolita tipo clinoptilolita y con la aplicación de la las NPs, así mismo, al menos uno de los tratamientos fue eficientemente en el desarrollo del crecimiento de las plantas de

los cultivos del chile y tomate bajo condiciones de invernadero, cumpliendo lo establecido en los objetivos.

Palabras clave: Tomate, chile, Zeolita, Nanopartículas (NPs) y Crecimiento.

Correo Electrónico: Maria Del Carmen Gomez Garcia
karamelo_gomez@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

1.1. IMPORTANCIA DE LA ZEOLITA EN LA AGRICULTURA

Los fertilizantes químicos se utilizan ampliamente entre los agricultores para aumentar los productos agrícolas; que son de vital importancia para los países orientados a la agricultura, como Tailandia, donde fueron clasificados entre las principales importaciones del país entre 2010 y 2012. (USDA, 2012) Sin embargo, los fertilizantes químicos presentan una gran desventaja ya que no se disuelven adecuadamente, lo que representan pérdidas para el productor y contaminación del ambiente. Por lo general los nutrientes liberados por los fertilizantes pueden descomponerse mucho antes que las plantas los puedan absorber (Aumtong, 2009).

Uno de los grandes retos que enfrenta el sector agro-productivo del país hoy en día, es la reducción del impacto ambiental negativo generado por el uso intensivo de los fertilizantes nitrogenados; además los productores se enfrentan a pérdidas de más del 50% de este tipo de fertilizante aplicado en el campo (González *et al*, 2007); ya sea por su efecto en volatilización, escorrentía o lixiviación del producto.

Lo anterior causa un impacto en el suelo, este suelo como componente importante de los cultivos se va degradado por los agroquímicos, por las malas prácticas realizadas por los agricultores, muchos de los cuales no se preocupan por la conservación del suelo y en el mantenimiento de los cultivos. Por lo que no hay ninguna práctica de conservación. Esta situación tiene graves repercusiones ya que la estructura del suelo se ve afectada llegando a niveles críticos de degradación, traduciéndose en pérdidas económicas para los productores, por lo cual se hace necesario realizar investigaciones para obtener información que permita la recuperación de los suelos. La degradación que presentan los suelos agrícolas es un proceso, inevitable y difícil de restaurar, se da de manera natural o

inducida por la actividad humana, y constituye en la reducción o destrucción de las características biológicas de los recursos naturales, causada por un uso inadecuado de los mismos. Entre los factores antropogénicos que favorecen la degradación de la tierra está la sobre explotación de los recursos, la expansión demográfica, la expansión de las actividades agrícolas y ganaderas, además del uso indiscriminado de los fertilizantes (Gorki *et al*, 2009).

Los fertilizantes para plantas se clasifican en dos tipos principales, orgánicos e inorgánicos. Generalmente fertilizante orgánico es útil como un fertilizante rápido para las plantas, pero por lo general no es adecuado como de liberación lenta a largo tiempo. Un gran número de fertilizantes inorgánicos se han utilizado como un fertilizante de liberación lenta para las plantas, pero la liberación de iones de nutrientes puede ser difícil (Watanabe *et al.*, 2013).

Para reducir este impacto negativo a los suelos por el uso excesivo de fertilizantes se deben de utilizar nuevas técnicas que sean amigables con el ambiente. Es por eso que se propone la fertilización ecológica para resolver los problemas causados por la fertilización actual en sistemas de agricultura intensiva. Una colección de trabajos, seleccionados de una conferencia de zeolita natural en 1982, fue publicado en 1984 bajo el título "Zeo-Agricultura: El uso de zeolitas naturales en la agricultura y la acuicultura" editado por G. W. Pond y F. A. Mumpton. Esta publicación, por primera vez, centró la atención en el potencial agrícola que tienen las rocas volcánicas y demostró la aplicación de estos materiales en un amplio ámbito de las ciencias de plantas y animales. Este trabajo mediante la asociación de investigación mineralógica y biológica era un precursor de lo que ahora es dado en llamar "Geomicrobiología" y como tal tiende a conducir a nuevos descubrimientos que será de gran beneficio para la agronomía y para otras aplicaciones. La interacción de las zeolitas minerales con la actividad microbiana, como resultados; los materiales orgánicos de desechos, es una enmienda del suelo que presentan tanto al carbón como al nitrógeno disponible en los suelos dañados y degradados. Durante la descomposición del amoniaco, fase orgánica se libera y rápidamente es absorbida por el mineral de zeolita. Esta

reacción promueve la formación de una gran población de bacterias nitrificantes que oxidan los iones de amonio de la superficie de los cristales de zeolita para producir primero iones nitrito y finalmente de nitrato, que entran en el agua de los poros del suelo. Durante este proceso de absorción de iones, los de amonio se oxidan y son reemplazados por iones amonio adicionales hasta que se agota su fuente. Respecto a este, la presencia de la fase de la zeolita para amortiguar el sistema contra la pérdida de amoniaco por volatilización y lixiviación acuosa. Otras reacciones enzimáticas que intervienen en la nitrificación producen protones que reaccionaron con el suelo para liberar cationes y proporcionar nutrientes de las plantas en una forma que puede ser tomado de la solución del suelo. Los no metales como el fósforo y el azufre, así como elementos metálicos traza, que son esenciales para las plantas, están presentes en concentraciones suficientes sobre los residuos orgánicos en descomposición y reacciones con la materia inorgánica del suelo (Leggo, 2000; Leggo y Ledésert, 2001)

Las zeolitas ayudan a retener los nutrientes en la zona radicular para ser utilizado por las plantas cuando sea necesario. En consecuencia esto conduce a un uso más eficaz de los abonos mediante la reducción sus precios para los mismos rendimientos, prolongando su actividad o finalmente, mediante la producción de mayores rendimientos (Polat, 2004). Especialmente clinoptilolita tienen una selectividad para cationes, tales como amonio y potasio. Esto ha sido explotado en la preparación de fertilizantes químicos de lenta liberación. Por ejemplo, (INIFAP, 2004), mostró que la clinoptilolita enriquecida con potasio en plantas de crisantemos actuó muy similar a un fertilizante de lenta liberación.

La urea es uno de los fertilizantes nitrogenados más utilizados. Es muy soluble en agua y puede ser lixiviado a través de la zona de la raíz. Además, la urea se convierte en iones de amonio por una enzima que se encuentra en la mayoría de los suelos. Por medio de las bacterias del suelo a continuación, se convierten estos iones de amonio en iones nitrato fácilmente lixiviables. El uso de zeolita en fertilizante puede prevenir estas pérdidas de nutrientes.

La velocidad de liberación de nitrógeno de zeolitas comúnmente se hace en tres maneras: (1) porque contiene urea en los poros de la roca y estructuras de zeolita, evitando así la lixiviación de la urea de la zona de la raíz; (2) al disminuir la conversión de urea por las enzimas microbianas del suelo, retrasando así la formación de iones de amonio; y (3) mediante la adopción de iones de amonio en los sitios de intercambio de la zeolita y que los protege de las bacterias nitrificantes (Hasbullah *et al.*, 2014).

Se ha prestado considerable atención a las llamadas mezclas zeopónicas de NH_4^+ o K^+ intercambiado por zeolitas naturales y minerales de fosfato, por ejemplo, apatita (Mumpton, 1999). Esta es un fosfato de calcio, y mezclándolo con una zeolita que tiene iones intercambiables como fosfato de amonio, (H_2PO_4) puede ser liberado a las plantas. La reacción aproximada en la solución del suelo es la siguiente: $(\text{P-roca}) + (\text{NH}_4\text{-zeolita}) \rightarrow (\text{Ca-zeolita}) + (\text{NH}_4^+ \text{NH}_4 +) (\text{H}_2\text{PO}_4)$. La zeolita ocupa Ca_2^+ de la roca de fosfato, liberando de este modo tanto los iones de fosfato y de amonio. La capacidad de las zeolitas para retener la humedad también es muy importante en el cultivo de plantas. Ellos pueden contener agua hasta un 60% de su peso debido a la alta porosidad de la estructura cristalina.

Los efectos de la zeolita en el crecimiento de las plantas, debido a su alto intercambio iónico y la capacidad de retención, las zeolitas sedimentarias naturales (en particular clinoptilolitas), como también, su gran afinidad de adsorción de agua han contribuido a sus aplicaciones exitosas de crecimiento de las plantas. Las técnicas agrícolas de hoy utilizan enormes cantidades de fertilizantes y otros compuestos químicos. Estos son lavados intensamente por la lluvia y el agua de riego, y de este modo contaminan el medio ambiente (GSL, 2004).

Las zeolitas aseguran un depósito de agua permanente, proporcionando humedad prolongada durante los períodos secos. También promueven un rápido re-humedecimiento y mejora la difusión lateral de agua en la zona de las raíces durante el riego. Esto reduce la cantidad de agua necesaria para el riego. La estructura porosa de las zeolitas naturales también ayuda a mantener el suelo

bien aireado. A diferencia de otros mejoradores del suelo (por ejemplo, cal), las zeolitas eventualmente no se descomponen, pero pueden permanecer en el suelo para mejorar la retención de nutrientes. Esto puede reducir significativamente los costos de agua y fertilizantes en el tiempo. (Polat *et al.*, 2004)

1.2 LA NANOTECNOLOGÍA EN EL SIGLO XXI

La nanotecnología (NT) representa una de las más novedosas innovaciones científicas, y en muchos sentidos, de mayor alcance en lo referente a la alta tecnología para la agricultura y los alimentos frescos. Se estima que en la actualidad en todo el mundo hay más de 300 nanoproductos alimenticios disponibles en el mercado y se prevé que para el 2015 la NT se utilizará en el 40% de las industrias alimentarias. De hecho, se ha acuñado el término “nanobiotecnología”, que combina numerosas disciplinas científicas tan variadas como la biotecnología, la nanotecnología, el procesamiento químico, la ciencia de los materiales y la ingeniería de sistemas (Maine *et al.*, 2013; Marambio y Hiek, 2010). Aunque la NT se encuentra aún en su infancia, ya se considera que constituirá una auténtica revolución industrial en el siglo XXI, de forma similar a lo sucedido con la biotecnología y la electrónica en el siglo XX.

En términos sencillos, nano es un prefijo que significa “enano” y al usarlo en términos y conceptos denota una amplia gama de fenómenos y objetivos cuyas dimensiones son de una millonésima parte de un milímetro. NT hace referencia a la integración de diferentes disciplinas científicas capaces de crear y desarrollar nuevos materiales, estructuras funcionales y aparatos a escala manométrica. Las nanopartículas (NPs) son de gran relevancia en la investigación científica, debido a que tienen una amplia variedad de aplicaciones potenciales en los campos biomédico, biológico, óptico y electrónico, entre otros.

Acorde con reciente información de la FAO, el advenimiento de la NT ha desatado enormes perspectivas para el desarrollo de nuevos productos y aplicaciones para una amplia gama de sectores industriales y de consumo. Los

nuevos desarrollos tecnológicos han abierto ya una industria de billones de dólares durante los últimos años, cuyo impacto sobre el mercado global se espera que llegue a \$1 billón de dólares para el año 2015 y con alrededor de 2 millones de trabajadores involucrados en esta nueva área tecnológica. Mientras la mayoría de la manufactura y uso de los materiales a nanoescala sucede en los Estados Unidos. La Unión Europea con cerca de 30 % global del sector, no está muy rezagada en este campo. Al igual que en otros sectores, la NT promete revolucionar toda la cadena alimentaria, desde la producción hasta el procesamiento, almacenamiento y desarrollo de materiales innovadores, productos y aplicaciones en la medicina (Heath y Davis, 2008).

La literatura reporta que hay cuatro principales clases en las que se clasifican los nanomateriales o NPs: 1. Materiales en base a carbón: con formas esféricas, elipsoidales o tubulares. Sus propiedades fundamentales son su reducido peso y su mayor dureza, elasticidad y conductividad eléctrica. 2. Materiales de base metálica: pueden ser *quantum dots* (puntos cuánticos o transistores de un solo electrón) o nanopartículas de oro, plata o de metales reactivos como el dióxido de titanio, entre otras. 3. Dendrímeros: polímeros nanométricos construidos a modo de árbol en el que las ramas crecen a partir de otras y así sucesivamente; las terminaciones de cada cadena de ramas pueden diseñarse para ejecutar funciones químicas específicas (una propiedad útil para los procesos catalíticos). 4. Composites: combinan ciertas nanopartículas con otras o con materiales de mayor dimensión; el caso de arcillas nanoestructuradas es un ejemplo de uso extendido.

A pesar de que las posibles aplicaciones de la NT son muy vastas, los usos actuales en el sector alimentario y agrícola son relativamente pocas, debido a que la nanociencia se encuentra en un estado emergente. Una visión general de más de 800 productos de consumo basados en NT que están actualmente disponibles a nivel mundial, sugiere que sólo alrededor del 10 % de ellos son alimentos, bebidas y productos para el envasado de alimentos. Sin embargo, los productos y aplicaciones derivados de la NT en estos sectores han ido en constante aumento

podría resolver problemas en los países más pobres del mundo como enfermedades, hambre, falta de agua potable. Si se desarrolla de forma no responsable, la NT podría ser algo muy peligroso, permitiendo la fabricación de armas muy pequeñas con una fuerza de destrucción inimaginable. Algunos expertos creen que su impacto sobre nuestra vida será tan importante como en su día fue el impacto de la medicina o el impacto de las computadoras.

II. OBJETIVO GENERAL

Estudiar el efecto de sustratos zeolíticos sobre el crecimiento en las plantas de tomate y nanopartículas de óxido de zinc y plata en el crecimiento de chile bajo condiciones de invernadero.

2.1 Objetivos específicos

- Examinar el efecto de las nanopartículas de ZnO puras y dopadas con plata en el crecimiento y producción de biomasa seca en las plantas en el cultivo de Chile.
- Evaluar el efecto de la adición de zeolitas a las dosis de: 0, 10, 20 y 30 % (v/v) adicionado a un sustrato peat moss, perlita en el crecimiento de las plantas del cultivo de tomate.

III. HIPÓTESIS

- La zeolita adicionada a un sustrato peat moss: perlita y/o las nanopartículas de ZnO puras y dopadas con plata aplicadas al follaje, promueven el crecimiento en las plantas

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1 La pérdida de fertilizantes por volatilización

El uso de fertilizantes nitrogenados en todo el mundo es de unos 80 millones de toneladas por año (Freibauer *et al.*, 2001). Sin embargo, los fertilizantes nitrogenados como nitrato de amonio y urea se caracterizan por alta pérdida de N a través de la volatilización de amoníaco (Prasertsak *et al.*, 2001; Cai *et al.*, 2002). La volatilización de amoníaco es un problema importante en la agricultura, ya que reduce su eficiencia de utilización y se filtra hacia los acuíferos, provocando daños como la eutrofización entre otros. Es una pérdida directa de N disponible para absorción por la planta (Asman *et al.*, 1994).

La pérdida por volatilización del amoníaco en fertilizantes como la urea se produce en suelos ácidos, alcalinos y aquellos saturados de agua, debido a que durante la hidrólisis, la urea se convierte en amoníaco, el cual posteriormente reacciona con un protón para producir iones de amonio. Como resultado, la pérdida de amoníaco es más grave si la urea se aplica sobre la superficie y no incorporada en los suelos. Por lo tanto, esta pérdida reduce su eficacia (Howard y Tyler, 1989). Esto es porque después de su aplicación superficial, la hidrólisis de la urea ocurre rápidamente dentro de un día o dos, debido al efecto de una enzima llamada ureasa para producir iones amonio (NH_4^+), hidroxilo (OH^-) y carbonato (CO_3)⁻². Este proceso aumenta considerablemente los iones pH del suelo y de amonio. Bajo esta condición alcalina, el equilibrio de ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4 + \text{OH}^-$) esto ocasiona un desplazamiento de más NH_3 aumentando pérdidas por volatilización, lo que a su vez causa la baja eficiencia en el uso de fertilizantes (Fan y Mackenzie, 1993).

4.2 Reducción de la volatilización del amoníaco con la aplicación de zeolita

La creciente demanda de fertilizantes amigables con el medio ambiente es alentadora, ya que pueden preservar la calidad de los ecosistemas. Minerales naturales a base de materiales como la ceniza y roca fosfórica pueden ser utilizados en la agricultura y horticultura para reducir el uso excesivo de fertilizantes. La zeolita como la clinoptilolita, puede ser considerada en la producción agrícola por los múltiples beneficios que reportan. Según (Polat *et al* 2004), las zeolitas pueden utilizarse para minimizar la pérdida de amoníaco porque pueden absorber nutrientes importantes como el amonio (NH_4) (Ahmed *et al.*, 2010) y potasio (K). Estos nutrientes absorbidos son oportunos para la absorción óptima de la planta, la clinoptilolita puede utilizarse para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes. La zeolita puede contener nutrientes de lenta liberación en el suelo como N, P y K (Abdi *et al.*, 2006). Normalmente, los fertilizantes usados más comúnmente entre los agricultores son fertilizantes como urea, superfosfato triple (SFT) y muriato de potasa (MOP).

Un trabajo reportado por (Lija *et al.* 2014) respecto de la modificación de fertilizantes N, P y K con mayor dosificación de zeolita clinoptilolita, señala que con su uso se vieron mejoradas las propiedades químicas del suelo y absorción de los nutrientes por un cultivo de maíz variedad Masmadu. Ellos concluyeron que los fertilizantes compuestos y modificados con clinoptilolita mejoraron la eficiencia de uso de K.

4.3 ¿Que son las zeolitas?

Son un grupo de aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos, de elementos alcalinos, metales alcalinotérreos u otros cationes. Han sido producidas naturalmente por la alteración de rocas volcánicas, fundamentalmente con alto contenido sódico. De las cuales hay 35 grupos que son naturales, de ellas se tienen dos tipos de minerales más comunes para uso agrícola (clinoptilolita y mordenita), las cuales tienen un buen intercambio catiónico que va de (25-30

meq/100 g). Se ha señalado que con su uso puede haber riesgos en cultivos de mayor duración por la liberación de Na. (Huacuja, 2009, Merrikhpour y Jalali, 2013). Las zeolitas por lo general están formadas de aluminio con Na, Ca y K y la cantidad de reserva de agua que les permite poseer su estructura porosa, por tal motivo tienden a hincharse, de ahí deriva su nombre en dos palabras griegas, cuyo significado son *hervir* y *pedra*. Son productos de alteraciones diagenéticas de tobas silíceas que fueron depositadas en lacustres del Cenozoico, en depósitos de aguas salinas y alcalinas. En cuanto a sus propiedades físicas presentan valores muy inferiores a los silicios y a los feldespatos (Cornelis *et al.*, 2003).

4.3.1 Origen de las zeolitas

Datos encontrados acerca del mineral de la zeolita, se remonta a 1756, cuando el mineralogista sueco, F. A. Cronstedt, recogió algunos cristales de una mina de cobre en Suecia. Él encontró que al calentar rápidamente el material de estilbita (grupo de zeolitas) produjo grandes cantidades de vapor de agua que es adsorbido por el material. De ahí se derivaron las palabras griegas que significan "piedras hirvientes", debido a la capacidad de producir espuma cuando se calienta a unos 200° C. Hallazgos de Cronstedt señalan que reaccionan con el agua subterránea alcalina. Las zeolitas naturales están excluidas de muchas aplicaciones comerciales importantes, especialmente cuando la uniformidad y la pureza son esenciales. La mayoría de la investigación inicial sobre el uso de zeolitas en la agricultura tuvo lugar en la década de los 1960 en Japón (Ramesh y Reddy, 2014).

4.3.2 Características generales de la zeolita

- I. Mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, por un efecto de disposición de sales y al aporte de micronutrientes naturales.
- II. Incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

- III. permite la adherencia de fertilizantes y humedad del suelo, lo que permite reducir los volúmenes de dichos materiales y el estrés del cultivo en la época seca.
- IV. Incrementa los niveles en el suelo de fósforo, calcio, potasio y magnesio entre otros, evitando problemas de fijación y optimizando las concentraciones de los fertilizantes inorgánicos aplicados al suelo, lo que permite un equilibrio de nutrientes de fertilizantes químicos con la aplicación de zeolita natural.
- V. Tiene la capacidad de amortiguar la acidez en el suelo.
- VI. Aumenta la resistencia de las plantas a plagas y enfermedades, al permitir una nutrición completa y equilibrada, que mantiene al cultivo en estado de fotosíntesis.
- VII. Su lenta liberación permite que el tiempo alargue al producto su efecto, poniendo a disposición de la planta los nutrientes necesarios, sin pérdidas por escorrentías de manera que sea aprovechado hasta un 96%.

Las características generales de la zeolita antes descritas han sido señaladas por (Haro, 2011).

4.3.3. Propiedades físicas y químicas de la Zeolita

Hay dos procesos principales que son identificados como cinética de intercambio de proceso de iones en zeolita, a saber, la difusión de las partículas y la difusión de la película. Las características que poseen al intercambiar los cationes y su capacidad de intercambio catiónico son de dos a tres veces mayor que otros tipos de minerales encontrados en los suelos. Las zeolitas son potencialmente adsorbentes debido a la capacidad de su estructura microporosa para adsorber moléculas a presión relativamente baja (Kamarudin *et al.*, 2003).

Las zeolitas son materiales naturales con la capacidad de intercambiar iones, absorben gases y vapores, actúan como tamices a escala molecular, y

catalizan reacciones debido a los tamaños de poros fijos y los sitios activos en su red cristalina. El tamaño de los canales de clinoptilolita y el tamaño de las moléculas o iones que pueden pasar a través de ellos, por tanto, una zeolita como la clinoptilolita puede actuar como un tamiz químico permitiendo que algunos iones pasen, mientras bloquean otros (Mumpton, 1999),.(Dixon y Ming 1987) describen las técnicas para la separación de la clinoptilolita del suelo, mediante la combinación de la baja gravedad específica y características de tamaño fino de partículas de clinoptilolita en los suelos.

Las rocas zeolíticas son minerales ricos en silicio, con una relación de sílice– aluminio ($\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$) que fluctúa entre 8.5 y 10.5 y poseen un diámetro de entrada en los poros de 4Å. Una de sus propiedades singulares es que tienen gran resistencia a altas temperaturas, medios corrosivos y a irradiación ionizante. Tienen, selectividad a cationes de suelos alcalinos y de algunos metales pesados, su capacidad absorbente y el efecto de cribado por acción molecular, tanto en la industria como en la agricultura. Este tipo de mineral clinoptilolita, como otras rocas zeolíticas, poseen una estructura similar a una jaula (Figura 3), consistiendo en tetraedros de SiO_4 y AlO_4 unidos por átomos de oxígeno compartidos (figura 2). Las cargas negativas de las unidades de AlO_4 se equilibran con la presencia de cationes intercambiables, notablemente calcio, magnesio, sodio, potasio y hierro (Pérez, 2014).

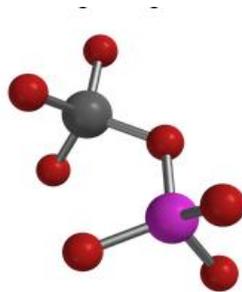


Figura 2. Unidades de construcción de zeolita. Dos tetraedros $\text{SiO}_4/\text{AlO}_4$ unidos para compartir el oxígeno de una esquina (Smart y Moore, 2005)

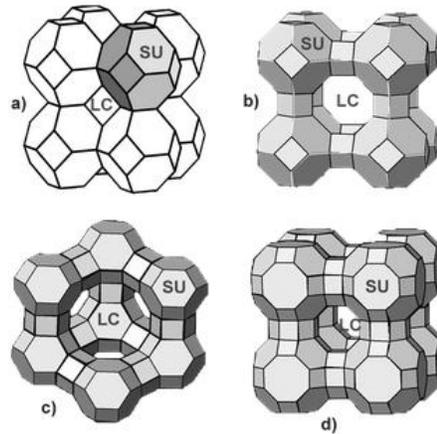


Figura 3. Estructuras que se componen de 24 tetraedros en forma de jaula. Estas estructuras de zeolitas construidas a partir de unidades de sodalitas: a) sodalita (SOD), b) zeolita A (LTA), c) faujasita (zeolita X y zeolita Y) (FAU) y d) zeolita Rho. SU corresponde a unidad sodalita y LC a gran cavidad. (Langmi y McGrady, 2007)

4.3.4 Cómo actúan las zeolitas y sus usos

Las zeolitas se muestran una estructura porosa como un panal de abejas, sus poros son muy pequeños, además poseen características eléctricas de átomos, tienen una alta CIC, siendo esto lo que les permite que los cationes o partículas de agua se adhieran y también pueden absorber los cationes y luego liberarlos. Se dice que son capaces de absorber hasta el 30% de su peso seco en gas, como gases de N y amonio, más de un 70% de partículas de H₂O, además un 90% de hidrocarburos (Rodríguez, 2002).

Sus características y propiedades físico químicas las han hecho útiles en la agricultura, la actividad pecuaria, tratamiento de aguas, retención de olores, separación de gases, y un uso creciente en la medicina (Ostrooumov, 2003).

4.3.5. Usos de la Zeolita en la agricultura

Las zeolitas naturales se utilizan ampliamente como portadores de lenta liberación de fertilizantes y otros productos agroquímicos como insecticidas, pesticidas, agentes antibacterianos, estimuladores del crecimiento, mejoradores de la fertilidad y la actividad biológica del suelo y el aumento en la capacidad de producción de ácido, aumentando así el equilibrio del nitrógeno sobre todo en suelos ligeros y arenosos. También son usados para el secado y almacenaje de grano, el cuidado de vinos para la utilización como sustrato en invernaderos, así como muchos otros usos.

También son útiles desde el punto de vista ecológico para quitar el daño de la contaminación del suelo, ya que ayudan en la adsorción de metales pesados y otros compuestos tóxicos. En la cría de animales de la granja las zeolitas pueden ser usadas como aditivos minerales para alimentación del ganado, para elaborar mezclas con efectos dietéticos y antibacterianos, así como para facilitar el manejo de excrementos y de los animales de granja. Sirven de desodorantes para reducir el olor y humedad en cuadras. En la cría de pescado son convenientes para quitar el amoníaco en los sistemas de recirculación de agua. Los productos de zeolita también son convenientes para su uso gradual para animales de corral y puede ser usado como fertilizante natural para cultivos agrícolas (Rehákova *et al.*, 2004).

4.3.6. Zeolita como biofertilizantes

La mayoría de las zonas áridas del desierto de Jordania han sufrido desertificación donde la precipitación, evaporación y la acción del viento se consideran los principales parámetros climáticos en tales áreas (Verheye, 2006). Para reducir este impacto, de la desertificación se han practicado algunos enfoques agronómicos y químicos (Manivannan, *et al.*, 2007). La aplicación de zeolita en el sistema suelo-planta es una de las medidas prometedoras para disminuir estos impactos. La zeolita se considera en gran medida eficaz, ambientalmente segura y biológicamente aceptable para sus aplicaciones (Adilson *et al.*, 2006)

La zeolita se considera un sustrato natural abundante en cantidades sustanciales con características prometedoras para el crecimiento de plantas en las zonas áridas de Jordania. En esa región la humedad suministrada al suelo por la distribución de las precipitaciones irregulares generalmente se compensa con la evaporación que hace este tipo de zonas propensas a la degradación grave mediante la aplicación de zeolita. También ayuda a preservar la humedad del suelo a largo plazo, la cual estará disponible para la planta y para reducir los efectos de la sequía en esas zonas. En la práctica, el uso de un 5% de zeolita que sería de suma importancia para las zonas áridas. Por otra parte, el estudio concluye que la zeolita es capaz de conservar la humedad del suelo a largo plazo y facilitar la accesibilidad a la planta, que con el tiempo la reducción de la erosión y la escorrentía. Por lo tanto, la utilización de zeolita puede mejorar el crecimiento y desarrollo de algunos cultivos como el tomate y finalmente lograr minimizar la contaminación, reduciendo al mínimo la aplicación de agroquímicos. La utilización de zeolita como enmienda del suelo sugiere nuevas investigaciones sobre el aspecto de las complejas reacciones e interacciones de las zeolitas en el ecosistema suelo-planta. Esto incluye los roles de la zeolita y del suelo con respecto a la CIC, junto con la concentración de nutrientes y su efecto sobre los parámetros estudiados (Al-Qarallah, *et al.*, 2013).

Trabajos acerca de la zeolita en el cultivo del rábano demuestran que hubo mayor rendimiento mediante el uso de clinoptilolita, la calidad del suelo y el aumento y calidad de la cosecha. La aplicación de zeolita en el cultivo de *Raphanus sativus* parece aumentar el producto final por la retención de sal y la incapacidad para pasar a través de las raíces a las plantas. En este estudio, es evidente que el uso de zeolita en el suelo salino aumentó el crecimiento y el peso de las plantas, especialmente la sección aérea por reducción de la absorción de estas sales. La aplicación de zeolita al suelo normal mejora su capacidad de retener nutrientes en la zona radicular sin afectar a su capacidad de drenaje. Esto conduce a un uso más eficiente de los fertilizantes de N y K para obtener el mismo rendimiento o la misma cantidad de fertilizante, ya que dura más y produce mayor rendimiento (Noori *et al* 2007).

Vunduk *et al.* (2014) reportan que los resultados de su estudio señalan que la aplicación de zeolita en el cultivo de setas podría ser beneficiosa en el aumento de la concentración de microelementos, sobre todo de elementos beneficiosos para la salud como Mg. Aunque la cantidad absoluta de elementos aumentó en las muestras de su experimento, otros estudios adicionales en la biodisponibilidad de elementos específicos de los hongos son necesarios. La suplementación del sustrato dio resultados positivos, lo que sugiere que las zeolitas pueden ser consideradas como una posible biofortificación en la producción de hongos.

Hay estudios en la literatura relacionadas con el contenido de nitrato de plantas en diferentes sistemas de cultivo en Brasil (Bennini *et al* 2002; Fernandes *et al.*, 2002; Aquino *et al.*, 2007; Takahashi *et al.*, 2007). Sin embargo, hay poca investigación del sistema zeopónico y los posibles efectos sobre la calidad de la lechuga. Datos de un experimento con lechuga usando la zeolita demuestran que al ser enriquecida con KNO_3 libera los macronutrientes N y K para plantas de lechuga. La concentración de N total, K y $\text{NO}_3\text{-N}$ aumentó con los niveles de zeolitas (Campos *et al.*, 2015).

4.4 Uso de sustratos en la agricultura moderna

Es una de las mayores aplicaciones en la agricultura la forma de cultivar en sustratos como la zeolita, con o sin turba o vermiculita, lo que es comúnmente conocido como un sistema zeopónico (Mumpton, 1999), el cual trabaja como un sistema de lenta liberación o controlada y que representa una fuente renovadora de nutrientes de las plantas (Allen *et al.*, 1995). Estos minerales se caracterizan por la retención y liberación de agua y el intercambio de cationes en su estructura (Mumpton, 1999). Estos minerales de zeolitas naturales pueden ser utilizados en el campo o en cultivos con sustratos (Ming y Dixon, 1987). Las mayores reservas se encuentran en Brasil en el valle del río Parnaíba (Rezende y Angélica, 1999). La zeolita sedimentaria brasileña es del tipo estilbita-Ca (Vattuone *et al* 2008) con la fórmula simplificada $(\text{Na}, \text{K}) \text{Ca}_2 [\text{Al}_5\text{Si}_{13}\text{O}_{36}] 14\text{H}_2\text{O}$ (Monte *et al.*, 2009)

Respecto a la disponibilidad de estos minerales a nivel mundial, se sabe que Turquía cuenta con aproximadamente 30,000 ha de invernaderos, de las cuales el 96 % se utiliza para el cultivo de hortalizas. La producción se realiza principalmente en el suelo. Cultivo sin suelo se practica sobre una base comercial sólo en 75 ha, pero es evidente que va a aumentar si se toma la próxima eliminación gradual del bromuro de metilo en cuenta. Los cultivadores prefieren utilizar sustratos locales, tales como perlita o piedra pómez mezclada con fibra de coco, lo que sirve para aumentar la capacidad de tamponamiento. Por otro lado, Turquía tiene ricos yacimientos minerales de zeolitas con propiedades físicas y químicas atractivas para la agricultura (Yilmaz *et al.*, 2014).

Hay diversos estudios sobre las posibilidades de la utilización de zeolita del tipo clinoptilolita como sustrato, y se informa de que la clinoptilolita condujo a aumentos en el rendimiento (Baikova y Loboda, 1999); la disminución de la demanda de fertilizantes (Loboda, 1999) y la reducción de la lixiviación de $\text{NO}_3\text{-N}$ y K (Owais *et al.*, 2013; Oztan, 2002)

En el cultivo sin suelo, se descargan soluciones con nutrientes y sustratos, por lo que estas aguas residuales causan contaminación ambiental. (Benoit y Ceustermans, 1995) reportan que una hectárea de cultivo de tomate sin suelo, en promedio produce las siguientes cantidades de residuos: 60 m³ de tapetes de lana de roca; 12 m³ de ollas de lana de roca; 2000 m³ de solución nutritiva, cinco toneladas de plásticos para envolver, etc.

Con el aumento de conciencia de los aspectos ambientales durante los últimos años, han ganado importancia los sistemas sin suelo que hacen un uso racional del agua y fertilizantes y que tienen costos de operación más bajos debido a ahorros como: reducción en la cantidad de material de desecho, menos contaminación de aguas subterráneas y superficiales, (Van Os, 2000). Los resultados indican que la zeolita, al actuar como un sustrato podría proporcionar economía en el uso de nutrientes y reducir la contaminación del medio ambiente al disminuir la cantidad de elementos de lixiviación. Además de estos, después de cultivo sin suelo la zeolita puede ser utilizada como acondicionador de suelos en

campo abierto, y también reduce la cantidad de material de desecho. Por lo tanto, la zeolita se puede utilizar para la optimización del medio ambiente en el cultivo sin suelo mediante la promoción de la eficiente absorción de nutrientes, lo que a su vez reduce la contaminación del medio ambiente (Gül *et al* 2005)

4.4.1 Zeolita y perlita como sustratos en cultivos protegidos

Las propiedades físicas de sustratos utilizados en agricultura protegida y semiprotegida son muy importantes, estando relacionadas con el espacio y tamaño de las partículas y su distribución de tamaño, así como la porosidad total determinan la capacidad de retención y movimiento del agua, debido a los macro poros y micro poros que pueden poseer, ya que son muy importantes para el crecimiento de las plantas (Anicua, *et al* 2009). En algunos materiales que se utilizan como sustratos se ha determinado que el tamaño de partícula influye en la relación y retención de agua-aire, no solo en materiales específicos como peat moss, composta, corteza de pino y perlita, sino también en mezclas de materiales (Verdonck, 2004).

La mayoría de los materiales que se utilizan como sustratos tienen poros dentro y entre partículas (microporos y macroporos), lo cual aumenta el espacio vacío (Adler, 1992; Anicua *et al.*, 2009) observaron una correlación entre tamaño de partícula y tamaño de poro en la perlita y determinaron que la porosidad interna de este material puede tener un efecto positivo en la capacidad de retención de agua; no obstante, esta no puede ser cuantificada y diferenciada fácilmente por las técnicas convencionales para determinar las relaciones agua-aire .

4.4.2. Algunas características del sustrato zeolítico

Este mineral presenta cuatro diferentes tipos de formas: angular-subangular-ondulada, angular-lisa-ondulada, subangular-rugosa, subredonda-ondulada, cuya variabilidad está relacionada con el tamaño de partícula y a su vez

con el diámetro de poros. Por ejemplo, las partículas >3.36 mm presentan una mayor variedad de formas, con diámetro de poros más amplio (entre 0 y 500 μm); mientras que las partículas más pequeñas (<1 mm), con formas homogéneas, el diámetro dominante es menor (< 200 μm). Es importante señalar la formación de mesoporos o cavidades en partículas de 1 y 0.50 mm (de 100 a 500 μm) y fisuras en partículas menores de 0.25 mm.

La mayor densidad se presenta en partículas <0.13 mm (0.83 g cm^{-3}) y la menor, en partículas de 0.25 mm (0.68 g cm^{-3}) (Boettinger y Ming, 2002) reportaron que la densidad aparente difiere para cada tipo de zeolita. La densidad real fue variable y estadísticamente diferente, presentándose el mayor valor en partículas de 0.25 mm (2.28 g cm^{-3}) y el menor en partículas <0.13 mm (2.1 g cm^{-3}). Los valores del espacio poroso total en zeolita son irregulares y diferentes (entre 60.48 y 70.18 %) de acuerdo con el tamaño de partícula. El mayor EPT se presenta en partículas de 0.25 mm de diámetro con 70.18 %, debido a su acomodamiento de poros con cavidades de diferente tamaño (0-500 μm). La retención de agua es fácilmente disponible, y difícilmente disponible fue estadísticamente diferente en función del tamaño, forma y distancia de las partículas. Por ejemplo, las partículas de 1 mm mostraron la mayor capacidad de aireación.

4.4.3. Algunas características de la perlita

Otro sustrato muy utilizado en la agricultura protegida es la perlita, la cual es una roca volcánica vítrea (silicato de aluminio) formada por el enfriamiento rápido; que contiene entre 2 y 5 %. Este mineral en su manipulación industrial, se granula y precalienta a 300-400 $^{\circ}\text{C}$ y se vierte en hornos a 1000 $^{\circ}\text{C}$, formando una espuma blanca y ligera, por lo que es completamente estéril (Landis *et al.*, 1990). La perlita por ser un material inorgánico y volcánico, se espera ver solo sólo un acomodamiento de las partículas; sin embargo, forman cavidades, probablemente como resultado de burbujas de aire durante su enfriamiento. Este tipo de poros no se presentó en partículas pequeñas.

Trabajos establecidos de la perlita tiene diferentes formas: 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 presentan en partículas >2 mm y las formas más homogéneas (subredonda y redonda) en partículas menores a estas. Cuando se relacionó la distancia entre partículas con la forma de ellas, se observó 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 son entre 0 y 200 μm (partículas pequeñas <1 mm); lo que significa mayor compactación.

Las partículas forman tres tipos de poros: empaquetamiento simple y cavidades, en tamaños gruesos e intermedios y fisuras en tamaños menores de 0.25 mm. Los poros inter e intra partícula varían con el tamaño de las mismas El más alto porcentaje de poros inter partícula son en partículas <0.13 mm (100%), mientras que las partículas de 2 mm son el menor porcentaje de poros inter partícula (72.5%) con el mayor porcentaje de poros intra partícula (27.5%). (Anicua *et al.*, 2009).

4.5 NANOTECNOLOGÍA

4.5.1. Dimensiones de la nanotecnología

Las NPs son materiales que son lo suficientemente pequeños como para caer dentro del rango nanométrico (10^{-9} a 10^{-12}), teniendo sus dimensiones de menos de unos pocos cientos de nanómetros. La NT utiliza y diseña materiales a escala atómica (normalmente entre 1 y 100 nm, o lo equivalente en metros: entre 0.000000001 y 0.000000000001 m).

Los conocimientos actuales sobre la NT provienen de avances en los campos de la química, física, ciencias de la vida, medicina e ingeniería. Existen diversas áreas en las que la nanotecnología está en proceso de desarrollo o incluso en fase de aplicación práctica. En la ciencia de los materiales, las nanopartículas permiten la fabricación de productos con propiedades mecánicas

nuevas, incluso en términos de superficie de rozamiento, de resistencia al desgaste y de adherencia. En productos de consumo como cosméticos, protectores solares, fibras, textiles, tintes y pinturas, ya incorporan nanopartículas. En el campo de la ingeniería electrónica, la NT se emplea en el diseño de dispositivos de almacenamiento de datos de menor tamaño, más rápidos y con un menor consumo de energía.

4.5.2. Tipos de nanopartículas

Las nanopartículas ya sean de nanopolvo, nanoracimo, o nanocrystal, son partículas microscópicas con por lo menos una dimensión menor que 100 nm. La Iniciativa Nacional de Nanotecnología del gobierno de los Estados Unidos ha dispuesto cantidades enormes de financiamiento exclusivamente para la investigación con NPs (Alam *et al.*, 2013).

Las NPs de cobre (NPsCu) han atraído mucho la atención en los últimos años por ser un metal semiconductor, por sus propiedades físicas, químicas, antimicrobianas, así como por su abundancia (Betancourt *et al.*, 2013). Además, el cobre posee un importante papel biológico en el proceso de fotosíntesis de las plantas, aunque no forma parte de la composición de la clorofila. El cobre contribuye a la formación de glóbulos rojos y al mantenimiento de los vasos sanguíneos, nervios, sistema inmunitario y huesos. Por lo tanto, es un oligoelemento esencial para la vida humana que tiene un gran potencial para emplearse en desarrollos tecnológicos sustentables y las NPs de cobre ya han demostrado su acción antibacterial en patógenos de humanos y enfermedades nosocomiales (Baba, 2006).

Un factor crítico que es responsable de las propiedades antimicrobiales del cobre es la habilidad para aceptar o donar electrones fácilmente, para así tener un nivel alto de oxidación catalítica y una reducción potencial alta. Cuando el cobre está en un estado de oxidación (Cu^{2+}), es altamente efectivo como antimicrobial debido a la interacción con ácidos nucleicos, sitios enzimáticos activos y

componentes de la membrana de las células que causan la enfermedad. Más aun, ha sido demostrado que el cobre tiene la habilidad de reducir el índice de crecimiento de la bacteria *Escherichia coli* como un agente microbial en más de 99.99 %, ya que le causa daño a las paredes de las células y altera su contenido celular negativamente (Cioffi *et al.*, 2005).

El cobre ha sido de interés particular porque a diferencia de otros metales antimicrobiales, presenta un espectro amplio de acción contra bacterias y hongos. La eficacia del cobre depende de las condiciones del medio ambiente, la concentración de iones de cobre y el tipo de microorganismos. Dada la efectividad del cobre contra organismos patógenos asociados con enfermedades de plantas y animales, ha sido utilizado ampliamente en el sector agropecuario como pesticida desde hace miles de años y últimamente como promotor de crecimiento vegetal (Jaiswal *et al.*, 2012).

Las nanopartículas que se producen a partir de metales como oro, cobre y plata presentan además características eléctricas, ópticas y microbianas. Estas últimas permiten visualizar su aplicación efectiva en dispositivos electrónicos, catalizadores, sensores y productos bactericidas, entre otros. Además, su síntesis da lugar a mezclas de diferentes tamaños y morfologías. A continuación se explican las más importantes.

Nanopartículas de oro (NPsAu). Estas NPS pueden calentar un área de mil veces su tamaño; sus propiedades caloríficas se comprueban en medios como el agua, el hielo y en una lámina de polímero que consta de un diseño con el que se imitan los materiales presentes en sistemas biológicos. Sus ventajas radican en que son poco reactivas, poseen una fácil funcionalización y son muy resistentes a la oxidación y a la corrosión (Chithrani *et al.*, 2006). Las NPs de oro (Figura 4) que son de aproximadamente una décima parte del ancho de un cabello humano, son extremadamente eficientes en la dispersión de la luz. Por otro lado, las moléculas biológicas como los virus son intrínsecamente pobres en dispersar la luz. La agrupación de los virus con las nanopartículas de oro es la razón por la cual fluctúa la luz dispersa en un patrón predecible y medible (Gaiduk *et al.*, 2011).



Figura 4. Las nanopartículas de oro están siendo usadas para detectar virus causantes de gripas (Flu) y graves enfermedades como el HIV o Sida.

Las NPs de metales nobles y más específicamente, las NPs de oro presentan excelentes propiedades físicas, químicas y biológicas, intrínsecas a su tamaño nanométrico. Además, acorde con (Al-Qadi y Remuñán-López, 2009), las NPsAu pueden ser producidas en distintos tamaños y formas, pudiendo ser fácilmente funcionalizadas con un amplio abanico de ligandos (anticuerpos, polímeros, sondas de diagnóstico, fármacos, material genético, etc.). Todo esto hace que las NPsAu despierten un gran interés en multitud de campos, pero especialmente en los sectores biomédico y alimentario.

Nanopartículas de aluminio y de óxido de hierro. Las NPs de aluminio (NPsAl) pueden involucrarse en la disminución de la velocidad del desarrollo de las raíces de plantas como maíz, calabacita, soya, col y zanahoria, aunque si las partículas son cubiertas por un hidrocarburo aromático dichos efectos se aminoran. Las NPs de aluminio (Figura 5) están siendo consideradas como un posible combustible en aplicaciones avanzadas de materiales energéticos.

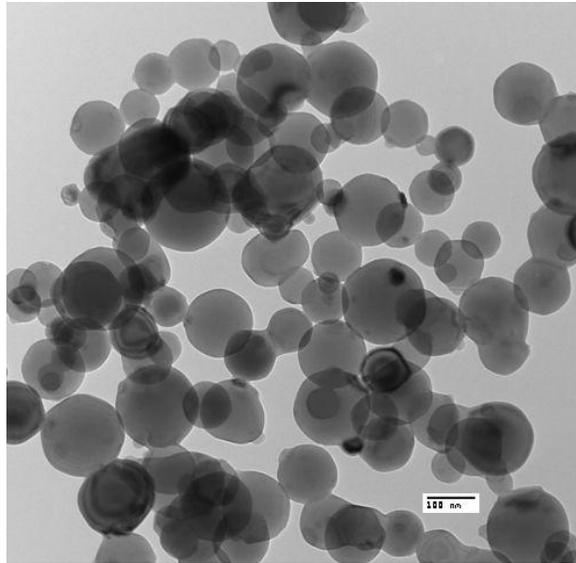


Figura 5. Nanopartículas de óxido de aluminio (Al_2O_3) con un tamaño promedio en el rango de 20 a 60 nm.

Por su parte, Zhu *et al.* (2008) han reportado que las plantas de calabaza (*Cucurbita maxima*), al aplicarles NPs de magnetita (Fe_3O_4), pueden absorber, traslocar y acumular las NPs en el tejido vegetal. Eso sugiere que las plantas son un importante componente del medio ambiente y de los ecosistemas, por lo tanto se deben de considerar e incluir cuando se está evaluando el destino, transporte y caminos que siguen las NPs en el ecosistema.

Nanopartículas de plata (NPsAg). Una de las grandes ventajas de utilizar plata al igual que el cobre, es que actúa como agente antimicrobiano, razón por la cual se incorpora para la fabricación de materiales de envasado, también no guarda olores, además que no presenta problema alguno de descomposición a las temperaturas de extrusión de los plásticos, sin dejar de mencionar su volatilidad (Layani *et al.*, 2012). El crecimiento de microbios en los textiles durante el uso y su almacenamiento afecta negativamente al usuario, así como el propio textil. El efecto perjudicial pueden ser controlados por una acción antimicrobiana duradera mediante los textiles con biocidas de amplio espectro o mediante la incorporación de productos biocidas en fibras sintética durante la extrusión (Gao y Cranston, 2008). La Figura 6 muestra una representación de como las bacterias que

producen malos olores en ropa o textiles, son eliminadas o neutralizadas por efecto de las NPs de plata al entrar estos microorganismos en contacto con la fibra que ha sido previamente tratada.

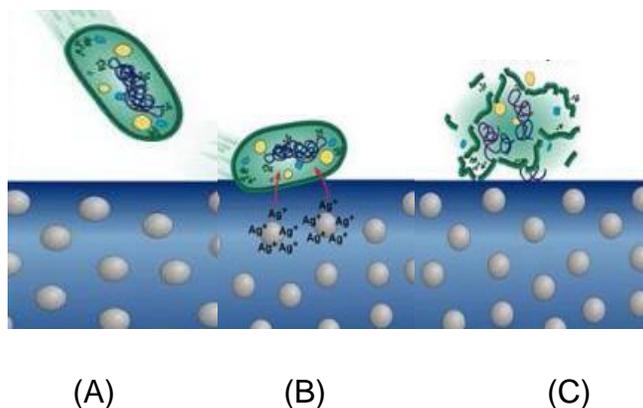


Figura 6. Representación esquemática mostrando como una fibra de tela conteniendo nanopartículas de plata ejerce su acción antibacterial (A) Bacteria aproximando la fibra. (B) Bacteria entrando en contacto con las nanopartículas de plata. (C) Bacteria siendo dañada o eliminada.

La actitud de los consumidores respecto a la buena higiene y de vida activa, ha creado un creciente mercado de textiles antimicrobianos, que a su vez ha estimulado la investigación intensiva y el desarrollo de trabajos con NPsAg (Radetić *et al.*, 2008). Estos autores reportan que los más recientes desarrollos en los tratamientos antimicrobianos de textiles están utilizando diversos agentes bioactivos como plata, sales de amonio cuaternario, el triclosán, el quitosán, tintes y compuestos N-halamina regenerables y peroxiácidos. También señalan que al aplicar NPsAg en textiles elaborados con poliéster y poliamida tuvieron mejores propiedades antimicrobiales contra las bacteria Gram-positiva *Staphylococcus aureus* y la Gram-negativa *Escherichia coli*.

4.5.3 Aplicación de las nanopartículas en la agricultura

La NT ofrece interesantes opciones en la mejora de las técnicas existentes de manejo de cultivos. Los agroquímicos se aplican convencionalmente a los cultivos por pulverización y o difusión. Por lo general, sólo una muy baja concentración de los productos químicos, lo cual es muy por debajo de la concentración mínima eficaz requerida, ha alcanzado el sitio de destino de los

cultivos debido a problemas como la lixiviación de los productos químicos, la degradación por fotólisis, hidrólisis y por degradación microbiana. Por lo tanto, para una aplicación repetida es necesario disponer de un control efectivo que podría causar algunos efectos desfavorables como la contaminación del agua y el suelo.

Para el caso de la agricultura, la NT ya se está utilizando para el tratamiento de algunas enfermedades de las plantas, para la detección precoz de los patógenos que las producen, para la mejora de la asimilación de nutrientes esenciales por las plantas e incluso la construcción de nanobiosensores importantes en determinados procesos biológicos. Su uso puede incrementar la eficacia de los pesticidas e insecticidas comerciales reduciendo su cantidad de aplicación al suelo a unas dosis significativamente menores requeridas para los cultivos con la mejora medioambiental que eso implica.

Agroquímicos nano-encapsulados pueden ser diseñados de tal manera que poseen todas las propiedades necesarias como la concentración efectiva (con alta solubilidad, estabilidad y eficacia), de liberación controlada con velocidad de tiempo de respuesta a ciertos estímulos, la actividad específica mejorada y menos de ecotoxicidad con seguro y facilitando el modo de entrega, por lo tanto, se puede evitar la aplicación repetida (Tsuji, 2001). Las NPs no son novedosas para las plantas, ya que ellas toman del suelo nanopartículas de macro y microelementos que son utilizados para su crecimiento, desarrollo y fructificación (Figura 7).

En el cercano futuro, la industria agrícola puede usar diversos materiales como nanopesticidas, nanofungicidas y nanoherbicidas y algunas empresas ya los están desarrollando. En definitiva, la aplicación de la NT en la agricultura es una alternativa más respetuosa con el medio ambiente para el caso concreto del control de insectos y plagas que los métodos con agroquímicos sintéticos, que tantos problemas medioambientales han generado. De hecho, cada vez se publican más estudios que detectan este tipo de sustancias en lugares y

organismos que nunca han estado expuestos como es el caso de los hielos de la Antártida.

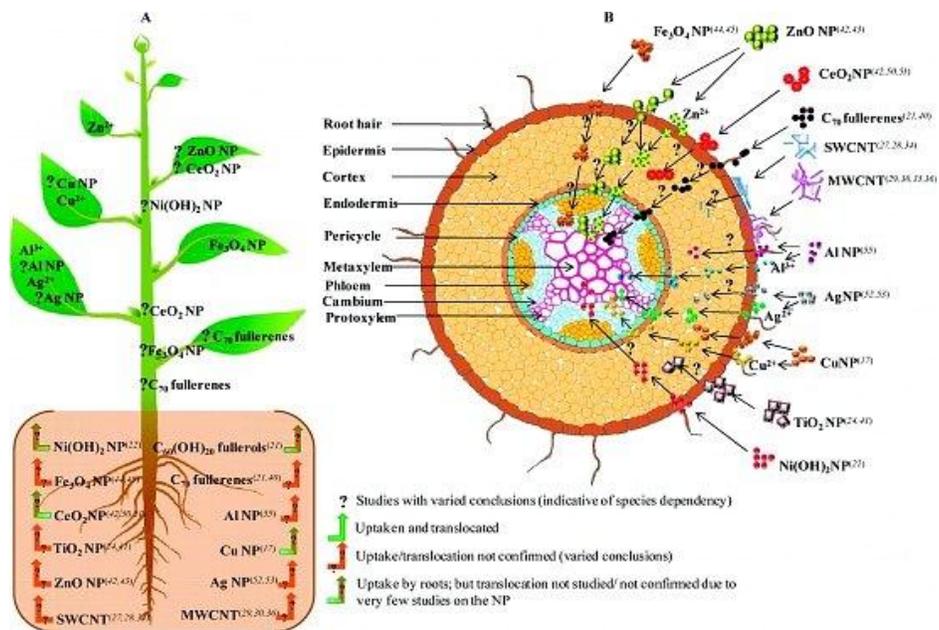


Figura 7. Las plantas de manera natural hacen una absorción y traslocación selectiva de NPs minerales del suelo que luego son enviadas a los puntos de demanda acorde al crecimiento vegetativo.

La aplicación con éxito de diversas nanoplataformas en medicina en condiciones *in vitro* ha generado un cierto interés en la agricultura nanotecnológica. Esta tecnología ofrece la posibilidad real de la liberación controlada de agroquímicos en sitios precisos y la entrega selectiva de diversas macromoléculas necesarias para mejorar la resistencia a enfermedades de las plantas, la utilización eficiente de macro y micro nutrientes para mejorar el crecimiento de las plantas cultivadas. Procesos como la nanoencapsulación muestran el beneficio de un uso más eficiente y un manejo más seguro de los plaguicidas con menor exposición al medio ambiente que garantiza la ecoprotección y el manejo sustentable de cultivos (Srilatha, 2011).

La eficiencia de absorción y los efectos de diversas NPs sobre el crecimiento y las funciones metabólicas varían entre diferentes plantas. Las NPs

usadas en la transformación de plantas tiene el potencial para la modificación genética de las plantas para un mejoramiento genético adicional. En concreto, la aplicación de tecnología de nanopartículas en fitopatología enfrenta los problemas agrícolas específicos en las interacciones planta-patógeno y ofrece nuevas formas de protección de los cultivos (Nair *et al.*, 2010).

Las NPs también están siendo empleadas para el control de enfermedades de plantas. Hoy en día, la aplicación de fertilizantes agrícolas, pesticidas, antibióticos y nutrientes en el área agropecuaria suele ser por aspersión o por aplicación al suelo o a las plantas, o por medio de los sistemas de fertirriego o en la alimentación o inyección a los animales. La entrega o aplicación de los plaguicidas o medicamentos se ofrece como "tratamiento preventivo", o se proporciona una vez que el organismo causante de la enfermedad se ha multiplicado y síntomas son evidentes en la planta. En este contexto, las nanotecnologías ofrecen una gran oportunidad para desarrollar nuevos productos contra plagas (Begum *et al.*, 2010).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo experimental se realizó durante el otoño 2014

5.1 Localización del sitio experimental

El trabajo se realizó en un invernadero de tecnología media en el campo experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, ubicado en las coordenadas geográficas 25° 27' de Latitud Norte, 101° 02' de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altitud de 1610 msnm.

5.2 Características climáticas del lugar

El clima de Saltillo corresponde a un seco estepario, de acuerdo a la clasificación climática de Köeppen; modificada por García (1987). La precipitación pluvial y la temperatura media anual son de 365mm y 18 °C respectivamente, el periodo más lluvioso está principalmente entre Julio y Septiembre, siendo Julio el

mes más lluvioso. La evaporación promedio mensual es de 178 mm, presentándose las más altas en los meses de Mayo y Junio con 236 y 234 mm.

5.3 Síntesis de las nanopartículas (NPs)

Se realizaron los cálculos para determinar la cantidad de reactivos iniciales de acuerdo con la composición estequiométrica que deben tener las NPs, ZnO y Ag-ZnO (2.5 y 1.25% molar de Ag). Los nitratos de Zn y Ag e hidróxidos de Na y Li (54:46 relación molar) pesados previamente se colocaron en un mortero de ZrO₂ con bolas del mismo material en una relación de 10:1. El mortero se colocó en un molino tipo planetario (Fritsch pulverisette) que emplea movimientos de rotación y traslación, durante 3 segmentos de 30 min a 350 rpm; entre cada segmento el material fue despegado del mortero para homogenizar la mezcla. Al término de las moliendas el mortero se colocó en una estufa a 100 °C por 1 hora para deshidratar la pasta obtenida y facilitar su remoción total del mortero. Posteriormente el material se colocó en una caja de teflón para continuar con el secado bajo las mismas condiciones mencionadas anteriormente. A continuación el material se puso en una parrilla a 100 °C para evitar la hidratación y fue molido en un mortero de ágata previamente calentado, el material molido fue colocado en un vial y se analizó por difracción de rayos X para conocer las fases cristalinas presentes.

Después se procedió a disolver los nitratos contenidos en el material molido y aislar las NPs preparadas, mediante sencillas operaciones de lavado en agua desionizada; que se realizó en un vaso de precipitado y una parrilla de agitación por 1 hora, posteriormente se dejó sedimentar y se retiró el agua del lavado, repitiendo dicha operación en cuatro ocasiones. El quinto lavado se realizó con etanol, bajo una campana de extracción, seguido a lo cual la muestra se colocó en una caja de teflón para continuar con la evaporación total del solvente. Posteriormente se colocó el material en una estufa de secado a 100 °C por 1 hora y finalmente molido en un mortero de ágata. Las NPs fueron analizadas por difracción de rayos X para conocer constitución final de fases cristalinas.

5.4 Preparación de la solución con NPs

La solución de las NPs (ZnO, ZnO+Ag 1.25 % y ZnO+Ag 2.5% molar) fueron preparadas con una concentración de 0 y 50 mg/L en agua destilada y dispersadas con un sonicador (modelo VC750 y número de serie 75038AE-06-13) por 30 minutos para su posterior aplicación.

5.5 Manejo del cultivo

La siembra de las semillas pimiento dulce Cv. Californiana Wonder, (Crown Seeds, Heber, california Usa) y de tomate Cv. Floradade (Agrosad Seeds), se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades con sustrato de peat moss en condiciones de invernadero. El trasplante se realizó en macetas de polietileno de 1L de capacidad cuando presentaron un par de hojas verdaderas y altura promedio del pimiento de 3.8 y de tomate de 9.0 cm. Se aplicó fertilización de fondo NPK (150-80-80 mg/planta respectivamente). Para el cultivo de chile se empleó como sustrato de siembra una mezcla de peat moos: perlita: zeolita (50:30:20) y para cultivo de tomate 0, 10, 20 y 30% de zeolita. Durante el desarrollo del cultivo se aplicó riego de acuerdo a la demanda de la planta, y cada tercer día se fertilizó con una solución Hoagland modificada.

5.6 Aplicación de NPs a las plantas

La aplicación foliar de las NPs a las plantas de tomate y de chile se realizó de manera manual una vez por semana, para esta labor se utilizaron miniaspersores de 20 ml de capacidad y se hicieron tres aplicaciones semanales (durante tres semanas), aplicando a los tratamientos 1 ml de las diferentes soluciones y concentraciones; el grupo control solo recibió agua destilada en la misma cantidad.

5.7 Determinación del crecimiento y biomasa de las plantas

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), longitud de raíz y biomasa seca (hojas, tallo, raíz). Estas mediciones se hicieron en toda la plantas al final del experimento.

5.8 Análisis estadístico de datos

El diseño experimental empleado fue completamente al azar con cuatro tratamientos para el cultivo de chile (ZnO 100%, ZnO+Ag 1.25 % y ZnO+Ag 2.5 % molar), cinco repeticiones por tratamiento, y para tomate fue cinco tratamientos (100% peat moss, 70% peat moss + 30% perlita, 70% peat moss + 20% perlita + 10 % zeolita, 70% peat moss + 10% perlita + 20 % zeolita y 70% peat moss + 0% perlita + 30 % zeolita), con doce repeticiones en donde cada planta fue una repetición. El análisis de las variables fisiológicas se realizó mediante un análisis de varianza y prueba de rango múltiple Tukey ($P < 0.05$) con el software estadístico JMP-SAS versión 5.0 (SAS Institute, 2002).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS DE VARIANZA

INVERNADERO A. SUSTRATOS ZEOLITICOS EN PLANTAS DE TOMATE Variedad Floradade (empresa crown seed, Heber california USA)

Con base en la información capturada durante el desarrollo experimental se analizaron nueve variables morfofisiológicas del cultivo de tomate las cuales se presentan en el Cuadro 1, en este cuadro se puede apreciar características fenológicas y fisiológicas que fueron afectadas a modificadas por los tratamientos relacionados con la concentración de sustrato zeolitico en el cual se desarrollaron las plantas dentro del invernadero. Se puede apreciar que de las nueve variables estudiadas, siete de ellas fueron afectadas significativamente por los tratamientos, solo el índice de clorofila y el diámetro del tallo de plantas no se afectaron significativamente; sin embargo, en ambos casos se detectó una tendencia numérica a incrementarse los valores en la medida que se incrementó la concentración de zeolita en el sustrato empleado

Tratamientos aplicados y variables morfofisiológicas analizadas						
Variables	Pm 100%	Pm 70%+Per 30%	Pm 70% + Per 20%+ zeo 10%	Pm 70% + PER 10% + ZEOL 20%	Pm 70% + PER 0% + ZEOL 30 %	P>F
Altura (cm)	13.6b	14.3b	16.8a	17.4a	16.9 ^a	0.017*
Ir clorofila (U Spad)	39.1	41.2	40.7	38.78	41.2	0.86NS
No. hojas	15.0c	13.8c	18.0b	21.5b	28.8 ^a	0.0001**
Área foliar (cm ²)	478.8b	706.4 ^a	701.1a	695.8a	787.8 ^a	0.020*
Biomasa seca aérea (gr)	2.40b	3.50ab	3.66a	3.51a	3.93 ^a	0.025*
Biomasa seca raíz (gr)	0.67c	1.874ab	2.47a	2.34a	2.07 ^a	0.025*
Biomasa seca hojas (gr)	2.0b	2.9ab	3.0a	2.9a	3.3 ^a	0.019*
Longitud de raíz (cm)	13.6b	19.4 ^a	18.9a	19.5a	22.2 ^a	0.0001**
Diámetro de tallo (mm)	5.6	6.5	6.2	6.8	7.2	0.060NS

Cuadro. 1. Muestra las variables que se midieron para determinar la eficiencia del sustrato de zeolita en el invernadero a en el cultivo de tomate. **Diferencia significativa ($p < 0.05$) Diferencia significativa ($p < 0.05$). Pm = peat moos; Zeo = zeolita; Per = perlita. Ns No significativo ($p > 0.05$). Valores con la misma literal no son significativos entre sí.

BIOENSAYO 1. Nanopartículas de ZnO aplicadas al follaje de las plantas de Chile

Nanopartículas (50 mg/L)					
Variables	Testigo (Sin NPs)	ZnO 100%	ZnO+Ag 1.5%	ZnO+Ag 2.5%	P>F
Sustrato (Pmoss 50%+Per 30%+Zeol 20%)					
Altura (cm)	9.5b	9.2b	11.1 ^a	11.1 ^a	0.019*
Ir clorofila (U Spad)	47.16	51.65	50.07	51.09	0.07NS
No. hojas	20.2	20.7	22.6	26.7	0.329NS
No. Flores	2	1.6	3.8	3	0.099NS
Área foliar (cm ²)	119.28c	120.13bc	153.07ab	155.49 ^a	0.050*
Peso seco biomasa aérea (gr)	0.89b	0.89b	1.36 ^a	1.42 ^a	0.001**
Peso seco raíz (gr)	0.24b	0.24b	0.46 ^a	0.51 ^a	0.0001**
Peso seco tallo (gr)	0.13b	0.12b	0.23 ^a	0.23 ^a	0.0001**
Longitud de raíz (cm)	13.5b	15.1ab	16.7 ^a	16.8 ^a	0.015*
Peso seco hojas (gr)	0.50b	0.53ab	0.66a	0.67 ^a	0.058*

Cuadro 2. Muestra las variables medidas con las dosis de Nanopartículas evaluadas en este tratamiento. **Diferencia significativa ($p < 0.05$) *Diferencia significativa ($p < 0.05$) NS No Significativo ($p > 0.05$).

Los tratamientos evaluados con sustratos en diferentes proporciones se observa que en todas las variables hay diferencia significativa con el sustrato de zeolita en diferentes proporciones mostraron evidencia, con excepción a las variables (Ir de clorofila y diámetro de tallo) como lo muestra la (Tabla 1). Los tratamientos muestran una tendencia de crecimiento con los sustratos de zeolita en relación con la mezcla Peat-moss y perlita. Ver foto 1. De la misma forma se muestra en el desarrollo de la raíz (Figura 8.).



Figura 8. Plantas de tomate Cv. Floradade representativas de los 4 diferentes tratamientos aplicados, conteniendo las dosis de 100 % Pm + 0 % Per+ 0 Zeo; 70 % Pm + 20 % Per + 10 % Zeo; y 70 % Pm+ 0% Per + 30 % Zeo.



Figura 9. Raíces de las plantas de tomate Cv. Floradade representativas de los 4 diferentes tratamientos aplicados, conteniendo las dosis de 100 % Pm + 0 % Per+ 0 Zeo; 70 % Pm + 20 % Per + 10 % Zeo; y 70 % Pm+ 0% Per + 30 % Zeo.

El efecto de las NPs de ZnO, ZnO+Ag 1.25% y ZnO+Ag 2.5% sobre el crecimiento y biomasa seca en plantas de chile se expone en la (Tabla 2). Las plantas expuestas a la aplicación foliar de 50 mg L⁻¹ de NPs ZnO puras y dopadas con plata presentan mayor crecimiento ver (Foto 3, 4) y producción de biomasa respecto del control ($P < 0.05$). Las plantas que se aplicaron Nps ZnO dopadas con 1.25 y 2.5% de plata son las que mayor producción de biomasa seca, altura, área foliar, longitud y peso seco de raíz presentaron. La producción de clorofila en las hojas presentó una tendencia a incrementarse con la aplicación de NPs aunque no significativamente.

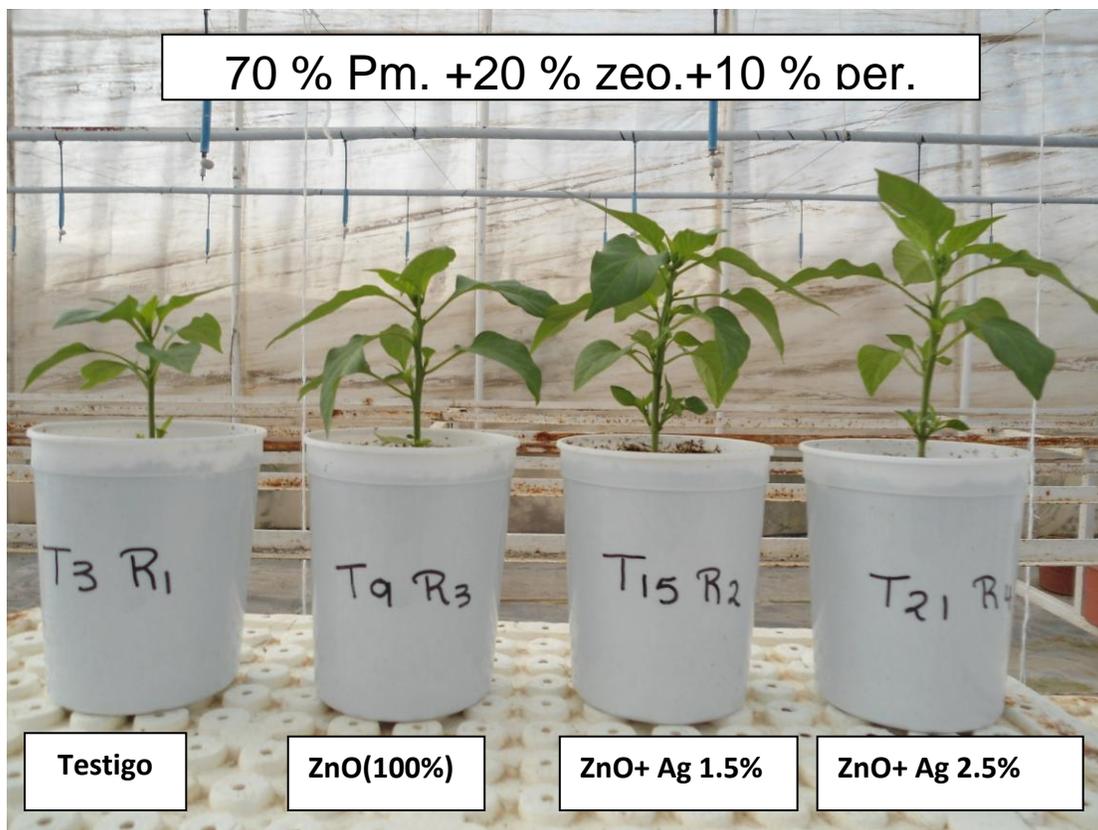


Figura 10. Tratamientos testigo y con aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc solo y dopado con plata al 1.25 y 2.5% utilizando 20% de zeolita.

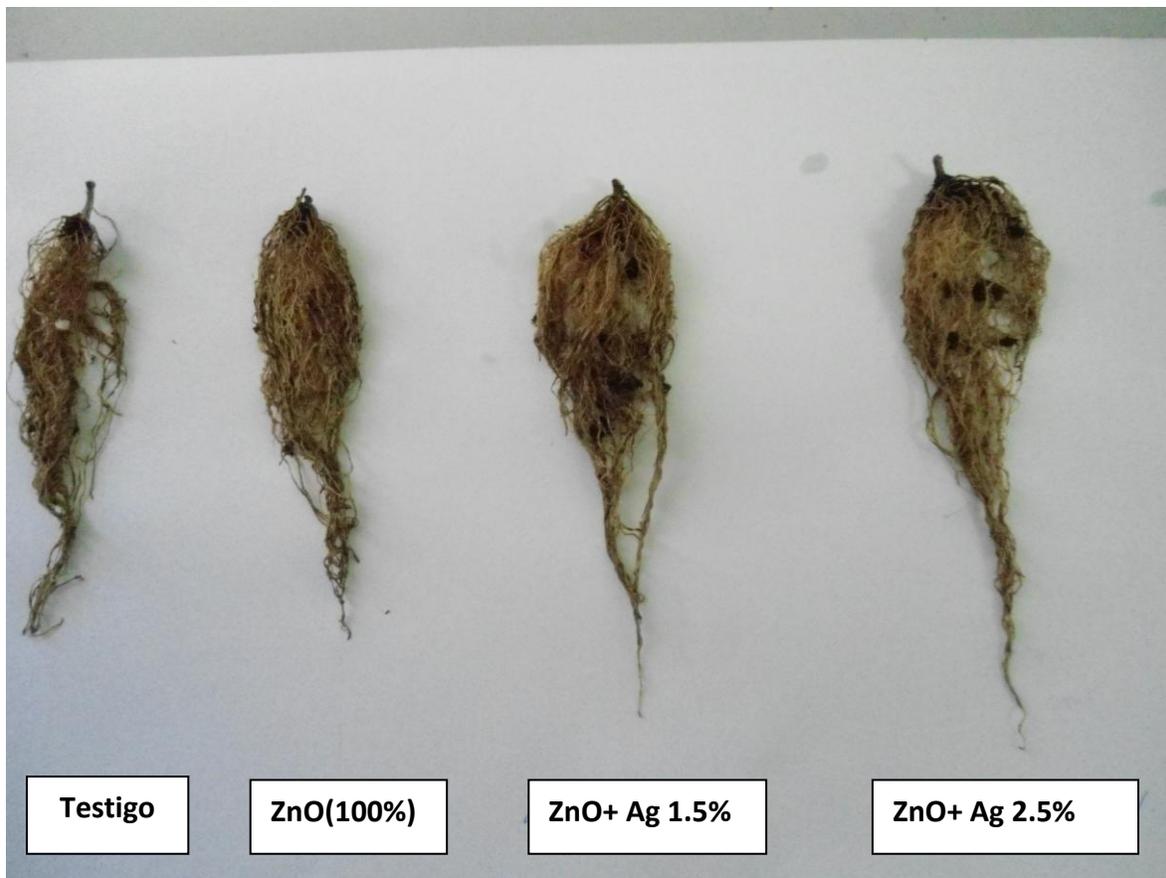


Figura 11. Raíces desarrolladas con diferentes concentraciones de las NPs de ZnO, ZnO+Ag 1.25% y ZnO+Ag 2.5%.

DISCUSIÓN

Como se puede observar en los resultados la evaluación de zeolita es eficiente para el desarrollo de las plantas como estimuladores del crecimiento, y al actuar como portadores de lenta liberación de fertilizantes de Na, Ca y K como lo mencionan Cornelis *et al.*, 2003 y Reháková *et al* (Cornelis *et al.*, 2003; Reháková *et al.*, 2004), experimento señalado por Hasbullah *et al* (Hasbullah *et al.*, 2014) indica que un 25 % de zeolita del tipo clinotilolita es sustituido de fertilizantes N P K es más beneficioso en comparación de la aplicación del 100 % de fertilizantes químicos aplicados en el suelo.

En el cultivo del *Zea mays* por Leggo (Leggo, 2000) afirmó que la principal aplicación de zeolitas en la agricultura es en la captura de nitrógeno, el

almacenamiento y la liberación lenta de nutrientes. La aplicación de fertilizantes solubles N es una de las principales razones de contaminación del agua subterránea. La liberación dinámica de la forma absorbida del nitrógeno en zeolitas es mucho más lenta que de la forma iónica.

Las plantas de tomate con los tratamientos con los contenidos de 10, 20 y 30% de zeolita, su desarrollo es más rápido en comparación con las plantas del tratamiento que no tiene añadido ninguna concentración de zeolita y solamente contiene peat moss, ejemplo ver el (cuadro 1) de valores muestra estadísticamente que los parámetros evaluados son casi iguales. Por lo que las plantas si aumentan su desarrollo con la adición del sustrato zeolítico, como lo dice en su experimento Rydenheim (Rydenheim, 2007). Por lo tanto, la utilización de zeolita puede mejorar el crecimiento y desarrollo de algunos cultivos como el tomate y finalmente lograr minimizar la contaminación, reduciendo al mínimo el impacto negativo por la aplicación de agroquímicos Al-Qarallah *et al* (Al-Qarallah *et al.*, 2013).

El crecimiento de las plantas de chile con el uso de zeolita al 20% más la aspersión de las NPs de **ZnO+ Ag 2.5%** presento mayor eficacia. La utilización de nanopartículas muestra un uso eficiente de macro y micro nutrientes para mejorar las plantas cultivadas como lo indica Srilatha (Srilatha, 2011) y se observa en la imagen del cultivo del chile. Ver (Figura 10 y 11).

De acuerdo a las investigaciones de Srilatha el uso de las nanopartículas en las plantas, tiene posibilidades para todo el ciclo de la planta en general, pero en este experimento solo se realizó con fines de crecimiento, la nanotecnología con el uso de las nanopartículas mejora el rendimiento y el aumento de la eficacia de la absorción de nutrientes por las plantas.

Las observaciones de las plantas de chile con el tratamiento de **ZnO+ Ag 2.5%** comprueban que su efecto es por su aplicación. Según por Khodakovskaya *et al* (Khodakovskaya *et al.*, 2009). demuestran en un experimento con nanotubos de diferentes materiales como los de carbono actualmente se están empleando en plantas de solanáceas como tomate para estimular el crecimiento vegetal y aumentar el número de hojas.

Los estudios demuestran que el uso de óxido de zinc más plata son favorables para los cultivos de solanáceas según, Naderi (Naderi, 2013) que la nanotecnología; uso de nano fertilizantes, provoca un aumento en la eficiencia de uso de nutrientes, esto reduce la dosificación excesiva del uso de fertilizantes químicos y reduce su aplicación, por lo tanto la nanotecnología tiene un alto potencial para lograr una agricultura sostenible.

VII. CONCLUSIÓN

La aplicación del sustrato zeolítico en diferentes niveles mostró el incremento del crecimiento de las plantas estadísticamente en las proporciones v/v 0, 10, 20 y 30%. Por lo que estos volúmenes incrementados con la mezcla de peat-moss y perlita, la concentración mayor de zeolita mostró mayor altura, así como la longitud de la raíz, y otras variables evaluadas.

Las observaciones en este experimento muestra que al menos el T5 presento un efecto favorable siendo el mejor, por las concentraciones de Peat moss 70%, perlita 0%, zeo 30% en comparación con el tratamiento de peat mos al 100%.

La aplicación de zeolitas puede ser una alternativa al uso de fertilizantes, sustituyéndolos o completándolos ya que esto ayuda. Esto concluye que si se puede sustituir la fertilización de zeolita por fertilizantes químicos o balancearlos, bien ya que esto ayuda a tener un mayor crecimiento de plantas y permanece en un tiempo más prolongado en el desarrollo del cultivo de solanáceas, poniendo de manera disponible al nitrógeno y al potasio.

La aplicación de zeolita al 20% más nanopartículas que se aplicaron al follaje con diferentes concentraciones de ZnO al 100%, ZnO+Ag 1.25% usadas como promotores de crecimiento, aumentaron significativamente el crecimiento del cultivo de chile bajo invernadero, seguido por ZnO+Ag 2.5% incremento el

crecimiento observado, en el desarrollo de las plantas en las comparaciones con el testigo. En los resultados mostrados en este experimento se observa que el tratamiento evaluado con zeolita más NPs al 2.5 % es más efectivo para los cultivos de las solanáceas.

Estos experimentos no se llevaron hasta la producción de fruto, pero sin embargo las variables que se midieron fueron mejores, las de los tratamientos que contienen zeolita y NPs y esto nos aumenta el desarrollo de las plantas de las solanáceas. Esto nos puede indicar, que si las plantas son más grandes y sanas, obtendremos mayor rendimiento en la producción de los frutos. De otra forma se recomienda llevar este experimento hasta la producción de cosecha de estos dos cultivos de las solanáceas.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Abdi, G. H., M. Khosh-Khui and S. Eshghi. 2006. Effects of natural zeolite on growth and flowering of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). In: Iran international zeolite conference. pp. 384-389.
- Adilson, C., Wilmer, J.V., Granda, H.M., Lima y Wilson T. S. 2006. Zeolites and their Application in the Decontamination of Mine Wastewater. Información Tecnológica-Vol. 17 N°6. Pages. 111-118.
- Adler, P. M. 1992. Porous media: geometry and transports. Butterworth-Heinemann. Stoneham, M.A. USA. 235 p.
- Alam, M.N., Roy, N., Mandal, D. y Begum, N.A. 2013. Green chemistry for nanochemistry: exploring medicinal plants for the biogenic synthesis of metal NPs with fine-tuned properties. RSC Adv., 3: 11935-11956.
- Al-Qadi S y Remuñán-L. C. 2009. Nanopartículas metálicas: oro. En: Real Academia Nacional de Farmacia. Nanotecnología farmacéutica. Madrid, pp. 223-248.
- Anicua, S. R., Gutiérrez, C.M., Sánchez. G. P., Ortiz, S.C., Volke-Valle. V y Rubiños, P. E. 2009. Particule size and micromorphological relation on physical properties of perlite and zeolite. Agricultura Técnica en México Vol.35:Num. 2-1. 147-156Pp.

Aquino, L. A., M. Puiatti, M. E. O. Abaurre, P. R. Cecon, P. R. G. Pereira, F. H. F. Pereira, and Castro, M. R. S. 2007. Yield, accumulation of nitrate, content and export of nutrients of lettuce cultivated under shade. *Horticultura Brasileira* 25: 381-386. (Portugueses).

Asman W.A.H., Sutton M.A, Schjorring J.K (1994). Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. *New Phytol.* 139:27-48.

Aumtong, S., *Slow-Released Fertilizers*, Thailand, 2009.

Baba, Y. 2006. Nanotechnology in medicine, *Nihon Rinsho*, 64: 189-98.

Baikova, S.N., Semekhina, V.M., 1999. Effectiveness of natural zeolite. *Kartofel Ovoshchi* 3, 41–42.

Bassam Al-Qarallah, *Moshrik R. Hamdi, Mazen El Shair, Nazir A. Al-Hadidi, Arwa Hamaideh, Safwan Shiyab and Talal Thalj* 2013. Plant Growth-Promoting Zeolitic Tuff: A Potential Tool for Arid Land Rehabilitation Horticulture and Crop Science Department, The University of Jordan, Jordan The University of Jordan, Jordan Deanship of Academic Research, The University of Jordan, Jordan Center of Water, Energy and Environment, The University of Jordan, Jorda.

Begum, N., Sharma, B. y Pandey, R.S. 2010. Evaluation of insecticidal efficacy of *Calotropis procera* and *Annona squamosa* ethanol extracts against *Musca Domestica*. *J. Biofertil. Biopestici.* 1: 101-109.

- Bennini, E. R. Y., H. W. Takahashi, C. S. V. J. Neves, and Fonseca, I. C. B. 2002. Level of nitrate in lettuce cultivated in hydroponic and conventional systems. *Horticultura Brasileira* 20: 183-186. (Portugueses).
- Benoit, F., Ceustermans, N., 1995. Horticultural aspects of ecological soilless growing methods. *Acta Hort.* 396, 11–24.
- Boettinger, J. L. and Ming, D. W. 2002. Zeolites. *In*: Dixon, B. J. and Schulze, G. D. (eds.). *Soil mineralogy with environmental applications*. Book Series, No.7. Soil. Sci. Soc. Am. Inc. South Segoe Road, Madison, WI53711, USA. p. 585-610.
- Betancourt, R. Reyes, P.Y., Puente, B., Ávila-Orta, C., Rodriguez, O., Cadenas, G., Lira-Saldivar, H., Garcia-Cerda, L.A. 2013. Synthesis of copper nanoparticles by thermal decomposition and their antimicrobial properties. *Journal of Nanomaterials*. Volume 2013, Article ID 980545, 5 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/980545>.
- Cai GX, Chen DL, Ding H, Pacholski A, Fan XH, Zhu ZL (2002). Nitrogen losses from fertilizers applied to maize, wheat and rice in the North China Plan. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*63:187-195.
- Campos, Bernardi.A., Guarino, Werneck. C., Gesualdi, H.P., Bezerra, M. M . M., Souza, B. F and Verruma-B, R.2015. Nitrogen, Potassium and Nitrate Concentrations of Lettuce Grown in a Substrate with KNO₃-enriched Zeolite.Vol. 10:13. 18Pp.

Chithrani, D., Arezou, A. and Chan, W.C.W. 2006. Determining the size and shape dependence of gold nanoparticle uptake into mammalian cells. *Nano Letters*, 6: 662–668.

Cioffi, N., Torsi, L., Ditaranto, N., Tantillo, G., Ghibelli, L., Sabbatini, L., D'Alessio, M., Zambonin, P.G and Traversa, E. 2005. Copper nanoparticle/polymer composites with antifungal and bacteriostatic properties. *Chem. Mater.*, 17: 5255-5262.

Cornelis, K., Cornelis, S. y Hurlbut, J. R (2003). Editorial Reverte, S. A. *Manual de Mineralogía*. Cuarta Edición. España. 8-20.

Department of Agriculture, Imported chemical fertilizer quantities, Thailand, 2012.

Dixon, J. B., & Ming, D. W. (1987). Technique for the separation of clinoptilolite from soils. *Clays and Clay Minerals*, 35(6), 469-472.

Fan, M.X, Mackenzie, A.F (1993). Urea and phosphate interactions in fertilizer microsites: ammonia volatilization and pH changes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 839-845.

Fernandes, A. A., H. E. P. Martinez, P. R. G. Pereira, and M. C. M. Fonseca. 2002. Nutrient sources affecting yield, nitrate concentration and nutritional status of lettuce cultivars, in hydroponics. *Horticultura Brasileira* 20: 195-200 (Portuguese).

Freibauer, A (2001) Biogenic emissions of greenhouse gases caused by arable and animal agriculture (ed.), Nutr. Cycling Agroecosyst. Special Issue 60:1-3, 1-326.

Gaiduk, A., Ruijgrok, P.V., Yorulmaz, M. and Oritt, M. (2011) Making gold nanoparticles fluorescent for simultaneous absorption and fluorescence detection on the single particle level. Phys Chem Chem Phys 13: 149-153.

Gao, Y. and Cranston, R. 2008. Recent advances in antimicrobial treatments of textiles. Textile Research Journal, 78: 60-72.

González, C. Estavillo, J.Ma. González, M. González, A. Pinto, M. Merino, M. y Aizpurua A. 2007. Fertilización nitrogenada y sostenibilidad ambiental frente a producción y calidad.

Gorki, C. Sánchez, F. Llerena, L. y Váscquez, G. 2009. Empleo de zeolitas naturales en la fertilización y producción del fríjol (*phaseolus vulgaris L.*) en la zona de Quevedo. Revista Ciencia y Tecnología. Vol. 2. Nº1. págs. 1-6.

Gül, A., Erog, D. and Rıza O.A. 2005. Comparison of the use of zeolite and perlite as substrate for crisp-head lettuce. Scientia Horticulturae. Vol. 106: 464–471 Pp.

Haro M.F. 2011. Zeolita natural: triple impacto para el sector agropecuario Ecuatoriano. (en línea). Consultado 21 febrero, 2015. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/>.

Hasbullah, N. A., Ahmed, O.H., Kasim, S., y Muhamad, N. Ab M. 2014. Zea mays Cultivation on an Acid Soil Using Clinoptilolite Zeolite. Sustainable Agriculture Research ; Vol. 4, No. 1. Pages 55.

Heath, J.R., y Davis, M.E. 2008 Nanotechnology and Cancer. Annual Review of Medicine, 59: 251-265..

Howard, D.D. y Tyler, D.D., (1989). Nitrogen source, rate and application method for no-tillage corn. Am. J. Soil Sci. 53: 1573-1577.

Huacuja, I. V.H. 2009. Evaluacion de sustratos para la producción de plántula de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot) bajo invernadero. En Zamora Mich. Tesis de licenciatura. Uruapan, Michoacán en México. Universidad michoacana san Nicolás de Hidalgo. 65 pág.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Zeolitas de Oaxaca: Características mineralógicas y morfológicas, 2004.

Jaiswal, M., Chauhan, D and Sankararamakrishnan, N. 2012. Copper chitosan nanocomposite: synthesis, characterization, and application in removal of organophosphorous pesticide from agricultural runoff. Environmental Science and Pollution Research, 19: 2055-2062.

Kamarudin, K. S., Hamdan, H., and Mat, H. (2003). Methane adsorption characteristic dependency on zeolite structures and properties. Paper presented at The 17th Symposium of Malaysian Chemical Engineers, Copthorne Orchid Hotel, Penang, 29_30 December.

- Khodakovskaya, M., Dervishi, E., Mahmood, M., Xu, Y., Watanabe, F. and Biris, A.S. 2009. Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *ACS Nano*, 3: 3221–3227..
- Landis, T. D. 1990. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Vol. 2. USDA. EUA. p. 46-92.
- Langmi, Henrietta W., and McGrady, G. Sean. (2007). Non-hydride systems of the main group elements as hydrogen storage materials. *Coordination Chemistry Reviews*, 251(7-8), 925-935. doi: 10.1016/j.ccr.
- Layani, M., Grouchko, M., Shemesha, S. Magdassi, S. 2012. Conductive patterns on plastic substrates by sequential inkjet printing of silver nanoparticles and electrolyte sintering solutions. *J. Mater. Chem.*, 22: 14349-14352.
- Leggo, P.J. An investigation of plant growth in an organo-zeolitic substrate and its ecological significance. *Plant and Soil* (2000) 219,135-146.
- Leggo, P.J., Ledésert, B Use of organo-zeolitic fertilizer to sustain plant growth and stabilize metallurgical and mine-waste sites. *Min.Mag* (2001) 65 (5), 563-570
- Lija, M., Osumanu, A., Haruna and wati, K. S. 2014. Maize (*Zea mays* L.) nutrient use efficiency as affected by formulated fertilizer with Clinoptilolite Zeolite *Journal Plant Science*. Vol. 26 (3): 284-292Pp.

Loboda, B.P., 1999. Agroecological assessment of using substrates from zeolite-containing rocks in greenhouse grown sweet peppers. *Agrokhimiya*. 0 (2), 67–72.

Maine, E., Thomas V.J., Bliemel, M, Murira, A, Utterback, J. 2013. The emergence of the nanobiotechnology industry. *Nat Nanotechnol*. doi: 10.1038/nnano.2013.288.

Manivannan, P., Jaleel, C.A., Kishorekumar, A. B. Sankar and R. Somasundaram, 2007. Propiconazole induced changes in antioxidant metabolism and drought stress amelioration in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Colloids Surf. B: Biointerfaces*, 57: 69-74.

Marambio, J.C., Hiek, M.V.E. (2010). A review of the antibacterial effects of silver Nanomaterials and potential implications for human health and the environment. *J Nanopart Res* 12:1531–1551.

Merrikhpour H ad Jalali M (2013). Comparative and competitive adsorption of cadmium, copper, nickel, and lead ions by Iranian natural zeolite. *Clean Technol Environ Policy* 15:303–316. doi:10.1007/s10098-012-0522-1.

Ming DW, Dixon JB (1986). Clinoptilolite in South Texas soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1618-1622.

Ming, D. W. and Mumpton, F. A. 1989. Zeolites in soils. *In*: Dixon, B. J. and Weed, B. S. (eds.). Minerals in soil environmental. (2nd Ed.). Book Series, No.1. Soil Science Society of America, Inc. South Segoe Road, Madison, WI53711, USA. p. 585-610.

Monte, M. B. M., A. Middea, P. R. P. Paiva, A. C. C. Bernardi, N. G. A. M. Rezende M. Baptista Filho, M. G. Silva, H. Vargas, H. S. Amorim, and F. Souza-Barros. 2009. Nutrient release by a Brazilian sedimentary zeolite. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 81: 641- 653.

Mumpton, F. A. (1999). La roca majica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, 96, 3463_3470.

Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y., Kumar, D.S. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science*, 179: 154-163.

Naderi, M.R.,and Shahraki, D. 2013.Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture *Intl J Agri Crop Sci.* Vol., 5 (19), 2229-2232.

Noori, M., Zendehtdel, M and Ahmadi 2007. Using natural zeolite for the improvement of soil salinity and crop yield *88:1*, 77-84.

Ostrooumov, M. 2003. zeolitas de México: diversidad mineralógica y aplicaciones. universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. <http://www.mineralog.net/wp-content/uploads/2011/09/ZeolitasMexico.pdf>.

Owais, S.J., Abdel, G.A., Ghrai, A.M., Al-Dalain, S.A and Almajali, N. 2013. Effect of Natural Jordanian Volcanic Tuff on Growth, Irrigation Water Saving and Leaves Mineral Content of *Salvia officinalis*. Jordan Journal of Agricultural Sciences, Volume 9, No.4 -439- 459.

Oztan, F., 2002. Substrat K l r  ile Hıyar Yetiřtiriciliđinde Organik G bre Kullanım Olanakları. Ege  niv. Fen Bilimleri Enstit s , İzmir.

Pérez, M. M.F. 2014. "Evaluación de la zeolita natural utilizada como una tecnología productiva y limpia, aplicada al pasto Maralfalfa (*Pennisetum sp*) como un complemento en el uso de los fertilizantes nitrogenados. Campus Cartago, Costa Rica.102P g, instituto tecnológico de costa rica área académica agroforestal programa de maestría en gestión de recursos naturales y tecnologías de producción.

Polat, E., M. Karaca, H. Demir, and A. Naci-Onus 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. Journal of Fruit Ornamental and Plant Research, 12: 183-189.

Prasertsak P, Freney J.R, Saffiga P.G, Denmead O.Tm and Prove B.G (2001). Fate of urea nitrogen applied to a banana crop in the wet tropics of Queensland. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 59:65-73. DOI: 10.1023/A:1009806826141 SAS (2001). SAS/STAT Software. SAS Institute, NC., ISBN: 1580258506.

Radeti , M., Ili , V., Vodnik, V., Dimitrijevi , S., Jovan i , P., Őaponji , Z.,and Nedeljkovi , J.M. 2008. Antibacterial effect of silver nanoparticles deposited on

corona-treated polyester and polyamide fabrics. *Polymers for Advanced Technologies*, 19: 1816–1821.

Rasmenh, K. and D.D. Reddy. 2014 Reddy Zeolites and Their Potential Uses in Agriculture.2014.Jornal Advances in Agronomy,Volume 113:23 pages.

Reháková, M., Cuvanová, S., Dziva'k, M., Rima' r,J and Gaval ova, Z. 2004. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. *Journal in Solid State and Materials Science*. Vol. 8 (2004) 397–404.

Rezende, N. G. A. M., and R. S Angelica. 1999. Sedimentary zeolites in Brazil. *Mineralogica et Petrographica Acta* 42: 71-82.

Rodríguez, A. R (2002). Alternativa de eficiencia y ecología. Grupo de Tecnologías Limpias GMTERRA LTDA (en línea).Consultado 25 enero, 2015. Disponible en http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/geologia/economica/ZEOLITA_GMTERRA.pdf.

Rydenheim, L. 2007.Effects of zeolites on the growth of cucumber and tomato seedlings. Bchelor project in the Horticultural Science programme –04, 10 p (15 ECTS).

SAS Institute Inc., JMP® 5 Administrator's Guide to Annually Licensed Windows and Macintosh Versions. Version 5. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2002.

Smart, Lesley E., and Moore, Elaine A. (2005). Solid state chemistry. An introduction (3 ed.): CRC Taylor and Francis.

Srilatha, B. 2011. Nanotechnology in Agriculture. J. of Nanomedic. Nanotechnol., 2:123. doi:10.4172/2157-7439.1000123.

Takahashi, H. W., P. C. Hidalgo, L. Fadelli, and M. E. T. Cunha. 2007. Nutrient solution control in order to decrease nitrate content in leaves of hydroponic lettuce. Horticultura Brasileira 25: 6- 9. (Portuguese).

The Geological Society of London (GSL) 2004. Rocks -Forming minerals. Vol 4:(2)., 493-951. Pp.

Tsuji, K. 2001. Microencapsulation of pesticides and their improved handling safety. Journal of Microencapsulation, 18: 137-147.

Tsuzuki, T. 2009. Int. J. of Nanotechnology, 6: 567-572

Van Os, E.A., 2000. New developments in recirculation systems and disinfection methods for greenhouse crops.In: Proceedings of the 15th Workshop on Agricultural Structures and ACESYS, Japan, December 4–5, 2000, Pp. 81–91.

Vattuone, M. E., Leal, P. R., Crosta, S., Berbeglia, Y. Gallegos, E. y Martínez, D. C. 2008. Paragénesis de zeolitas alcalinas en un afl oramiento de basaltos

olivínicos amigdaloides de Junín de Los Andes, Neuquén, Patagonia, Argentina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 25, núm. 3, 2008, p. 483-493.

Verdonck, O. 2004. The influence of the particle sizes on the physical properties of growing media. *Acta Horticulturae* 644:99-101.

Verheye, W., 2006. Land use, Land cover and Soil sciences. Vol. VII., Soils of arid and semi-arid areas, UNESCO.<http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C19/E1-05-07-16.pdf>. (Retrieved 10 Nov.2012).

Vunduk, J., Klaus. A., Kozarski, M., Dordevic, R. and Nisic, M. 2014. Zeolites as possible biofortifiers in maitake cultivation Belgrade, 66 (1), 123-129 *Institute for Food Technology and Biochemistry, University of Belgrade, Faculty of Agriculture*, 11080 Belgrade, Serbia.

Watanabe, Y., Yamada, H., Ikoma, T., Tanaka, Geoffrey, W and Komatsu, Y. 2013. Watanabe,a* Preparation of a zeolite NaP1/hydroxyapatite nanocomposite and study of its behavior as inorganic fertilizer Yujiro Research Article vol. 89: 963–968.

Yilmaz, E., Sönmez, I. and Demir H. 2014. Effects of Zeolite on Seedling Quality and Nutrient Contents of Cucumber Plant (*Cucumis sativus* L. cv. Mostar F1) Grown in Different Mixtures of Growing Media University, Agricultural Faculty, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Antalya, Turkey 2Akdeniz University, Agricultural.

Zhu, H., Han, J., Xiao J.Q.,and Jin, Y. 2008. Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. *Journal of Environmental Monitoring*, 10: 685–784.