

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISION DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



**Efectividad de la Mezcla de Substancias Húmicas de Leonardita y Zeolita en la
Calidad de Plántula de Tomate**

POR:

FRANCISCO EMMANUEL NIÑO GARCÍA

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRONOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila Mex.

Enero de 2011

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**DIVISION DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**Efectividad de la Mezcla de Substancias Húmicas de Leonardita y Zeolita en la
Calidad de Plántula de Tomate**

Por:

FRANCISCO EMMANUEL NIÑO GARCÍA

Tesis

**Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título de:**

INGENIERO AGRONOMO EN PRODUCCIÓN

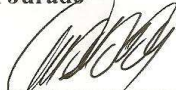
Aprobado Por:



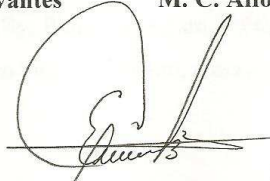
Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Presidente del Jurado




Dr. Rubén López Cervantes
Asesor



M. C. Alfonso Rojas Duarte
Asesor



Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía
Buenavista, Saltillo, Coahuila. Enero de 2011.

DEDICATORIA

Esta tesis representa un parteaguas entre una etapa muy enriquecedora y el camino que el tiempo obliga, ya que a lo largo de toda esta experiencia universitaria han intervenido muchas personas, para la realización de esta etapa que hoy culmina.

Agradezco a mis padres Francisco y Angélica por su valioso apoyo, en especial a mi madre por su confianza, en la realización de mis sueños, soy afortunado de contar siempre con su amor, comprensión y ejemplo. Esta tesis es dedicada especialmente para ellos y el resto de mi familia.

Al todo el personal de la Universidad que siempre me apoyo a lo largo de mis estudios, en especial al Ing. José Ángel de la Cruz Bretón, que aunque ya no esta con nosotros, seguro compartiría este momento de gran felicidad y placer conmigo.

A mis amigos, Zacil-ha, Roxana, Rosalinda, Elena, Gaudith, Sergio, Susana, por ser unos amigos increíbles y porque he compartido con ellos muchos momentos especiales los cuales grabe en mi corazón. Ustedes han hecho que este reto haya sido mas satisfactorio, gracias por ser parte de mi vida.

A Jesús, Hugo, Emilio, Martín y a todos los personajes que han dejado huella en mi vida. Ustedes han sido fuente de alegría, y muchos de ustedes fueron de gran apoyo en momentos difíciles.

A Stharina, Darinka. Kelly, Pimienta, Kyara y Africa, que con su explosión de energía, siempre detonan en mi un mejor momento, aun en circunstancias adversas.

¡A todos ellos gracias!

AGRADECIMIENTOS

A todos mis profesores de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, mi *Alma Mater*, por haberme guiado dentro de mi estancia en la institución.

Con todo respeto a los Doctores Alfonso Reyes López y Rubén López Cervantes; así como al Dr. Leobardo Bañuelos Herrera y al M. C. Alfonso Rojas Duarte, por haberme aceptado en su equipo de trabajo para la realización de esta investigación.

A Mario Alberto Flores Hernández, por toda su colaboración en el trabajo de campo de esta investigación; mil gracias.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**Efectividad de la Mezcla de Substancias Húmicas de Leonardita y Zeolita en la
Calidad de Plántula de Tomate**

Colaboradores

Mario Alberto Flores Hernández

M. C. Rubén López Salazar

**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.
Diciembre de 2010**

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE CUADROS.....	viii
RESUMEN.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	4
HIPÓTESIS.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Origen del Tomate.....	5
Las Substancias Húmicas.....	5
Los Ácidos Fulvicos.....	9
Efecto de los Ácidos Fulvicos en el Crecimiento Vegetal.....	10
La Zeolita.....	14
Características.....	15
Propiedades.....	15
Propiedades Químicas.....	15
Propiedades de Adsorción.....	16
Propiedad de Intercambio de cationes.....	16
Especificaciones.....	18
Coproductos y Subproductos.....	18
Regulaciones Ambientales.....	19
Ocurrencia.....	20
MATERIALES Y METODOS.....	25
Localización del Experimento.....	25
Metodología.....	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
CONCLUSIÓN.....	34
LITERATURA CITADA.....	35

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Longitud de vástago de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

Figura 2.- Longitud de raíz de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

Figura 3.- Peso fresco y peso seco de raíz de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

Figura 4.- Peso fresco y peso seco de vástago de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Análisis de varianza de la longitud de vástago de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

Cuadro 2.- Análisis de varianza de la longitud de raíz de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

Cuadro 3.- Análisis de varianza del peso fresco de raíz de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

Cuadro 4.- Análisis de varianza del peso seco de raíz de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

Cuadro 5.- Análisis de varianza del peso fresco de vástago de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

Cuadro 6.- Análisis de varianza del peso seco de vástago de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

RESUMEN

Para determinar la efectividad de sustancias húmicas de leonardita y zeolita en la calidad de plántula de tomate, zeolita fue dividida en tres tamaños de gránulos: $<280 \mu\text{m}$ de diámetro, $>280 \mu\text{m}$ y $<1 \text{ mm}$ de diámetro y de 2 mm de diámetro; además, fue empleada sola y cada diámetro mezclada con el 50 % de peat moss. En charolas de poliestireno de 200 cavidades, se colocaron los tratamientos y semillas de tomate del cultivar “Río grande”, se sembraron y se les adicionaron a los sustratos, 4 ml.litro^{-1} de agua de un ácido húmico de leonardita (AHL). Cuando la plántula, después de 10 días, presentó las hojas cotiledonales y 30 días después (un par de hojas verdaderas), se adicionaron por vía foliar 2 ml.litro^{-1} de agua de un ácido fúlvico de leonardita (AFL). Las variables medidas, después de 40 días fueron: longitud de raíz (LR) y vástago (LV), peso fresco (PFR) y seco (PSR) de raíz y peso fresco (PFV) y seco (PSV) de vástago. Se encontró que en la raíz, la mezcla de zeolita con diámetro más grande y el peat moss realizó el mayor efecto; mientras que en la mezcla de la zeolita con el diámetro más inferior y el peat moss, la efectividad superior fue en la parte aérea de la plántula. Se concluye que la zeolita de menor diámetro, mezclada con peat moss y ácidos húmicos, realizó el efecto positivo en la germinación, la longitud, el peso fresco y seco del vástago, de plántula de tomate.

INTRODUCCIÓN

El tomate, en México, es una de las hortalizas de mayor importancia para el desarrollo económico y social, por la superficie sembrada, el valor del producto y por la cantidad de divisas que genera, ya que es la hortaliza de mayor exportación, sobre todo al mercado de los Estados Unidos de Norteamérica (USA). El tomate está considerado como alimento básico dentro de la dieta de los mexicanos, ya sea para su consumo en fresco o procesado. Las tecnologías de producción, son muy variadas y en los últimos años ha tomado gran auge hacerlo bajo condiciones de invernadero, con el fin de obtener mayores rendimientos y productos de alta calidad y así estar en posibilidades de competir con el producto de otras partes del mundo como Canadá, Israel y Marruecos, entre otros.

En México, una de las técnicas más comunes para la producción de plántula de esta hortaliza, es en charolas germinadoras con el uso de sustratos orgánicos, los cuales son un recurso natural no renovable y con altos costos. Además, la producción de tomate depende en un alto porcentaje del tiempo de producción, condiciones fitosanitarias y la calidad nutritiva de la plántula a trasplantar, ya que desafortunadamente no se tiene un control adecuado de los medios de cultivo usados. Además, los compost, desde tiempos inmemorables, son usados como sustratos para producir plántulas y también como fuente de nutrimentos.

Es conocido que con los fertilizantes químicos se soluciona el problema de la nutrición de cultivos, sin embargo, por su poder residual salinizan los suelos agrícolas ubicados en las regiones semiáridas, es por ello que se hace necesaria la búsqueda de metodologías ecológica y económicamente factibles. Una práctica común que los agricultores realizan

desde tiempos inmemorables, es la adición de residuos tanto de origen vegetal como animal sin descomponer y humificados como son las compostas.

La composición fundamental de las compostas es el humus, el cual está constituido por sustancias húmicas (SH), las que se clasifican en ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR), de acuerdo a su solubilidad en ácidos o álcalis y son definidas como una mezcla heterogénea de macromoléculas orgánicas, con estructura química muy compleja, distinta y más estable que su forma original y provienen de la degradación de residuos de plantas y animales, gracias a la actividad enzimática de los microorganismos (Schnitzer, 2000) y por metamorfismo de residuos orgánicos, sepultados por arcillas después de millones de años en deltas de ríos, es decir generación de minerales fósiles (Escobar, 2002, comunicación personal).

Los AF y los AH pueden complejar y/o quelatar cationes, debido a su alto contenido de grupos funcionales libres oxigenados. En los primeros dominan los grupos funcionales carboxilos (-COOH) y para los segundos, los grupos oxhidrilos fenólicos (OH), porque más del 80 por ciento de la estructura molecular de dichos ácidos, está formada por los grupos funcionales mencionados (Schnitzer, 2000). Algo similar a lo anterior encontró López (2002), al analizar compuestos húmicos extraídos de compostas elaboradas con estiércol de bovino y residuos de cocina.

La zeolita es un mineral, cuya formación fue la acumulación de cenizas volcánicas en lagos y/o lagunas con aguas altamente carbonatadas, lo que produjo que el mineral posea características fundamentales deseables para su uso en la agricultura. Por sus características físico- químicas, tiene alta capacidad de intercambiar cationes, baja densidad aparente y aporte de calcio (Ca) a las plantas. Además, resulta una alternativa muy atractiva, por su contribución en la reducción de las pérdidas de nitrógeno en más de un 30 por ciento;

produce la disminución de los niveles de fertilizantes nitrogenados, sin afectar los rendimientos y la calidad de los cultivos, así como la reducción de la contaminación ambiental (John *et al.* 2006).

OBJETIVO

Determinar la efectividad de sustancias húmicas de leonardita y zeolita en la calidad de plántula de tomate.

HIPÓTESIS

Al menos una mezcla de sustancias húmicas de leonardita y zeolita, tiene efecto positivo en la calidad de plántula de tomate.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen del Tomate

El centro de origen del tomate (*Lycopersicum esculentum*), se encuentra en la región andina que encierra a los países de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile, por lo que dentro de esta área prosperan diversas especies de este género (Neri, 1999). Ya en el Siglo XVI, en México, se consumía tomate de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos, pero por entonces ya habían sido traídos a España y servían como alimento en España e Italia. En otros países europeos solo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania hasta comienzos del siglo XIX.

Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, de allí a otros países asiáticos. De Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá. Actualmente esta hortaliza, crece en todas las áreas tropicales y subtropicales del mundo y su ancestral mas directo es el "tomate cereza" de frutos pequeños y rojos, denominado botánicamente *Lycopersicon esculentum* var. Cerasiforme (INFOAGRO, 2003).

Las Substancias Húmicas

De acuerdo con la Sociedad Internacional de Substancias Húmicas (IHSS) (2005), las substancias húmicas (SH), son macromoléculas orgánicas muy heterogéneas, de alto peso molecular, diferentes y más estables que los compuestos de donde provienen,

constituyen al humus e incluyen los ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR).

Continúan al decir que, en el mundo hay dos corrientes de estudio de acuerdo a su origen: la primera es en Estados Unidos de América, ya que los AH y AF empleados para su estudio, son extraídos de minas de carbón y provienen de minerales fósiles tales como la leonardita, turbas y lignitos, inclusive ya desde fines de la segunda guerra mundial, los productores de los Estados de California, Texas, Atlanta y Pensilvania, molían estos minerales y el polvo lo aplicaron como fertilizantes a cereales y pastos con excelentes resultados. La segunda corriente se ha desarrollado en Rusia, Francia, Alemania, Italia y Canadá, desde inicios del siglo anterior, donde han estudiado con amplitud el proceso de humificación en suelos de bosque, es decir, el papel de la materia orgánica ya transformada en humus en la génesis de los suelos. Esto ha generado que una gran cantidad de investigadores hayan establecido lo conocido hasta ahora, en cuanto a las características y el modo de acción de las moléculas de las sustancias en los suelos agrícolas y en la fisiología y nutrición vegetal.

Además, en México, sobre todo en el Norte, el uso de ácidos húmicos en la agricultura con fines de fertilización, inicia a fines de los años 80's, ya que empresas dedicadas a la venta de productos agroquímicos expenden los compuestos mencionados, aunque todos estos productos orgánicos provienen de los minerales fósiles, los cuales se importan de Estados Unidos (California, Pensilvania y Atlanta), Europa (Alemania, Italia y España) y el Medio Oriente (Israel). Lo anterior provoca altos precios de estos productos.

En toda materia orgánica se deben presentar los procesos de mineralización (transformación de compuestos orgánicos en inorgánicos) y humificación (síntesis y/o unión química y/o biológica de compuestos de degradación de residuos de origen vegetal y

animal), para transformarse en humus, pero, éstos en condiciones naturales son lentos, de varios meses a decenas de años, en función del tipo de materia orgánica y los factores del medio ambiente. Para acelerar la humificación, en un “reactor” se mezclaron estiércol de bovino y de caprino con residuos orgánicos de cocina y agua y en 60 días, se obtuvieron aceptables cantidades de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos con la adecuación de una metodología, cuya eficiencia consiste en usar una solución acuosa de hidróxido de sodio (López *et al.* 2006).

La gran mayoría de los investigadores de las sustancias húmicas, concuerdan en que gracias a los grupos funcionales de éstas, se debe su actuación en las propiedades físicas y químicas del suelo, así como en las funciones fisiológicas de las plantas y en la nutrición vegetal. Se cree que las sustancias húmicas intervienen directamente en una gran cantidad de procesos fisiológicos involucrados con el crecimiento de las plantas e indirectamente en la nutrición vegetal en forma similar a los intercambiadores de iones sintéticos (agentes quelatantes), sin embargo, este mecanismo no está bien dilucidado.

La descomposición de la materia orgánica depende de su naturaleza física y química, ya que los microorganismos, por hidrólisis enzimática, usan a las proteínas como suministro de nitrógeno, a los carbohidratos de carbón y energía (Del’Agnola y Ferrari, 1971) y para la formación de humus, a la celulosa y la lignina (Bidwell, 1979).

La descomposición de la materia orgánica sucede en dos fases: la mineralización y la humificación.

La mineralización es la formación de compuestos, en general soluble (nitratos, fosfatos, etc.) o gaseosos (CO₂), por la acción de los microorganismos (Chen y Schnitzer, 1976) y la humificación, consiste en la síntesis química y/o biológica de compuestos de la degradación

de residuos de plantas y animales por la actividad enzimática de los microorganismos (Christensen, 1986).

Schnitzer (1978), divide a la materia orgánica del suelo, en dos grupos: sustancias no húmicas (SNH) y húmicas (SH).

Las SNH son carbohidratos, proteínas, grasas, ceras, resinas, pigmentos y compuestos de bajo peso molecular, llamados ácidos orgánicos (Aleksandrova, 1994; Schnitzer y Schulten, 1995; Yano *et al*, 1998). La celulosa y la lignina, son los principales compuestos “precursores” de las SH (Schnitzer, 2000).

Las SH son los ácidos húmicos (AH), los ácidos fúlvicos (AF) y las huminas residuales (HR) y se definen como una mezcla heterogénea de macromoléculas orgánicas, con estructura química compleja, distinta y más estable que su forma original; provienen de la descomposición de residuos de plantas y animales, así como de la actividad de síntesis de microorganismos (Schnitzer, 1978 y Stevenson, 1982).

Los AH y los AF, son macromoléculas aromáticas complejas, muy estables, con estructura polimérica en forma de círculos, cadenas y racimos (Schnitzer y Schulten, 1995), y ciclos aromáticos condensados, con aminoácidos, amino-azúcares, péptidos y compuestos alifáticos (Schnitzer, 2000).

Las formas fósiles del humus son tres: el lignito, las turbas y la leonardita.

El lignito es un material muy meteorizado y oxidado por lo que tiene características próximas a la leonardita, materia prima muy utilizada por distintas empresas para la obtención de sustancias húmicas. Su contenido en Carbono orgánico es alto, con un contenido alto en cenizas, sin embargo, el residuo insoluble en ácidos, medido de la parte inerte, normalmente, silicatos, de estos, las cenizas pueden considerarse bajas en relación con los otros minerales (Gutiérrez, 2001).

Las turbas son minerales sometidos a un largo proceso de humificación por lo que poseen normalmente un elevado contenido en humus estable, mientras que los intensos lavados a los que por lo general han sido sometidos sean bajos en ácidos fúlvicos. Contienen N en forma similar al lignito, una cantidad de K nada despreciable, y su riqueza en Fe es de 1.95 por ciento (Franco y Bañon, 1997). También, comentan que la leonardita es la forma más oxidada del carbón de lignito. Este material es caracterizado por su contenido alto en oxígeno, lo cual es atribuido a la presencia de un gran número de grupos carboxílicos. Esto incrementa la solubilidad en álcalis.

Los Ácidos Fúlvicos

Los primeros conocimientos sobre el ácido crénico ($C_{24}H_{24}O_{16}$) y apocrénico ($C_{24}H_{12}O_{12}$) –o AF— se deben a las investigaciones realizadas en la primera mitad del siglo XIX por el científico sueco Berzelius. El ácido crénico tiene un color amarillo claro y cuando se oxida en el aire, forma una coloración pardo oscura transformándose en una sustancia poco soluble – parecida al ácido húmico- clasificada como ácido apocrénico. Los estudios realizados por los suecos Berzelius y Mulder y por el ruso Guerman, comprobaron que los ácidos crénicos y aprocrénicos contienen menos carbono (44-49%) y más oxígeno que los AH. Estos ácidos destruyen rápidamente la fase mineral del suelo, y en particular, los minerales de silicato (Cepeda, 1991).

Los AF tienen la capacidad de intercambio catiónico de hasta 700 meq.100 g de sustancia. Estos, por su composición química son similares a los AH y contienen grupos carboxilos, metoxilos e hidrófilos fenólicos, los cuales determinan la reacción de intercambio iónico. Al igual que los AH, los AF contienen nitrógeno y al ser hidrolizados con el ácido

clorhídrico 6.0 N, casi del 20 al 30 por ciento del nitrógeno total pasa a la solución del suelo en forma de aminoácido; además, aminoazúcares y, posiblemente, sustancias reductoras en mayor cantidad que los AH (Cepeda, 1991). Adani *et al.* (1998), postulan que los grupos carboxilos y los hidroxilos fenólicos y alcohólicos de los AF, son los responsables para la influencia de estos ácidos en la raíz, como un resultado de su actividad quelatante con el hierro.

La caracterización de la raíz de ciertas hortalizas considerando los métodos tradicionales (decímetro cuadrado, conteo por estereoscopio) generalmente no es suficiente para describir y cuantificar el patrón arquitectural de la raíz en respuesta al sistema de riego aplicado (goteo-cintilla 0,18 y 25 cm de profundidad), por lo que se propone una metodología de aproximación basado en la obtención de imágenes de raíz a través del perfil, con la finalidad de cuantificar su área superficial y tamaño, lo anterior se puede realizar a partir del análisis de imagen, técnica que cuenta ya con un importante desarrollo para el estudio de porosidad del suelo (Hallaire, 1997; Hallaire *et al.* 1997, González, 2002; González *et al.* 2004), dendrología (Bernal, 2004) y distribución de raíz en plantas hortícolas y frutales. Esta técnica permite caracterizar la organización y distribución espacial de la raíz a partir de dos criterios morfológicos, tamaño y forma y sus variaciones en el perfil.

Efecto de los Ácidos Fúlvicos en el Crecimiento Vegetal

Como efectos indirectos las SH intervienen en la disponibilidad de iones y traslocación dentro de las plantas (Adani *et al.* 1998).

Los AH estimularon la longitud de raíces en un 54% y la parte aérea en 146%, pero, el contraste más marcado, fue la longitud de la parte aérea, de plantas de tomate, tratadas con AF, porque fue superior en 170%, mientras que las raíces, solo aumentaron un 10%.

No obstante las respuestas de la planta, depende de la concentración de ácidos fúlvicos (AF), de la especie vegetal y de la fuente de estos ácidos (Kononova, 1961).

Adani *et al.* (1998), postulan que los grupos carboxilos y los hidroxilos fenólicos y alcohólicos de los AF son los responsables para la influencia de estos ácidos en la raíz de los hipocotilos, como un resultado de su actividad quelatante con el hierro. Los compuestos de bajo peso molecular (ácidos fúlvicos) intervienen en la solución de iones metálicos e influyen en el transporte hacia las raíces de las plantas. En contraste, compuestos de alto peso molecular (ácidos húmicos), funcionan como una “piel” para los cationes polivalentes (Stevenson, 1982).

A pesar de lo comentado no hay evidencia de que las SH intervengan en la disponibilidad de iones y su traslocación dentro de la planta (Kuitert y Mulder, 1993), es decir, que actúen como suplidores y reguladores de la nutrición vegetal en forma similar a los intercambiadores sintéticos de iones (agentes quelatantes) (Orlov, 1995; Pettit, 2004).

Un ejemplo muy claro del efecto de sustancias húmicas en el crecimiento de diferentes órganos en plantas intactas, fue presentado por Rauthan y Schnitzer (1981) para el accionar de los ácidos fúlvicos en el crecimiento de pepinos, en este caso, los ácidos fúlvicos a concentraciones de 100 mg L⁻¹ de agua, incrementaron la longitud de raíz en 31 % , el peso del tallo en 81 %, el peso de la planta en 130 %, el número de hojas y flores por planta fue de 40 y 145 %, respectivamente, con respecto a plantas donde se adicionaron mucho más altas concentraciones de las mencionadas sustancias. En adición al incremento en longitud y peso fresco y seco, las sustancias húmicas pueden ejercer un efecto favorable en el

desarrollo de raíces adventicias, en soluciones nutritivas (Vaughan y Malcolm, 1985). En raíces de tomate producidas en solución nutritiva, los ácidos húmicos fueron más efectivos que los ácidos fúlvicos en el aumento del crecimiento (Schnitzer (1991), sin embargo, podría parecer que estas dos fracciones húmicas influyen diferentes aspectos del crecimiento y solo los ácidos húmicos aumentan la elongación celular, mientras que los ácidos fúlvicos producen efectos opuestos.

Schnitzer y Poapst (1967), demostraron que los ácidos fúlvicos estimulan la iniciación de la raíz en hipocotilos del frijol (*Phaseolus vulgaris*), ya que la concentración óptima de los ácidos fúlvicos requeridos en los hipocotilos (3000-6000 mg L⁻¹), es más grande que los 25 mg L⁻¹ reportados por Linehan (1976) para raíces de tomate. Los grupos funcionales carboxílicos, están involucrados en la iniciación de la raíz en plántula de tomate, porque el ácido polimaléico e indolacético son similares al ácido policarboxílico de los ácidos fúlvicos, lo cual produce una respuesta similar de la plántula (Orlov, 1995). Estos mismos científicos, postularon que los grupos carboxílicos y oxhidrilos fenólicos y alcohólicos de los ácidos fúlvicos, son los responsables de la influencia en la raíz de los hipocotilos como un resultado de su actividad quelatante.

Se cree que los ácidos húmicos y fúlvicos, pueden complejar y/o quelatar los cationes y colocarlos disponibles para la raíz de la planta, pero a pesar de esto, el o los mecanismos mediante el cual sucede lo anterior, no está bien establecido. Para ello, Schnitzer (1991) y Orlov (1995), propusieron que los grupos carboxilos e hidroxilos fenólicos y alcohólicos de los ácidos húmicos y fúlvicos son los responsables de lo anterior, ya que más del 80 % de la estructura molecular de los ácidos está formada por los grupos funcionales mencionados. Los cationes son complejados en diferentes extensiones por los ácidos húmicos, por ejemplo, los elementos metálicos son más rápidamente adsorbidos que los alcalino térreos,

ya que podrían complejar hierro y zinc más rápido que el sodio (Stevenson, 1982; Orlov, 1995), por lo que al adicionar ácidos fúlvicos el hierro es más abundante en tejido vegetal de follaje de tomate (Cuevas, 2001) y el calcio en melón (Serna, 2001).

Sin embargo, la complejación y/o quelatación de elementos por los grupos funcionales de las sustancias húmicas, podría no ser explicados con el incremento en la disponibilidad de iones, sino que otros mecanismos podrían estar implicados y es necesario tenerlos en cuenta, como el de oxidación-reducción (De Silva *et al.*, 1993; Shenker *et al.*, 1995; Adani *et al.*, 1998), por ejemplo, Römheld y Marshner (1995), propusieron la idea de que la reducción de Fe^{2+} quelatado por un compuesto sintético se realiza en el plasmalema cortical de la células de la raíz, lo anterior es importante porque muchos reportes revelan que los ácidos húmicos y fúlvicos estimulan el crecimiento vegetal en términos de longitud y peso fresco y seco, pero está en función de las fuentes de las sustancias húmicas y de las condiciones del cultivo.

Además, una gran discrepancia existe por entender si las moléculas completas de las sustancias húmicas son directamente tomadas por las plantas o si son alteradas, este mecanismo no se conoce aún, sin embargo, las evidencias disponibles sugieren que las sustancias húmicas son adsorbidas en la superficie de la raíz o acumuladas en el “espacio libre aparente” de las células de la raíz (Vaughan y Ord, 1981), pero, según Marschner (1995), las sustancias húmicas no pueden ser absorbidas por las raíces como tales, debido a su gran peso molecular, más bien los grupos funcionales son alojados en las partes mencionadas de la células de la raíz.

La Zeolita

Breck (1974), realizó un exhaustivo estudio y menciona que las zeolitas, son una familia de minerales aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos, que al deshidratarse desarrollan, en el cristal ideal, una estructura porosa con diámetros de poro mínimos de 3 a 10 ángstrom.

También se dice, que una zeolita es un mineral aluminosilicato cuya estructura forma cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento que permiten el cambio iónico y la deshidratación reversible.

Las zeolitas están compuestas por aluminio, silicio, sodio, hidrógeno, y oxígeno. La estructura cristalina está basada en las tres direcciones de la red con SiO_4 en forma tetraédrica con sus cuatro oxígenos compartidos con los tetraedros adyacentes. Las propiedades físicas proveen aspectos únicos para una variedad amplia de aplicaciones prácticas.

Además, son caracterizadas por las siguientes propiedades:

- Alto grado de hidratación.
- Baja densidad y un gran volumen de vacíos cuando es deshidratado.
- La estabilidad de su estructura cristalina cuando se deshidrata.
- Las propiedades de intercambio del catión.
- Presenta canales moleculares uniformes clasificados en los cristales deshidratados.
- Por su habilidad de absorber gases y vapores.
- Por sus propiedades catalíticas.

Todas las zeolitas son consideradas como tamices moleculares, que son materiales que pueden absorber selectivamente moléculas en base a su tamaño, pero no todos los tamices moleculares son considerados como zeolitas, ya que también el carbón activado, las arcillas activadas, la alúmina en polvo, y la sílice en gel se consideran como tamices moleculares.

Características

Propiedades Físicas

Las propiedades físicas de una zeolita deben de considerarse de dos formas: (a) primero una descripción mineralógica de la zeolita desde el punto de vista de sus propiedades naturales, incluyendo la morfología, hábitos del cristal, gravedad específica, densidad, color, tamaño del cristal o grano, el grado de cristalización, resistencia a la corrosión y abrasión. (b) el segundo desde el punto de vista de su desempeño físico como un producto para cualquier aplicación específica, tomando en cuenta las características de brillantes, color, viscosidad de Broockfield, viscosidad de Hércules, área superficial, tamaño de partícula, dureza, resistencia al desgaste.

La caracterización de cualquier zeolita siempre incluye la descripción básica de sus características mineralógicas y una evaluación al cambio con el efecto con la humedad las cuales son consideradas para las aplicaciones comerciales específicas.

Propiedades Químicas

Las aplicaciones de las zeolitas naturales hacen uso de uno o más de sus propiedades químicas, que generalmente incluye el intercambio de iones, adsorción o deshidratación y rehidratación. Estas propiedades están en función de la estructura del cristal de cada especie, y su estructura y composición catiónica. Las características son:

Propiedades de Adsorción

Las zeolitas cristalinas son los únicos minerales adsorbentes. Los grandes canales centrales de entrada y las cavidades de las zeolitas se llenan de moléculas de agua que forman las esferas de hidratación alrededor de dos cationes cambiabiles. Si el agua es eliminada y las moléculas tienen diámetros seccionales suficientemente pequeños para que estas pasen a través de los canales de entrada entonces son fácilmente adsorbidos en los canales deshidratados y cavidades centrales. Las moléculas demasiado grande no pasan dentro de las cavidades centrales y se excluyen dando origen a la propiedad de tamiz molecular una propiedad de las zeolitas.

Propiedad de Intercambio de Cationes

Por procedimientos clásicos de intercambio catiónico de una zeolita se puede describir como la sustitución de los iones sodio de las zeolitas faujasitas por cationes de otros tamaños y otra carga. Esta es una de las características esenciales de las zeolitas. En efecto, así se consigue modificar considerablemente las propiedades y ajustar la zeolita a los usos más diversos. El intercambio catiónico se puede efectuar de varios modos:

- Intercambio en contacto con una solución salina acuosa (intercambio hidrotérmico) o con un solvente no acuoso;
- Intercambio en contacto con una sal fundida. Por ejemplo, una zeolita A, originalmente con calcio, se pone en contacto con nitratos de litio, potasio o rubidio fundidos hacia 350° C;
- Intercambio en contacto con un compuesto gaseoso. Por ejemplo, una zeolita faujasita y, originalmente en su forma de sodio, se pone en contacto con HCl anhidro o NH₃, hacia 250° C.

El intercambio de iones en una zeolita depende de:

- La naturaleza de las especies catiónicas, o sea, del catión, de su carga, etc.
- La temperatura.
- La concentración de las especies catiónicas en solución.
- Las especies aniónicas asociadas al catión en solución.
- El solvente (la mayor parte de los intercambios se lleva a cabo en solución acuosa, aunque también algo se hace con solventes orgánicos) y,
- Las características estructurales de la zeolita en particular.

Deshidratación –Rehidratación, basado en el comportamiento de deshidratación. Las zeolitas pueden ser clasificadas como:

- a) Aquellas que muestran cambios estructurales no mayores durante la deshidratación y exhiben continúa pérdida de peso como una función de la temperatura.
- b) Aquellos que sufren mayores cambios estructurales, incluyendo colapsos (derrumbes) durante la deshidratación, y exhiben discontinuidades en la pérdida de peso.

Un ejemplo típico del primer tipo son las zeolitas naturales como: la clinoptilolita, la mordenita, la erionita, la chabazita y zeolitos sintéticos como lo son los zeolitos A y X los cuales son termalmente estables de 700 a 800° C la deshidratación zeolitas. El comportamiento en la deshidratación de las zeolitas en el segundo tipo es semejante a aquel que exhibe pérdida reversible de agua a bajas temperaturas, pero un mayor cambio estructural a una elevada temperatura, y los materiales pierden su carácter zeolítico.

Especificaciones

Las especificaciones dependen de los usos de los productos de la zeolita y varía ampliamente debido a la gran gama de productos de zeolita natural y variedad en el

mercado. La sociedad americana para materiales y pruebas (ASTM) ha establecido métodos, pruebas y especificaciones estándares para la zeolita en los E.U.

Las especificaciones y pruebas en Europa y en Japón se hacen conjuntamente por las compañías productoras. Los productores de zeolita dividen de dos maneras las especificaciones: la venta del mineral en base a especificaciones negociadas con el comprador, o la venta del mineral en base a una línea de productos, donde cada producto de zeolita tienen una designación de nombre o número con especificaciones físicas y/o químicas. Los productos de la zeolita se venden usualmente con un nombre comercial en lugar de una variedad de mineral. Por ejemplo, la clinoptilonita.

Coproductos y Subproductos

Los depósitos que contienen dos o más zeolitas pueden generar varios productos o mezclas de los minerales de zeolita presente. Por ejemplo, los productos de zeolita desde las minas de Itaya en Japón, fuente de clinoptilonita y mordenita, incluye productos de mordenita, clinoptilonita y una mezcla entre los dos minerales de mordenita-clinoptilonita dependiendo de la selectividad del minado y del proceso de beneficio. El minado de zeolitas puede generar bentonita como un subproducto o coproducto. En la operación de producción de mineral en Oregon, ambos minerales son minados desde fosos cercanos y procesados en la misma planta moledora.

Regulaciones Ambientales

Las regulaciones ambientales varían entre los estados y condados y esto puede ser una fuente de conflicto entre los inspectores del gobierno y los operadores encargados del

minado. Las zeolitas naturales son relativamente inocuas y no presentan problemas ambientales particulares, con tres excepciones:

- Varios minerales de zeolita tienen formas fibrosas y pueden comportarse como materiales de asbesto.
- Los cristales de silicio fino se generan usualmente en depósitos de zeolita y los productos finos pueden ser respirados (0.1%).
- El minado de la zeolita y las plantas procesadoras secas tienden a generar polvos, ocasionando problemas en la calidad del aire.

El polvo generado en la planta y el minado pueden considerarse como un contaminante ambiental local. La mayoría de las zeolitas contienen sílice en forma de sílice amorfa o cristalino. Las plantas procesadoras, pueden por lo tanto requerir de un sistema eficiente para controlar la contaminación del aire, que van desde la norma Benhouse, en donde se utilizan colectores de polvo a precipitadores electrolíticos para minimizar la exposición de los trabajadores con estos polvos en el almacén del mineral o en los molinos y para cumplir con los requerimientos locales de control de calidad del aire. La mayoría de las zeolitas se producen usando métodos de procesamientos secos. El procesamiento de las zeolitas se inclina inevitablemente hacia procesos de lavados con agua y métodos húmedos de clasificación, requiriendo para esto un estanque de desperdicio o presa de jales y una manipulación apropiada de la planta.

Los minerales de zeolita son considerados generalmente por ser químicamente inertes, y la mayoría no son fibrosas. La erionita se establece como un mineral fibroso, mineral a circular y puede ser marcada como un posible cancerígeno en base a los estudios médicos, la modestia es también un mineral fibroso pero no es remarcado como un cancerígeno potencial.

Ocurrencia

Los minerales de zeolita ocurren en una variedad de mares geológicos y pueden formarse de una variedad de material saliente, bajo extensos rangos de condiciones físico-químicas. Esto ocurre en rocas depositadas en diversos marcos geológicas y etapas.

Los vidrios volcánicos de composición ácido intermedio, son los materiales más comunes para la formación de minerales de zeolitas. Otra minerales comunes incluyen las arcillas montmorilloníticas, arcillas cristalinas y materiales amorfos, finalmente el cuarzo cristalino, feldespato, y materiales precursores de zeolitas. Casi todos los depósitos minables de zeolitas en el mundo ocurren como alteraciones vítricas de rocas volcánicas.

La formación partículas de un mineral de zeolita depende de la interpelación de los factores físicos y químicos. La presión, la temperatura y el tiempo son las tres consideraciones físicas que fuertemente afectan la lateración zeolítica.

Muchas zeolitas en rocas sedimentarias son formadas por cenizas volcánicas o otros materiales piroclásticos por reacciones de amorfos con otros originados por la

alteración de feldespatos preexistentes, feldespatoides, silicabiogénica, o minerales de arcilla pobremente cristalizados.

Las zeolitas son rocas sedimentarias son formadas probablemente por medio de reacciones de disolución - precipitación. Basándose en el marco geológico de las zeolitas, mineralogía y génesis, las depositas de zeolitas han sido clasificados en los siguientes tipos:

- 1) Sistema cerrados.- Depósitos formados por materiales volcánicos en sistemas hidrológicamente cerrados, sistemas salinos- alcalinos.
- 2) Sistemas abiertos.- Son depósitos formados en sistemas hidrológicamente abiertos. Lagos de agua dulce.
- 3) Metamórficos boreales.- Depósitos formados por bajo grado de metamorfismo boreal.
- 4) Hidrotermales.- Depósitos formados por sistemas hidrotermales o por la actividad de brotes calientes.
- 5) Marítimas profundos.- Depósitos formados por un medio marítimo profundo.
- 6) Zonas erosionadas por la intemperie.- Depósitos formados en tierras, más comúnmente de materiales volcánicos.

Los depósitos de sistemas abiertos y cerrados son de mayor interés comercial.

Para John *et al.* (2000), la zeolita mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo, gracias a un efecto de agregación de sus partículas y al aporte de micronutrientes naturales; incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo; aumenta la retención de fertilizantes y humedad del suelo, lo que permite reducir los volúmenes de dichos materiales y el estrés del cultivo en la época seca; incrementa los niveles en el suelo de fósforo, calcio, potasio y magnesio entre otros, más allá de lo que él mismo aporta, al evitar problemas de fijación y optimiza las concentraciones de los mismos en el suelo y en los fertilizantes adicionados al suelo; tiene un efecto neutralizador del pH, reduce la acidez del suelo y los excesos de hierro y aluminio; aumenta la tolerancia natural de las plantas a plagas y enfermedades, al permitir una nutrición completa y equilibrada, que mantiene al cultivo en estado de proteosíntesis; su efecto de liberación lenta y continua, hace que el producto trabaje por un largo periodo de tiempo, sin pérdidas por lavado y con un aprovechamiento de hasta un 96 por ciento; incrementa el contenido nutritivo de los

alimentos, tanto de origen animal como vegetal; aumenta el periodo de vida útil de los alimentos y plantas después de la cosecha, factor de mucha importancia, sobre todo en los productos perecederos, como hortalizas, plantas de follaje y flores de corta.

Continúan al establecer que la zeolita, constituye un recurso importante de gran aplicación en la agricultura, resulta una alternativa muy atractiva, por su contribución en la reducción de las pérdidas de nitrógeno en más de un 30 por ciento la disminución de los niveles de fertilizantes, sin afectar los rendimientos y la calidad de los cultivos, así como la reducción de la contaminación ambiental. Por tal motivo, estos investigadores, realizaron estudios durante tres campañas en la Estación Experimental “La Renée” donde se evaluó el efecto de la aplicación de urea mezclada con zeolita al 15, 20 y 30 por ciento, respectivamente, de la dosis óptima del fertilizante nitrogenado que se le aplica a los cultivos de papa y tomate. Para evaluar mediante la técnica isotópica la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, debido al empleo de la urea combinada con zeolita como fuente de nutrientes, se realizaron dos experimentos en condiciones controladas, empleando como cultivo de referencia el sorgo, variedad Isiap Dorado, los tratamientos estudiados fueron: Urea-¹⁵N +Zeolita (mezclada); Urea-¹⁵N; Zeolita natural y un control. Se utilizó Urea (3.41% ¹⁵N) para la determinación de la eficiencia relativa y el porcentaje de utilización. Los resultados obtenidos demostraron que la Urea mezclada con Zeolita al 15 por ciento permitió sustituir el 15 por ciento de la fertilización nitrogenada para los cultivos en estudio, incrementando significativamente los rendimientos en los mismos. El método isotópico corroboró los resultados obtenidos por métodos convencionales donde la combinación de Urea + Zeolita favoreció la acumulación del nitrógeno por la planta en un 26 por ciento. La Urea mezclada con Zeolita, en los cultivos de papa y tomate, reducen las pérdidas de N-NH₃ y disminuye la contaminación del suelo, al aplicar niveles de fertilizantes más bajos.

El fenómeno de la degradación afecta considerables superficies de tierras a nivel mundial. En la actualidad, se realizan diversos esfuerzos con el fin de recuperar su productividad y fertilidad con el empleo de tecnologías que faciliten la asimilación de algunos nutrientes y disminuyan los signos de degradación presentes. En tal sentido, los materiales orgánicos favorecen las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, debido a que aportan sustancias húmicas y nutrientes, además de influir en la estructura y porosidad, entre otros indicadores edáficos. Por otro parte, en Cuba existen un grupo de materiales minerales como la zeolita, la bentonita y las rocas fosfóricas con capacidad de mejorar la eficiencia de los fertilizantes cuando se mezclan con fuentes orgánicas. En el presente trabajo se evaluó la factibilidad de la bentonita, zeolita y rocas fosfóricas mezclado con diferentes materiales orgánicos para su aplicación en suelos potencialmente degradados. En dicho estudio se realizó un análisis de las características químicas y físicas de la cachaza, el compost y el humus de lombriz, así como de los materiales minerales empleados en la formulación de los nuevos fertilizantes, elaborándose siete productos, los que tuvieron un efecto mejorador en las propiedades de los suelos. Estos productos también posibilitaron la reducción de las dosis de fertilizantes minerales, siendo los mismos de alta eficiencia en la protección del Medio Ambiente (John *et al.* 2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Experimento

El trabajo se realizó en un invernadero dedicado a la investigación del Departamento de Ciencias del Suelo, del *Campus* principal de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), ubicada en la Ex – Hacienda de Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, la cual se encuentra a los 25° 23’ de latitud norte, los 101° 02’ de longitud oeste y una altitud de 1742 msnm.

Metodología

Zeolita colectada en el Estado de Puebla y proporcionada por la Dra. María de Lourdes Díaz Jiménez, del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Saltillo (CINVESTAV), fue dividida de forma mecánica, por medio de tamices, en tres tamaños de gránulos: menores de 280 μm de diámetro, mayor de 280 μm y menor de 1 mm de diámetro y de 2 mm de diámetro. En charolas de poliestireno de 200 cavidades, se colocaron los tratamientos siguientes: en una charola, 100 cavidades con solo zeolita menor de 280 μm de diámetro (< 280) y las otras 100, con una mezcla del 50 por ciento de zeolita con diámetro menor de 280 μm y 50 por ciento de peat moss (< 280 +PM); otra charola con 100 cavidades de solo zeolita de diámetro mayor de 280 μm y menor de 1 mm (>280 y $<1\text{mm}$) y las otras 100 cavidades con la mezcla de 50 por ciento de la zeolita de este diámetro y el 50 por ciento de peat moss (>280 y $<1\text{mm}$ + PM); la tercera charola, fue en circunstancias similares, solo que empleando la zeolita de 2 mm de diámetro.

Semillas de tomate del cultivar “Río grande”, de hábito indeterminado, se sembró, e inmediatamente después, se adicionaron 4 ml.litro⁻¹ de agua de un ácido húmico de leonardita, en los sustratos. Después de 10 días que la plántula presentó las hojas cotiledonales, se adicionaron por vía foliar 2 ml.litro⁻¹ de agua de un ácido fúlvico de leonardita. Después de 30 días, se efectuó una segunda aplicación de este mismo producto y cantidad; cuando la plántula contenía un par de hojas verdaderas.

Las variables medidas, después de 40 días fueron: longitud de raíz (LR) y vástago (LV), peso fresco (PFR) y seco (PSR) de raíz y peso fresco (PFV) y seco (PSV) de vástago. El

experimento se realizó de acuerdo a un Diseño Experimental Completamente al Azar, con 10 repeticiones. El análisis estadístico consistió en el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de medias con Tukey ($p \leq 0.05$), para lo cual se empleó el paquete para computador MINITAB, versión 15 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tratamientos realizaron efecto altamente significativo en la longitud de vástago de la plántula (Cuadro 1). Aquí, se puede observar que cuando se produjo la plántula en la zeolita de diámetro menor a un milímetro ($ZE < 1$), el valor fue similar a cuando se produjo en la zeolita con diámetro mayor a 0.280 milímetros de diámetro, mezclada con peat moss. El superior valor de esta variable, se presentó al adicionar la zeolita con diámetro menor a un

milímetro mezclada con peat moss (ZE<1+PM). Los valores más inferiores de esta variable, fueron donde se desarrolló la plántula en la zeolita con diámetro menor a un milímetro y mayor a 0.280 milímetros de diámetro (ZE<1>280) y en la zeolita con diámetro mayor a 0.280 milímetros de diámetro (ZE>280) (Figura 1).

Cuadro 1.- Análisis de varianza de la longitud de vástago de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

Fuente	Gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	22.7488	4.5498	14.11	0.000 **
Repeticiones	9	2.7035	0.3004	0.93	0.507NS
Error	45	14.5095	0.3224		
Total	59	39.9618			

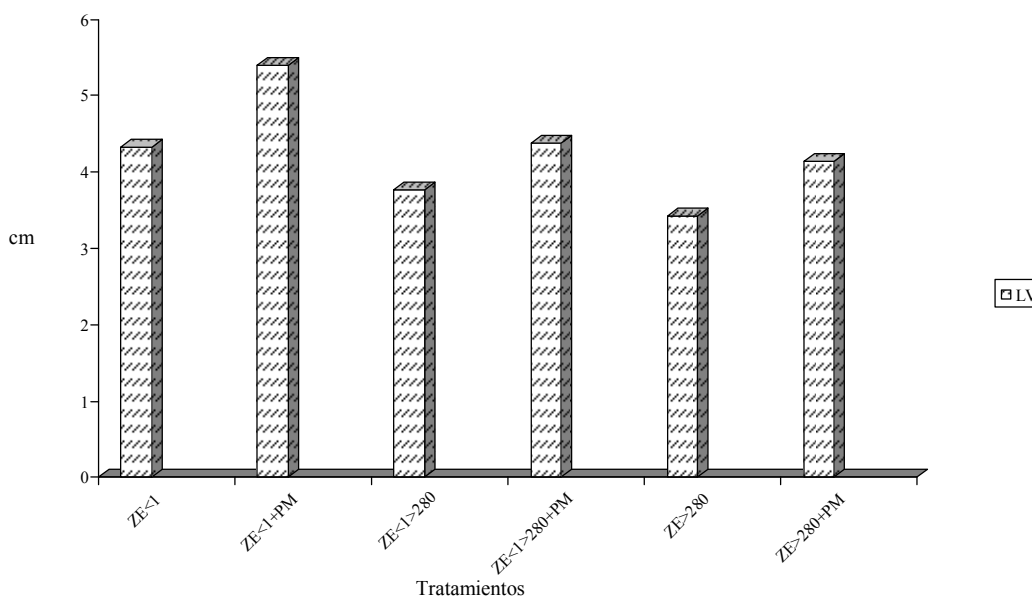


Figura 1.- Longitud de vástago de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

En la longitud de raíz, los tratamientos realizaron efecto altamente significativo (Cuadro 2). Aquí, el valor más inferior de esta variable, se presentó cuando la plántula se desarrolló en

la zeolita con diámetro mayor a 0.280 milímetros (ZE>280) sola, seguido del tratamiento de la zeolita con diámetro menor a un milímetro de diámetro, con peat moss (ZE<1+PM). Con la zeolita de diámetro menor a un milímetro de diámetro (ZE<1), sola y la zeolita menor a un milímetro de diámetro y mayor a 0.280 milímetros de diámetro (ZE<1>280), la variable no sobrepasó los 11 cm de valor. Al adicionar la zeolita con diámetro menor a un milímetro y mayor a 0.280 milímetros de diámetro, mezclada con peat moss (ZE<1>280+PM), se presentó el superior valor de esta variable, porque adelantó en **XX** por ciento, a cuando la plántula se desarrolló en la zeolita con diámetro mayor a 0.280 milímetros de diámetro (ZE>280), sola (Figura 2).

Cuadro 2.- Análisis de varianza de la longitud de raíz de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

Fuente	Gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	507.72	101.54	7.03	0.000 **
Repeticiones	9	106.07	11.79	0.82	0.605 NS
Error	45	650.33	14.45		
Total	59	1264.13			

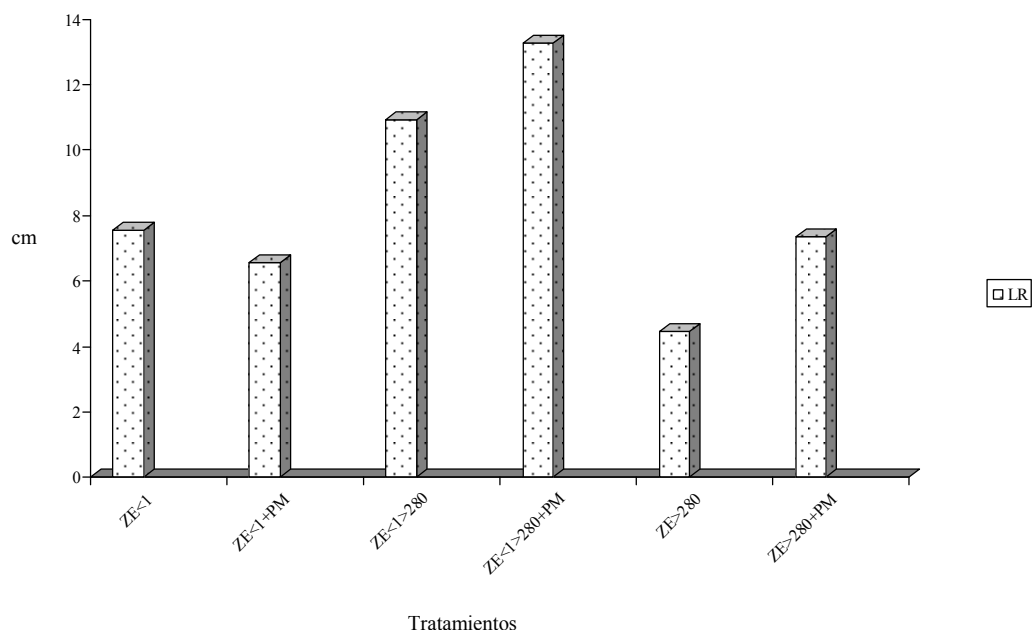


Figura 2.- Longitud de raíz de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

En el peso fresco y seco de raíz, no hay efecto de los tratamientos (Cuadros 3 y 4); sin embargo, se puede establecer de manera gráfica, que cuando se desarrolló la plántula en la zeolita de diámetro menor a un milímetro de diámetro (ZE<1), sola y la misma zeolita, solo que mezclada con peat moss (ZE<1+PM), la plántula superó en **XX** y **XX** por ciento, respectivamente, al valor que presentó la plántula en esta variable, a cuando se produjo la plántula en la zeolita con diámetro mayor a 0.280 milímetros, mezclada con peat moss (ZE>280 +PM) (Figura 3).

Cuadro 3.- Análisis de varianza del peso fresco de raíz de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

Fuente	Gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	0.057355	0.011471	1.68	0.160 NS
Repeticiones	9	0.029648	0.003294	0.48	0.879 NS

Error	45	0.307962	0.006844
Total	59	0.394965	

Cuadro 4.- Análisis de varianza del peso seco de raíz de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

Fuente	Gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	0.0001909	0.0000382	1.78	0.135NS
Repeticiones	9	0.0001007	0.0000112	0.52	0.850NS
Error	45	0.0009629	0.0000214		
Total	59	0.0012546			

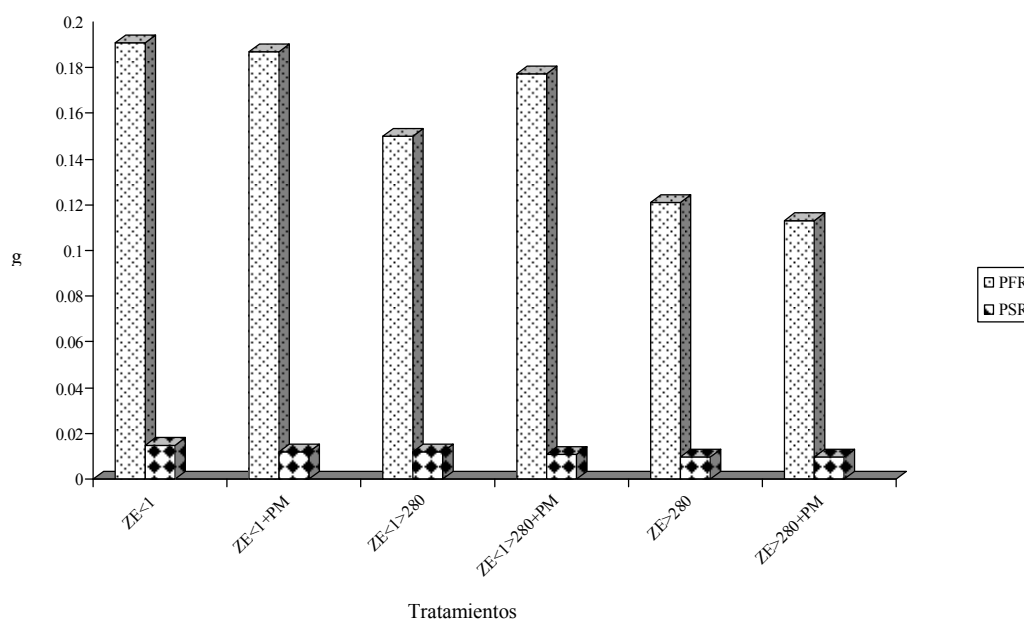


Figura 3.- Peso fresco y peso seco de raíz de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

En el peso fresco y seco de vástago, los tratamientos realizaron efecto significativo (Cuadros 5 y 6), Así, cuando la plántula fue desarrollada en la zeolita con diámetro menor a un milímetro y mayor a 0.280 milímetros (ZE<1>280) y la zeolita mayor a 0.280

milímetros de diámetro ($ZE > 280$), los valores de estas variables, fueron los más inferiores. Al establecer la plántula en la zeolita con diámetro menor a un milímetro ($ZE < 1$); en la zeolita con diámetro menor a un milímetro, mayor a 0.280 milímetros y mezclada con peat moss ($ZE < 1 > 280 + PM$) y en la zeolita con diámetro mayor a 0.280 milímetros más peat moss ($ZE > 280 + PM$), los valores no superaron 0.35 g de peso. Al adicionar la zeolita menor a un milímetro de diámetro y mezclada con peat moss ($ZE < 1 + PM$), se presentó el valor superior de estas variables, ya que sobrepasó en **XX** por ciento a la adición de la zeolita con diámetro mayor a 0.280 milímetros (Figura 4).

Cuadro 5.- Análisis de varianza del peso fresco de vástago de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

Fuente	Gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	0.910180	0.182036	22.48	0.000 **
Repeticiones	9	0.037333	0.004148	0.51	0.858 NS
Error	45	0.364387	0.008097		
Total	59	1.311900			

Cuadro 6.- Análisis de varianza del peso seco de vástago de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

Fuente	Gl	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	0.0390283	0.0078057	12.94	0.000 **
Repeticiones	9	0.0022750	0.0002528	0.42	0.918 NS
Error	45	0.0271550	0.0006034		
Total	59	0.0684583			

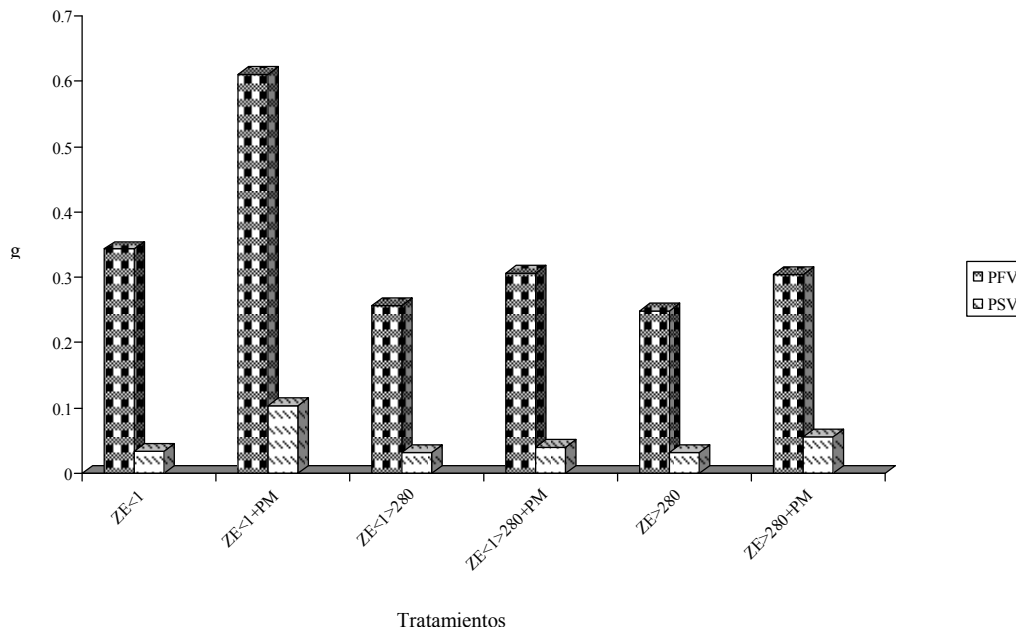


Figura 4.- Peso fresco y peso seco de vástago de plántula de tomate tipo “saladette”, con zeolita como sustrato.

A manera de discusión, se puede establecer que en la longitud del vástago, se presentaron los valores superiores cuando se mezclaron la zeolita, a los diversos diámetros con el peat moss; esto representa que este último compuesto orgánico liberó el nitrógeno (Marschner, 19XX) y la zeolita cuando hay presencia de nitrógeno, sobre todo en forma del ion amonio (NH_4^+), porque presenta alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), adsorbe el compuesto nitrogenado y lo coloca disponible para la planta (AUTOR y AÑO). Así, el nitrógeno realiza como función principal la formación de aminoácidos y proteínas, las que producen que la plántula crezca en longitud principalmente del vástago. Similar situación se presentó en el peso fresco y seco del vástago.

Tanto en la longitud y el peso fresco y seco de la raíz, las cuantías más altas, fueron cuando se empleó el sustrato de zeolita con diámetro menor a un milímetro y mayor a 0.280

milímetro, pero mezclada con peat moss; aquí, como la zeolita es de diámetro superior, la porosidad es de mayor diámetro y por consiguiente la aireación es superior (Castellanos, 2009), lo que produjo mayor y mejor respiración celular de la raíz y por consiguiente mayor división celular, por lo tanto mayor área radicular y sobre todo raíces que nutren a la plántula (Ross y Salisbury, 19XX).

CONCLUSIÓN

La zeolita de menor diámetro, mezclada con peat moss y ácidos húmicos, realizó el efecto positivo en la germinación, la longitud, el peso fresco y seco del vástago, de plántula de tomate.

LITERATURA CITADA

Adani, F; Genevini, P.; Zocchi, G. 1998. The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition. *Jornal of Plant Nutrition*, 21 (3):561-575.

INFOAGRO. 2003. Toda la agricultura en internet del cultivo de tomate www.fertiberia.com/informacion_fertilizacion/articulos/otros/sustancias_humicas.html
International Humic Substances Society (IHSS). 1996. Soil Humic Substances. IHSS8, Proceedings.

Kuiters, A. T. and W. Mulder. 1993. Water-soluble organic matter in forest soils. II. Interference with plant cation uptake. *Plant and Soil*, 152: 225-235.

López, C. R. 2002. Comportamiento de sustancias húmicas de diverso origen en la física de un suelo limo-arcilloso y en la fisiología del tomate. Tesis Doctoral en Sistemas de Producción. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

López-Cervantes, R., A. Gallego-del Tejo, E. Peña-Cervantes, A. Reyes-López, R. Castro-Franco y J. F. J. Chávez-González. 2006. Sustancias Húmicas de Origen Diverso en Algunas Propiedades Físicas de un Suelo Franco-Arcillo-Limoso. *Terra Latinoamericana* Vol. 24, N°3: 303-309.

Minitab. 2004. Estadística Práctica. Pearson Educación, S. A. Ribera del Loira, 28, 28042, Madrid, España.

Neri, T., A. 1999. Evaluación de diferentes genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) tipo bola de habito indeterminado extra firmes, en Villa de Arista, S.L.P. Tesis de Licenciatura. U.A.A.A.N, Coahuila, Mexico. pp. 1 -3.

Orlov, D. S. 1995. Humic substances of the soil and general theory of humification. A. A. Balkema, Publishers, Old Post, Road, Brookfield, VT, USA.

Pettit. 2004. Organic matter, Humate, Humic acid, Fulvic acid and Humin: Their Importance in Soil Fertility and Plant Health. Huma Tech. Inc. Makers of Promax. <http://www.humate.info/>

Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F.

Sánchez-Sánchez, A., J. Sánchez-Andreu, M. Juárez, J. Jordá and D. Bermúdez. 2006. Improvement of Iron Uptake in Table Grape by Adition of Humic Substances. *Journal of Plant Nutrition*: 29: 259-272. Taylor & Francis Group. LLC. ISSN: 0190-4167 print/1532-4087 on line.

Schnitzer, M. 2000. Life Time Perspective on the Chemistry of Soil Organic Matter. D. L. Sparks (Ed.). *Advances in Agronomy*, Academic Press. 68: 3-58. Stevenson, F. J. 1984. *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. J. Wiley and Sons, New York, NY.