

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Prueba De La Efectividad Del Producto Rootex® Para Promover La Absorción De Fósforo En Plántulas De Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) En Un Suelo Calcáreo

Por:

**OSCAR HUMBERTO SOLIS GARFIAS**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Prueba De La Efectividad Del Producto Rootex® Para Promover La Absorción De Fósforo En Plántulas De Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) En Un Suelo Calcáreo

Por:

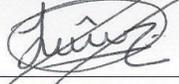
OSCAR HUMBERTO SOLIS GARFIAS

TESIS

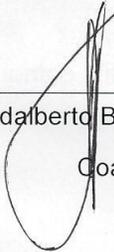
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

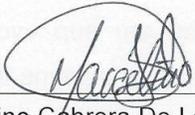
Aprobada por el Comité de Asesoría

  
Dr. Antonio Juárez Maldonado

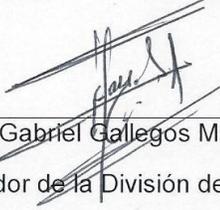
Asesor Principal

  
Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Coasesor

  
Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente

Coasesor

  
Dr. Gabriel Callegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2016

# **AGRADECIMIENTOS**

## **A DIOS**

Por darme las fuerzas necesarias para no decaer en el esfuerzo, cuando me vi derrotado.

## **A MI ALMA MATER**

Por brindarme las herramientas necesarias para culminar mi carrera

## **A MI HERMANO**

Porque en ningún momento me ha dejado solo y por su apoyo incondicional para poder culminar mis estudios.

## **A MIS COMPAÑEROS DE GENERACION**

Por ser parte de mis alegrías, presiones, juegos y diversiones que de una manera hicieron más armonioso el tiempo que me tome en culminar mi carrera.

## **A MIS AMIGOS**

Daniel, Fausto, Obed, Daniel Alejandro, Dr. Antonio, Dr. Gallegos, Itandehui, Stefany, David, y a todos mis paisanos. Por su gran apoyo que me brindaron en los momentos difíciles de mi carrera, por compartir su amistad y compañerismo en diferentes etapas de mi vida.

# **DEDICATORIA**

## **A mis padres**

**Sr. Juan Solís Muñoz**

**Sra. Ma. Otilia Garfias García**

Por su apoyo incondicional en mi formación personal y educativa, sus palabras de aliento siempre que fueron necesarias. Por inculcarme los principios y valores que me llevaron a concluir mis estudios y por haberme apoyado siempre en mis decisiones importantes.

## **A mis hermanos**

Janeli, Cirilo, Osiel, Irene y Adriana porque desde niños hemos compartido momentos de mucha alegría así como también peleas que me han ayudado a ser más fuerte. Gracias por ser cómplices de tantas aventuras y por brindarme su apoyo

## **A mi hija**

Por ser un impulso fuerte de inspiración para superarme

## **A mis maestros y a todo el personal del departamento de parasitología y de la institución**

Por compartir su conocimiento y herramientas necesarias para concluir mi carrera de la mejor manera posible, un sincero agradecimiento.

## INDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
Hipótesis.....	5
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
Origen y distribución geográfica.....	6
Importancia del cultivo del tomate.....	7
Importancia Socioeconómica.....	10
Clasificación Botánica.....	11
La problemática de la nutrición de cultivos en suelos.....	12
Funciones de los elementos Nitrógeno, Fósforo y Potasio en las plantas...14	
Nitrógeno.....	14
Fosforo.....	15
Potasio.....	16
Dinámica de la salinidad en los suelos.....	17
Consecuencias de la salinidad en las plantas.....	18
Suelos calcáreos.....	19
Alcalinidad.....	20
Alternativas de manejo nutricional en suelos calcáreos.....	21
Fertilizantes orgánicos y sus efectos.....	23
Efectos de los abonos orgánicos sobre las características físicas del suelo.....	24

Efectos de los abonos orgánicos sobre las características químicas del suelo.....	24
Efectos de los abonos orgánicos sobre las características biológicas del suelo.....	24
Efectos de los abonos orgánicos en la inhibición de patógenos del suelo.....	25
El Rootex.....	26
Que es el Rootex.....	26
Beneficios del Rootex.....	26
Composición del Rootex.....	27
Descripción del Rootex.....	28
Compatibilidad del Rootex.....	28
Dosis de aplicaciones recomendadas para cultivos.....	28
Frutales (Aguacate, cítricos, manzano, vid).....	29
Hortalizas (Berenjena, cebolla, melón, sandía, tomate).....	29
Ornamentales.....	29
MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
Localización del experimento.....	30
Obtención de plántula.....	30
Trasplante.....	30
Aplicación de Rootex.....	30
Nutrición del cultivo.....	31
Labores culturales.....	31
Tratamientos y diseño experimental.....	31
Variables evaluadas.....	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35

Variables agronómicas.....	35
Análisis del suelo y tejido foliar.....	43
CONCLUSIONES.....	49
LITERATURA CITADA.....	51

## INDICE DE CUADROS

<b>Tabla 1.</b> Descripción de tratamientos y sus combinaciones.....	32
<b>Tabla 2.</b> Tabla de comparación de medias de la altura de la planta y su correspondiente significancia de los factores evaluados.....	36
<b>Tabla 3.</b> Tabla de comparación de medias del diámetro de tallo y su correspondiente significancia de los factores evaluados.....	36
<b>Tabla 4.</b> Tabla de comparación de medias del número de hojas y su correspondiente significancia de los factores evaluados.....	37
<b>Tabla 5.</b> Tabla de comparación de medias del número de racimos y su correspondiente significancia de los factores evaluados.....	37
<b>Tabla 6.</b> Tabla de comparación de medias del número de frutos y su correspondiente significancia de los factores evaluados.....	37
<b>Tabla 7.</b> Tabla de comparación de medias del número de flores y su correspondiente significancia de los factores evaluados.....	37
<b>Tabla 8.</b> Tabla de comparación de medias del número de abortos y su correspondiente significancia de los factores evaluados.....	38
<b>Tabla 9.</b> Tabla de comparación de medias de la longitud de raíz y su correspondiente significancia de los factores evaluados.....	38
<b>Tabla 10.</b> Tabla de comparación de medias del peso fresco de la parte aérea y su correspondiente significancia de los factores evaluados.....	38
<b>Tabla 11.</b> Tabla de comparación de medias del peso fresco de frutos y su correspondiente significancia de los factores evaluados.....	38
<b>Tabla 12.</b> Tabla de comparación de medias del peso fresco de raíz y su correspondiente significancia de los factores evaluados.....	39
<b>Tabla 13.</b> Tabla de comparación de medias del peso seco de la parte aérea y su correspondiente significancia de los factores evaluados.....	39

<b>Tabla 14.</b> Tabla de comparación de medias del peso seco de frutos y su correspondiente significancia de los factores evaluados.....	39
<b>Tabla 15.</b> Tabla de comparación de medias del peso seco de la raíz y su correspondiente significancia de los factores evaluados.....	39
<b>Tabla 16.</b> Descripción de las interacciones que presentaron diferencias estadísticas significativas para todas las variables evaluadas. Nota: las interacciones y variables evaluadas que no se presentan es porque no tienen diferencias estadísticas significativas.....	40
<b>Tabla 17,</b> que presenta las medias del peso fresco la parte aérea de los 27 tratamientos, puede apreciarse que el mejor tratamiento.....	41
<b>Tabla 18.</b> Medias de los 27 tratamientos correspondientes al peso fresco de frutos.	42
<b>Tabla 19.</b> Correlaciones entre las variables medidas en el suelo y los tres factores evaluados (Rootex, MAP, Solución Steiner).....	44
<b>Tabla 20.</b> Correlaciones entre los minerales medidos en el tejido foliar y los tres factores evaluados (Rootex, MAP, Solución Steiner).....	45
<b>Tabla 21.</b> Correlaciones entre las variables medidas en el suelo y los minerales medidos en el tejido foliar.....	47

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Arreglo experimental de los tratamientos de Rootex, solución Steiner, y fertilización de fondo con MAP.....	32
--	----

## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto de la aplicación del producto Rootex en el desarrollo de plantas de tomate variedad "Caiman" de crecimiento indeterminado en un suelo calcáreo. Se utilizaron tres diferentes dosis del producto (0, 2.5 y 5 kg ha<sup>-1</sup>), además de la aplicación de solución Steiner modificada en tres concentraciones (0, 50 y 100%), así como la fertilización de fondo con MAP en tres dosis (0, 384.62 y 769.23 kg ha<sup>-1</sup>), cuya combinación genera en total 27 tratamientos. Se utilizó un diseño factorial de tres niveles (3\*3\*3) con 6 repeticiones dando un total de 162 unidades experimentales. La semilla se sembró en charola de poliestireno y se regó con solución nutritiva Steiner. A los 30 días después de la siembra se realizó el trasplante. Las variables agronómicas evaluadas fueron altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco de parte aérea, peso fresco de frutos, peso fresco de raíz, longitud de raíz, número de hojas, racimos, frutos, flores y abortos por planta, además después de secar en horno de secado a 80°C por cuatro días se obtuvieron los pesos secos de parte aérea, frutos y raíz. La evaluación se realizó a los 55 días después del trasplante. Se realizó un ANOVA para determinar la existencia de diferencias estadísticas y una comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Los resultados obtenidos de las variables evaluadas mostraron que la aplicación de Rootex mejoró el desarrollo de las plantas de tomate en comparación con el testigo sin aplicación, además de que el mejor tratamiento de Rootex fue el de 5 kg ha<sup>-1</sup>. En cuanto a la fertilización de fondo con MAP se encontró que ambas dosis (384.62 y 769.23 kg ha<sup>-1</sup>) son mejores que el testigo (0 kg ha<sup>-1</sup>), y que en la mayoría de los casos son iguales entre sí estadísticamente. Con las diferentes concentraciones de solución Steiner se encontró que tanto al 50% como al 100% son mejores que el testigo (agua), además de que en la mayoría de los casos ambas concentraciones fueron iguales entre sí estadísticamente. El Rootex no presentó ninguna correlación con el P del suelo o del tejido foliar, sin embargo, presentó correlación positiva con el Ca del suelo, S, K, Mg y Na del tejido foliar. Solamente el MAP presentó correlación

positiva con el P del tejido foliar. El P del suelo no presentó correlación con ninguno de los tres factores evaluados Rootex, MAP o Solución Steiner.

**Palabras clave:** Rootex, tomate, crecimiento, variables agronómicas

Correo electrónico; Óscar Humberto Solís Garfias, [oscar-10024@hotmail.com](mailto:oscar-10024@hotmail.com)

## INTRODUCCIÓN

El P es un nutrimento inorgánico esencial para los organismos vivos. Se utiliza como componente estructural en los ácidos nucleicos y en los fosfolípidos, como parte de compuestos intermediarios en el metabolismo del carbono y como regulador de la activación o inactivación de un conjunto amplio de enzimas. Desde un punto de vista cuantitativo el P es uno de los más importantes nutrimentos inorgánicos para las plantas, y su disponibilidad en los sistemas naturales normalmente limita la productividad primaria. En los sistemas de cultivo ocurre lo mismo a no ser que se aporten fertilizantes con P. Un problema común con los fertilizantes con P es que en muchos tipos de suelo de un 80 a un 90% del P es adsorbido y fijado por las partículas del suelo transformándolo a formas no disponibles. Estas formas químicas del P estarán inaccesibles para aquellas plantas que carecen de los mecanismos para solubilizar el P fijado en el suelo (Jones, 1998).

A diferencia del nitrato, que se mueve en los poros del suelo a través del flujo de masas y difusión, el fosfato se moviliza principalmente por difusión. El flujo de masas aporta tan solo de 1-5% de la demanda de P y para aumentar este valor se requiere incrementar el flujo de masa de agua que se pierde por transpiración, lo cual disminuye la eficiencia en el uso del agua. Por otra parte, la cantidad de P adquirida por intercepción radical es mucho menor que la cantidad referida para el flujo de masas (Lambers *et al.*, 1998).

La baja tasa de difusión del P en la solución del suelo resulta de la característica escasa solubilidad del P lo cual da lugar a que, de forma natural, este se encuentre en concentraciones muy bajas en el agua de los poros del suelo. Los aportes de fertilizante con P elevarán de forma transitoria la concentración de fosfato disuelto,

pero rápidamente se retornará a la situación particular de cada tipo de suelo al ser rápidamente fijado en formas no solubles. Por esa razón los coeficientes de difusión del fosfato en los suelos son muy pequeños:  $0.3-3.3 \times 10^{-13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (Clarkson, 1981), y son especialmente bajos en los suelos con escaso aporte de agua.

Las plantas durante el curso de su evolución desarrollaron estrategias para modificar el entorno químico en la rizosfera y solubilizar el P no disponible, igualmente se formaron sociedades simbióticas con bacterias y hongos con gran habilidad para movilizar el P de las partículas del suelo (Vera *et al.*, 2002; Gómez-Guiñan, 2004; Calvo-Vélez *et al.*, 2008).

Diversos modelos han descrito la importancia relativa de diferentes factores que describen el éxito de las plantas en adquirir el P del suelo. En primer lugar se presenta la capacidad de la planta en aumentar la longitud de la raíz, bien sea directamente o por medio de asociaciones con hongos micorrízicos, en segundo lugar las variables del suelo que controlan la disponibilidad del P en su forma disuelta (Silberbush y Barber, 1983).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Determinar si la aplicación de Rootex en un suelo calcáreo con bajo aporte de P eleva la absorción de este elemento en plántulas de tomate.

### **Objetivos específicos**

- Verificar si el Rootex modifica la concentración de P en la solución del suelo al añadir este elemento con una solución nutritiva o bien como fertilizante de fondo MAP y DAP.

- Verificar si el Rootex facilita la acumulación de P en los tejidos vegetales al añadir este elemento con una solución nutritiva o bien como fertilizante de fondo MAP y DAP.
- Determinar si el Rootex modifica la disponibilidad y absorción de otros elementos minerales.
- Documentar los cambios en el crecimiento del cultivo y peso fresco del cultivo.

### **Hipótesis**

Se espera que el Rootex mejore de manera eficiente la absorción de fósforo en las plántulas de tomate.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen y Distribución Geográfica

El tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) es originario de México, Perú y Ecuador, donde se encuentran diversas variedades silvestres. A la llegada de los españoles el tomate formaba parte de los huertos de hortalizas de Mesoamérica. Actualmente, el tomate es la hortaliza más popular y aceptada en la cultura gastronómica de la mayoría de los países. A nivel mundial se rebasan los 3 millones de hectáreas cosechadas de tomate anualmente, con una producción promedio que fluctúa alrededor de los 86 millones de toneladas por año (INEGI, 2002).

La evidencia histórica favorece a México como el centro más importante de domesticación del tomate, ya que la utilización de formas domesticadas en el país, es muy antigua y sus frutos eran empleados en la alimentación indígena de las zonas centro y sur de México. Además se hizo una recopilación de datos sobre la dispersión que sufrió el tomate; y se menciona que el tomate Mexicano fue enviado a España en el siglo XVI, donde se utilizó para sazonar los alimentos. En el siglo XVII en Italia constituyó un condimento en los principales platillos de ese país. Alrededor del siglo XVIII el tomate Mexicano fue conocido y consumido a nivel mundial; y posteriormente llegó a ser un artículo de consumo necesario en el siglo XIX. (León y Arosamena, 1980; Rick, 1978; Yamaguchi, 1983).

El jitomate es una planta nativa de América tropical, cuyo origen se localiza en la región de los Andes (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú), (Vavilov, 1951) y

donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres. México está considerado a nivel mundial como el centro más importante de domesticación de tomate. La palabra tomate proviene de la voz náhuatl "tomatl"; en 1554 fue llevado a Europa, empezando a comercializarse en Estados Unidos hacia el año de 1835 (Chávez, 1980).

### **Importancia del cultivo del tomate**

La producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el 2008 se distribuyó de la siguiente manera: China fue el principal productor de jitomate en el mundo, con una participación de 36%. Le sigue Estados Unidos con 14%; Turquía, 12%; India, 11%; mientras que México ocupó el doceavo lugar, con 3% de participación en la producción (FAO, 2008).

Los países que ocupan los primeros tres lugares en el ranking de mayores exportadores, comercializan poco más de 55% de total mundial. Holanda ocupa el primer sitio, con 22% del volumen de exportaciones mundiales de jitomate; México tiene el segundo lugar con 18% de las mismas; en tercer lugar, España con 17% del total mundial (FAO, 2008).

En lo que respecta a los países importadores de jitomate, durante 2008, Alemania lideró las importaciones mundiales, EE.UU. quedó en segundo lugar, aunque por un estrecho margen de diferencia, apenas 0.1%. Continúan en la lista Reino Unido, Francia y Rusia con 11%, 8% y 8%, respectivamente. Destaca los 7 países europeos que aparecen dentro de los 10 principales importadores de jitomate a nivel mundial (FAO, 2008).

Parte de la producción de tomate se destina al procesamiento industrial, de la misma manera los flujos de comercio internacional registra el volumen de jitomate procesado. Los principales países procesadores de tomate son EE.UU. e Italia, con

39 y 20%, respectivamente, de la producción industrial de tomate. El mayor incremento corresponde a China, que en los últimos años, triplicó su producción y se ubica actualmente como tercer productor mundial, con el 9% de la producción industrial de tomate (FAO, 2008).

En las importaciones mundiales de jitomate pelado, destaca el peso de los países europeos, que ocupan los primeros lugares dentro del ranking, Reino Unido, Alemania, Francia, Bélgica y Holanda, que en conjunto importan 64%. Figuran en la lista también Japón, Canadá y Australia, con 7, 4 y 4%, respectivamente (FAO, 2008).

La principal zona geográfica importadora de pasta de tomate, es también Europa, sin embargo, para este producto con un peso relativo mucho menor respecto al peso de las importaciones de tomate pelado. En este producto, lideran Alemania e Italia, como los principales importadores, con el 9 y 8% del total mundial. Siguen en la lista Rusia con 7%, Reino Unido con 6% y Francia con 5%, respectivamente. Destaca que entre los primeros lugares aparecen países africanos tales como Ghana, Nigeria y Libia (FAO, 2008).

Entorno nacional Durante 2008, se produjeron en todo México 2.26 millones de toneladas de jitomate, siendo el principal productor el estado de Sinaloa, cuya producción representó el 35% del total nacional, monto 3.8 veces mayor al producido por el segundo lugar, Baja California, con 9%. Siguen en la lista los estados de Michoacán, San Luis Potosí y Jalisco con 8%, 6% y 5%, respectivamente. Regionalmente, a todo lo largo del territorio nacional se distribuye la producción de jitomate, sin embargo, la zona productora de mayor importancia es la noroeste (FAO, 2008).

En la República Mexicana, se produce jitomate durante todo el año. En el análisis temporal, durante los primeros meses del año, es cuando se genera el tope de producción nacional, en el estado de Sinaloa, que abastece al mercado nacional y la

mitad del norteamericano. Por otro lado, durante el verano, la producción de los estados del centro y de Baja California, es la que abastecen la demanda interna y de exportación. Finalmente, en los meses de agosto a diciembre, son otras entidades las que cubren la producción (FAO, 2010).

No obstante que el jitomate es un producto que se cosecha a lo largo de todo el año, es en los primeros meses del mismo en que se concentra su producción, principalmente en los meses de enero, febrero y marzo. Por otro lado, su mínimo nivel lo tiene durante el verano, en los meses de junio y julio, presentando un ligero incremento hacia finales del año (FAO, 2010).

En lo que respecta a las variedades de jitomate que se producen en el territorio mexicano, la de mayor distribución es el jitomate saladette, representa el 56% del total, en segundo lugar se encuentra el jitomate bola, cuyo volumen de producción alcanza el 14% del total. Son importantes los jitomates de tipo importación y de invernadero, debido a los rendimientos y precios que ofrecen (SAGARPA, 2010).

En la distribución por estados, se encuentra Baja California como el principal productor de jitomate de bola, resalta el estado de Veracruz, como segundo productor de este tipo, ya que se encuentra ubicado en zona geográfica distinta a los líderes productores. El jitomate saladette es producido principalmente en Sinaloa, cerca del 50% del total nacional. Michoacán y San Luis Potosí participan con el 15% y 10%, respectivamente (SAGARPA, 2010).

Gallegos, *et al.* (1980), citados por Barenque, (1991) Mencionan que gracias a la gran adaptabilidad que posee el cultivo, es posible obtener elevadas producciones, ya que permite que se le explote tanto en climas tropicales como templadas de diversas regiones del país.

Anónimo (1985) Cita que en México el tomate es cultivado prácticamente en todo el territorio, siendo los principales estados productores Sinaloa, Morelos, Sonora, Baja

California, San Luis Potosí, Michoacán, Tamaulipas, Guanajuato, Hidalgo y Puebla. El tomate ocupa un lugar preponderante con relación al desarrollo económico y social de la agricultura a nivel mundial, reportándose que requiere de 140 jornales por hectárea. En lo que respecta a superficie sembrada, existen más de 90 000 ha (UNPH, 1986), de las que aproximadamente el 33% se sitúan en el estado de Sinaloa. En el Cuadro 1 se presentan los principales estados productores de tomate de la República Mexicana así como los rendimientos promedio por hectárea.

### **Importancia Socioeconómica**

El cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en México tiene una trascendencia social muy importante, puesto que una parte considerable de la población económicamente activa se encuentra relacionada directa o indirectamente con el cultivo del tomate. El cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) es una importante fuente de empleo para un considerable número de familias en México. Se estima que para la producción de 75,000 hectáreas de tomate se emplean a 172 mil trabajadores de campo (ASERCA, 1998).

El cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) trae aparejado consigo mismo una fuerte fluctuación migratoria de personas originarias de estados como Oaxaca, Zacatecas, Guanajuato, Guerrero y Veracruz, principalmente; por ser éstos estados que aportan una proporción considerable de trabajadores agrícolas a las principales regiones de cultivo del tomate (ASERCA, 1998).

El tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) es la hortaliza más importante en numerosos países y su popularidad aumenta constantemente. Pocos productos hortícolas permiten tal diversidad de usos como el tomate. Se puede servir crudo, cocido, estofado, frito, encurtido, como una salsa o en combinación con otros alimentos. Se puede usar como ingrediente en la cocina y puede ser procesado industrialmente entero o como pasta, jugo, polvo, etc. (Fernando Nuez, 1995). En la

actualidad este cultivo ha adquirido importancia económica en todo el mundo (Fernando Nuez, 1995).

La exportación de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) representa para nuestro país una importante fuente de divisas, al ser ubicado como el tercer país exportador de tomate en el mundo. Para México, el tomate representa el 41% del total de las exportaciones agrícolas, las cuales, el 22% son exclusivamente tomates (Moor, 1994).

La exportación de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) le generó a México divisas por un monto de 539.4 millones de dólares en 1996, 523.4 millones en 1997, 638.1 4 millones 1998; 534.8 millones en 1999 y 462.6 millones de dólares en el año 2000 (INEGI, 2002).

México ocupa la novena posición en producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) y es el tercer país exportador de esta hortaliza. En el periodo 1997/2001 la superficie promedio anual sembrada de tomate en México fue de 79,984 hectáreas anuales. En el mismo periodo, la superficie cosechada fluctuó alrededor de las 76,140 hectáreas anuales. En promedio, la producción de tomate registrada fue de 2'140,119 toneladas por año. Este cultivo representa una fuente importante de empleos y de generación de divisas (FAOSTAT, 2002).

### **Clasificación Botánica**

El tomate ha sido clasificado de la siguiente manera:

Reino: Vegetal

División: Trachephyta

Subdivisión: Pteropsidae

Clase: Angiospermae

Subclase: Personatae

Familia: Solanácea

Género: *Lycopersicum*

Especie: *esculentum*

Se reporta que el género *Lycopersicum* contiene una pequeña cantidad de especies, todas ellas herbáceas que crecen en formas diferentes, dependiendo de los métodos de cultivo.

Se ha encontrado que el *Lycopersicum esculentum* Mill. posee cinco variedades botánicas:

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| 1- <i>Lycopersicum esculentum</i> var. <i>commune</i>       | Tomate común            |
| 2.- <i>Lycopersicum esculentum</i> var. <i>grandifolium</i> | Tomate hoja de papa     |
| 3.- <i>Lycopersicum esculentum</i> var. <i>validum</i>      | Tomate arbusto o erecto |
| 4.- <i>Lycopersicum esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i>  | Tomate cherry           |
| 5.- <i>Lycopersicum esculentum</i> var. <i>pyriforme</i>    | Tomate pera.            |

(Flores, 1982; Huerres, 1988; Rick, 1978; Rick citado por Simmonds, 1986; Yamaguchi, 1983).

### **La problemática de la nutrición de cultivos en suelos**

La acidez de los suelos de Costa Rica constituye un problema de importancia en la producción agrícola. La acidez afecta de una forma muy particular y determinante algunas de las características químicas y biológicas del suelo, de modo que en general, reduce el crecimiento de las plantas, ocasiona la disminución de la disponibilidad de algunos nutrimentos como calcio, magnesio, potasio y fósforo; y favorece la proliferación de elementos tóxicos para las plantas como el aluminio y el manganeso (Molina, 1998).

El encalado junto con la siembra de especies tolerantes constituyen las prácticas más apropiadas y económicas para corregir los problemas de acidez. Sin embargo, es común encontrar que los criterios utilizados para la aplicación de los materiales de encalado existentes en el mercado, no cumplen los requisitos mínimos de calidad para asegurar el éxito de su empleo (Molina, 1998).

El análisis de suelos es una de las herramientas más útiles para el diagnóstico de la fertilidad de los suelos. En el caso de la acidez, mediante este procedimiento es posible detectar su presencia y a su vez generar una recomendación para solventar adecuadamente el problema. La acidez o aluminio intercambiable se determina mediante la extracción del suelo con una sal neutra no tamponada, tal como el KCl 1N, y la titulación del extracto con una base (BERTSCH. 1986).

Esta fracción constituye el aluminio e hidrógeno intercambiable y el de la solución del suelo que pueden perjudicar el crecimiento de las plantas. La mayor parte de la acidez en los suelos tropicales (excluyendo los suelos orgánicos) proviene del aluminio, por lo que generalmente se habla de acidez intercambiable ( $Al^{+3} + H^+$ ) y aluminio intercambiable como si fueran sinónimos (Molina, 1998).

La salinidad y la sodicidad son dos conceptos que tienen que ver con un incremento de sales en el suelo. Ambos procesos limitan la actividad agrícola en grandes extensiones de tierra, causando una disminución de la capacidad productiva de los suelos y una baja en los rendimientos de los cultivos, principalmente en las zonas en las que la evaporación superficial y la absorción de agua por las plantas exceden el nivel de la precipitación (SEMARNAT, 2009).

El efecto de las sales en las plantas se presenta cuando son sometidas a altas concentraciones de una sal, lo que puede afectar su capacidad de retención de agua y además de los efectos iónicos que ocasiona a nivel enzimático en los procesos de glicólisis, ciclo de Krebs y fotofosforilación, que son sensibles a las soluciones salinas, y dan como resultado una menor disponibilidad de energía, de nutrientes y

del crecimiento de las plantas y germinación de las semillas. Se estima que 831 millones de hectáreas a nivel mundial están afectadas por sales (SEMARNAT, 2009).

En México la salinización de suelos afecta el 3.2% de su territorio, siendo este proceso una realidad cada vez más evidente, y una de las principales causas de degradación química, fundamentalmente en las zonas áridas y particularmente en los suelos bajo riego, donde la aplicación de fertilizantes y residuos industriales han favorecido la salinidad. También se observa con más frecuencia en las cuencas cerradas que, a través de miles de años, han acumulado paulatinamente sales en los suelos (UAM, 2014).

### **Funciones de los elementos Nitrógeno, Fósforo y Potasio en las plantas.**

#### **Nitrógeno.**

Bennet, (1983) Menciona que el nitrógeno es absorbido por las plantas en forma de nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y amonio ( $\text{NH}_4$ ). Generalmente se entiende que el amonio es absorbido y utilizado primeramente por las plantas jóvenes. Mientras que el nitrato es la forma principal para utilizarlo durante el periodo largo de desarrollo. El nitrógeno tiene numerosas funciones en la planta. El ion  $\text{NO}^{-3}$  sufre transformaciones después esto es absorbido y reducido a la forma amino.

Entonces es utilizado en forma de aminoácidos. Los aminoácidos son esenciales para la formación de proteínas y son considerados estos componentes de los mismos. En adición a aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y bases nitrogenadas, el nitrógeno es también componente de compuestos de otras plantas incluyendo nucleótidos, amidas y aminos. Por lo tanto el N juega un papel clave en muchas reacciones metabólicas. El nitrógeno es contenido en la molécula de clorofila, por lo que una deficiencia de N va a resultar en una condición clorótica en la planta.

El N es también un constituyente estructural de las paredes celulares. Las proteínas son continuamente creadas, sintetizadas y degradadas en la planta así que el N se mueve de las partes viejas de la planta a hojas jóvenes. Por lo tanto el síntoma de deficiencia aparece normalmente primero en las hojas viejas. La proteína (aminoácidos y clorofila) y ácidos nucleicos son constituyentes mayores del protoplasma de la célula, así que a falta de nitrógeno inhibe la división celular con una consecuente reducción en crecimiento.

Ishizuka, (1978) Cita que el nitrógeno juega un papel importante como constituyente de la clorofila, en la coloración verde característica de todas las plantas verdes. Así que el color de la hoja es un buen indicador del nivel de nitrógeno en los cultivos.

Tisdale y Nelson, (1991) Reportan que un adecuado suministro de nitrógeno está asociado con vigorosos crecimientos vegetativos y un intenso color verde. Cantidades excesivas de nitrógeno pueden prolongar el periodo de crecimiento y retrasar la madurez.

Edmon, J.B.; T.L. Senn y F.S. Adrews, (1981) Reportan que cuando existe un exceso de nitrógeno en la fase vegetativa se efectúa rápidamente, hay un rápido desarrollo de tallos y hojas grandes de color verde oscuro conteniendo gran cantidad de clorofila que absorbe cantidades relativamente altas de luz y elaboran grandes cantidades de carbohidratos que se utilizan en la formación de células de tallos, hojas y raíces absorbentes.

Masson, Tremblay y Gosselin, (1991) Mencionan que han observado que plántulas sobre fertilizadas de N incrementan su succulencia y se rompen fácilmente cuando se trasplantan.

## **Fósforo.**

Adams, (1986), menciona que el fósforo se considera como un elemento nutritivo mayor igual que el N y K, sin embargo en la mayoría de las plantas se presenta en menores cantidades que estos. El fósforo es absorbido por las plantas en cualquiera de las formas como ion ortofosfato monovalente ( $\text{H}_2\text{PO}_4$ ) o como ión ortofosfato divalente ( $\text{H}_2\text{P}\text{O}_4$ ). El ión absorbido es determinado por el pH del suelo. Cuando el nitrógeno y el fósforo son físicamente y químicamente asociados al suelo, la absorción del fósforo aumenta.

El fósforo es un constituyente de compuestos de la planta tal como enzimas, proteínas y es un componente estructural de fosfoproteínas, fosfolípidos y ácidos nucleicos, por lo tanto juega un papel importante en la vida de las plantas e importante también en el crecimiento reproductivo, la división celular, síntesis de azúcar, grasas y proteínas. Este promueve maduración temprana y calidad de frutos. Un adecuado suministro en las primeras etapas vegetativas es importante en el retraso del crecimiento de las partes reproductivas asociadas a la vez con una pronta maduración de los cultivos.

Se le considera esencial en la formación y maduración de las semillas encontrándose en gran cantidad en éstas y frutos; los meristemos y tejidos activos. Incrementa también la resistencia a enfermedades. Una buena fertilización con Fósforo ha sido asociada con un incremento del crecimiento de las raíces (Rodríguez, 1989; Tisdale y Nelson, 1991; Bennet, 1993).

### **Potasio.**

El potasio es absorbido como ión "K". La forma asimilable para las plantas del total del potasio es generalmente pequeña. A diferencia de otros elementos no forma parte de los componentes de la planta. Sus funciones son más bien de naturaleza catalítica. El potasio se enlaza iónicamente a la piruvato quinasa que es esencial en la respiración y en metabolismo de carbohidratos. Es un constituyente de la

fotosíntesis bajo condiciones de baja intensidad (Bidwell.1979; Tisdale y Nelson, 1991; Wallace, 1961).

Eaton, (1952) citado por Devlin, (1980) Menciona que en la planta este elemento es requerido para turgencia de la misma y mantiene el potencial osmótico de las células. Esta regulación osmótica indica el papel que juega el potasio en relación con el agua de la planta, retención de agua en tejidos y transporte de largas distancias de agua y asimilados en el floema y xilema. Este también tiene funciones en la estabilización de pH en la célula. El Potasio se requiere a la vez para producción de fosfato de alta energía (ATP). Parece que actúa como activador o catalizador de enzimas que intervienen en la síntesis de ciertas uniones peptídicas.

En las regiones meristemáticas que son las más activas de la planta como yemas, hojas tiernas y extremos de raíces se concentra más este elemento. Esta acción en las células tiene efecto en el desarrollo normal de las mismas, por lo tanto aumenta la resistencia al alojamiento de plagas y enfermedades. A causa de estas cualidades del potasio, los frutos que crecieron con un suministro adecuado de este elemento, parecen tener larga vida en anaquel en el almacenamiento (Bennet, 1993).

### **Dinámica de la salinidad en los suelos**

La salinidad y la sodicidad, son dos conceptos que se relacionan y tienen que ver con un incremento del contenido de sales en los suelos, que provoca, entre otras cosas, la disminución del rendimiento de los cultivos (SEMARNAT, 2009). Estos procesos en los suelos, se pueden determinar con base en su porcentaje de sodio intercambiable (PSI), midiendo la conductividad eléctrica en el extracto de saturación y evaluando su basicidad mediante su pH.

La salinidad es un proceso de enriquecimiento del suelo con sales más solubles que el sulfato de calcio; por lo general se trata de cloruros y sulfatos de sodio y de magnesio, su conductividad eléctrica en el extracto de saturación es mayor a 4 dSm-

1 a 25°C con un porcentaje de sodio intercambiable menor de 15 (Richards *et al.* 1985).

Estos valores, influyen en la presión osmótica, con evidentes repercusiones sobre la vegetación, interfiriendo en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y otras plantas no especializadas. Desde un punto de vista agronómico, la salinidad se expresa en términos de conductividad eléctrica (CE), la cual indica la velocidad con la que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, siendo esta proporcional a la concentración de sales en la solución (Basurto *et al.* 2008).

La CE se mide en milimhos por centímetro cúbico (mmhos/cm<sup>3</sup>) también conocida como decisim (dSm-1) (Basurto *et al.* 2008). La salinidad tiene lugar en regiones subhúmedas, áridas y semiáridas, así como en regiones costeras húmedas, donde las depresiones se enriquecen con sales a una rapidez mayor que la de su lixiviación.

La acumulación de sales es preferencial en los suelos con depresiones con un contenido elevado de arcillas y baja permeabilidad, con lixiviación reducida, así como sulfatos y cloruros como sales predominantes (Basurto *et al.* 2008).

### **Consecuencias de la salinidad en las plantas**

La salinidad afecta cada aspecto de la fisiología de la planta y su metabolismo. La alta concentración de sales le ocasiona un desequilibrio iónico y estrés osmótico. Un fuerte estrés salino rompe la homeostasis del potencial hídrico y la distribución de iones (Alcaraz-Ariza 2012).

Los efectos de las sales en las plantas, se presentan cuando son sometidas a elevadas concentraciones de una sal, lo que afecta la retención del agua, y de los efectos iónicos que esto ocasiona, muy específicamente sobre el citoplasma y las membranas de las células. El estrés salino rompe la homeostasis iónica de las

plantas al provocar un exceso tóxico de sodio ( $\text{Na}^+$ ) en el citoplasma y una deficiencia de iones como el potasio (Alcaraz-Ariza 2012).

El sodio inhibe muchas enzimas y por eso es importante prevenir la entrada del mismo al citoplasma (Alcaraz-Ariza, 2012).

Los sistemas enzimáticos de la glicólisis, ciclo de Krebs y la fotofosforilación son especialmente sensibles a las soluciones salinas, y dan como resultado una menor disponibilidad de energía, adquisición de nutrientes y una disminución del crecimiento de la planta y germinación de la semilla (Alcaraz-Ariza 2012).

### **Suelos calcáreos**

Los suelos calcáreos contienen frecuentemente más de 15% de  $\text{CaCO}_3$  en el suelo que pueden ocurrir en distintas formas (pulverulento, nódulos, costras etc.). Los suelos con un alto contenido de  $\text{CaCO}_3$  pertenecen al grupo de Suelos de Referencia (WRB) Calcisoles y a otros subgrupos cálcicos relacionados. Se encuentran en las zonas áridas de la tierra (FAO, 2016).

La productividad potencial de los suelos calcáreos es alta cuando el agua y nutrientes se encuentran disponibles en cantidades adecuadas. La saturación elevada del calcio tiende a mantener los suelos calcáreos en formas bien agregadas y buenas condiciones físicas. Sin embargo, cuando los suelos contienen un piso de arado impermeable (horizonte petrocálcico) se debe implementar el laboreo profundo para romper la capa siguiendo con la instalación de un sistema eficiente de drenaje (FAO, 2016).

El riego por surcos es más eficiente que el riego por inundación en suelos calcáreos apagados. En tierras onduladas, las curvas de nivel y riegos por aspersión son alternativas más eficaces que la implementación de riego por inundación. El riego por goteo se puede también implementar (FAO, 2016).

Los suelos calcáreos suelen ser pobres en el contenido de materia orgánica y nitrógeno. El nitrógeno en fertilizante se puede aplicar en cualquier momento, justo antes de la plantación hasta el momento donde la planta se encuentra bien establecida. La aplicación de nitrógeno al lado de la hilera es un método eficaz. Se debe tomar en cuenta de no aplicar nitrógeno cerca de la semilla ya que puede evitar la germinación de esta. Fuentes de nitrógeno de amoníaco y urea no se deben dejar en la superficie de los suelos de suelos calcáreos, ya que puede ocurrir una pérdida considerable de amoníaco mediante la volatilización y se deben incorporar en el suelo (FAO, 2016).

El fósforo a menudo presenta escasez en suelos calcáreos. Las cantidades aplicadas dependen en de la deficiencia en el suelo y al requerimiento del cultivo. Una aplicación de fósforo excesiva puede causar otras deficiencias como el zinc y el hierro. Para una respuesta eficaz en los suelos calcáreos se debe efectuar la aplicación en solución en agua (FAO, 2016).

Las aplicaciones de fósforo en banda son más efectivas en comparación con las aplicaciones al voleo. Las aplicaciones efectuadas durante la siembra se han reconocido como las más apropiadas ya que el fósforo se requiere en más abundancia durante las fases juveniles del crecimiento de la planta (FAO, 2016).

Los suelos calcáreos sufren con frecuencia de la deficiencia de micronutrientes, especialmente el cinc y el hierro. La deficiencia del cinc es más pronunciada en los cultivos, especialmente intensivos y de alto rendimiento, de maíz (FAO, 2016).

## **Alcalinidad**

Las áreas con suelos alcalinos ocurren predominantemente en regiones áridas y su ocurrencia depende del tipo de material del suelo original, de la vegetación, de la hidrología y del manejo del suelo, especialmente en áreas con sistemas de irrigación mal manejados (Rowell, 1994).

La alcalinidad del suelo ( $\text{pH} > 7$ ) se presenta en suelos donde el material es calcáreo o dolomítico o donde ha habido una acumulación de sodio intercambiable, naturalmente o bajo irrigación. Tales suelos tienen altas concentraciones de iones  $\text{OH}^-$  asociados con altos contenidos de bicarbonatos y carbonatos; los suelos sódicos tienen una baja estructura y estabilidad a causa del alto contenido de sodio intercambiable y muchos de ellos tienen la capa superior o el subsuelo densos (Rowell, 1994).

Las condiciones alcalinas del suelo causan varios problemas nutricionales a las plantas como la clorosis, en razón de la incapacidad de las plantas de absorber suficiente hierro o manganeso. También pueden ocurrir deficiencias de cobre y zinc y también de fósforo a causa de su baja solubilidad. Si el suelo tiene un alto contenido de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  puede ocurrir una deficiencia de potasio porque este puede ser rápidamente lixiviado. También puede haber deficiencia de nitrógeno debido generalmente al bajo contenido de materia orgánica (Rowell, 1994).

### **Alternativas de manejo nutricional en suelos calcáreos**

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en suelos calcáreos de textura pesada y  $\text{pH}$  alcalino, presenta una problemática muy especial en cuanto a la eficiencia en el uso de los fertilizantes fosfatados y problemas asociados con las propiedades físicas del suelo, lo cual acarrea un requerimiento alto de fertilizantes y menores rendimientos del cultivo (UAAAN, 1985).

Los mejoradores de suelo son materiales que, al ser aplicados, ayudan al suelo a desempeñar más eficientemente las funciones que realiza en beneficio de las plantas. En un estudio se evaluó el efecto de diferentes dosis de minerales expandidos (vermiculita y perlita), estiércoles (bovino, caprino, porcino, gallinaza y guano de murciélago), materiales vegetales (cebada verde, paja de trigo y tamo de

dátil) y acidificante (azufre agrícola) sobre propiedades selectas de varios suelos calcáreos, y se encontró que todos los mejoradores producían cambios benéficos en los suelos (UAAAN, 1985).

Los Suelos Calcáreos son aquellos muy ricos en carbonato de calcio, con un pH muy elevado, entre 7.3 y 8.5. Estos suelos ocasionan problemas en algunos cultivos por la baja disponibilidad de nutrientes, sobre todo en lo que se refiere a minerales como el hierro, manganeso, zinc o cobre, o un incremento de elementos tóxicos como el molibdeno. Uno de los síntomas más claros de este tipo de suelos es la clorosis férrica, una enfermedad de las plantas causada por la deficiencia de este mineral y que se caracteriza por el amarillamiento de las hojas y la menor producción de la planta. (Botanical, 1999-2016)

Hay ciertas plantas como el orégano o el tomillo, que prefieren este tipo de suelos. La presencia de este tipo de plantas es un indicador de que no resulta adecuado el suelo para plantar otras especies que prefieren suelos más ácidos.

La clorosis férrica de las plantas es un problema que afecta el desarrollo de los cultivos en suelos de elevado pH o calcáreos. El síntoma característico es una clorosis internerval que afecta más a las hojas jóvenes que a las maduras. Siempre se ha sostenido que la deficiencia se produce por una baja disponibilidad de Fe en estos suelos, junto con una reducción en la absorción y translocación dentro de la planta.

Para solucionar estos problemas se puede recurrir a la incorporación del terreno de materiales ácidos como el quelato de hierro, el sulfato de aluminio, el azufre. Se pueden utilizar otros elementos ácidos como el estiércol, turba, hojas de pino, etc. (CHAVES, 1993).

En los suelos con un nivel demasiado elevado de sodio es común que presenten un pH por encima de 8. Este tipo de suelos hace que el agua quede retenida al poseer

una porosidad reducida. Para solucionar este problema se utiliza el yeso o sulfato de calcio, combinado con un regado adecuado que posibilite la limpieza del sodio acumulado en las raíces (CHAVES, 1993).

Los suelos con un nivel demasiado elevado de sales originan problemas a plantas por que imposibilita la absorción del agua, lo que, en la práctica, origina problemas de sequedad. La solución a este problema consiste en la eliminación del exceso de sales mediante un regado abundante con agua adecuada (CHAVES, 1993).

### **Fertilizantes orgánicos y sus efectos**

Los fertilizantes orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrimentos; el suelo, con la descomposición de estos abonos, se ve enriquecido con carbono orgánico y mejora sus características físicas, químicas y biológicas (Castellanos *et al.*, 1982).

Antes de la aparición de los fertilizantes químicos en sus diferentes formas, la única manera de abastecer nutrimentos a las plantas y reponer aquellos extraídos del suelo por los cultivos, era mediante la utilización de abonos orgánicos.

El cambio de uso de fertilizantes orgánicos por químicos en la fertilización de cultivos, actualmente está propiciando que el suelo sufra de un agotamiento acelerado de materia orgánica y de un desbalance nutrimental, y que al transcurrir el tiempo pierda su fertilidad y capacidad productiva (Castellanos *et al.*, 1982).

Los abonos orgánicos, por las propias características en su composición son formadores del humus y enriquecen al suelo con este componente, modificando algunas de las propiedades y características del suelo como el pH, capacidad de intercambio iónico, quelatación de elementos, disponibilidad de fósforo, calcio, magnesio y potasio mejorando así el rendimiento de los cultivos (Trinidad, 1987).

Por sus efectos favorables que propician al suelo se podría decir que los abonos orgánicos deben ser imprescindibles en el uso y manejo de este recurso para mejorar y mantener su componente orgánico, sus características de una entidad viviente, su fertilidad física, química y biológica, así como su productividad (Ruíz Figueroa, J. Feliciano, 1966).

### **Efectos de los abonos orgánicos sobre las características físicas del suelo**

Los abonos orgánicos influyen favorablemente en las características físicas del suelo tales como la estructura, porosidad, aireación, capacidad e retención de agua, infiltración, conductividad hidráulica y estabilidad de agregados (Trinidad, 1987).

Una mayor porosidad aumenta la capacidad del suelo para retener agua e incrementa la velocidad de infiltración, también está relacionada inversamente con la densidad aparente del suelo y con aspectos de compactación del mismo.

### **Efectos de los abonos orgánicos sobre las características químicas del suelo**

La composición química de los abonos orgánicos variará de acuerdo a su origen. Las plantas, los residuos de cosecha, los estiércoles, etc. Difieren grandemente en cuanto a los elementos que contienen. Con el uso de abonos orgánicos se ha observado que el pH en suelos ligeramente ácidos o neutros tiende a aumentar (Trinidad, 1987).

### **Efectos de los abonos orgánicos sobre las características biológicas del suelo**

Se debe a que los estiércoles contienen grandes cantidades de compuestos de fácil descomposición, cuya adición casi siempre resulta en un incremento de la actividad

biológica. Los microorganismos influyen en muchas propiedades del suelo y también ejercen efectos directos en el crecimiento de las plantas (Castellanos *et al.*, 1982).

### **Efectos de los abonos orgánicos en la inhibición de patógenos del suelo**

Los abonos orgánicos pueden prevenir y controlar la presencia y severidad de las enfermedades del suelo. Incrementan la capacidad biológica del suelo para amortiguar patógenos, reducen el número de patógenos por la competencia que se establece con los microorganismos no patógenos del suelo, aumentan el contenido de Nitrógeno amoniacal con el proceso de mineralización del abono orgánico, incrementan la capacidad de los hospedantes para provocar rechazo hacia los patógenos (Cruz Medrano, 1986).

Al aplicar materiales orgánicos al suelo, se promueve el crecimiento de raíces y la absorción de nutrimentos con repercusión en el rendimiento.

Algunas investigaciones han demostrado que el ácido fúlvico se transporta a los brotes de la planta a una mayor medida en que los ácidos húmicos (Carly *et al.*, 1985).

Las investigaciones realizadas con plantas de tomate revelaron que las plantas tratadas con ácido fúlvico tenía una participación importante con efectos benéficos sobre el peso de las raíces y tallo, superando los beneficios de las plantas tratadas con Ácido húmico (Sladky, 1959). Una aplicación foliar de ácido fúlvico produjo una mayor longitud del tallo, más peso fresco, peso seco de los tallos y peso de la raíz.

El fósforo es un macro-elemento que juega un importante papel en el desarrollo de las plantas superiores. Tiene varias funciones en las plantas. Es un componente de la clave de las moléculas tales como ácidos nucleicos, fosfolípidos y ATP, y, en consecuencia, las plantas no pueden crecer sin un fiable suministro de este nutriente (Daniel *et al.*, 1998). P es también involucrado en el control de las reacciones

enzimáticas clave y en regulación de las vías metabólicas (Theodorou y Plaxton, 1993).

Además, el pH alto reduce la disponibilidad de fósforo administrada como fertilizante. El fósforo es un mineral eficiente en el desarrollo de la raíz y el desarrollo de la planta y la raíz se observa pobre en el caso de un suministro insuficiente de fósforo (Hopkins y Ellsworth, 2005).

## **El Rootex**

### **Que es el Rootex**

ROOTEX es una combinación de fitohormonas, aminoácidos, ácidos orgánicos y nutrientes cuya finalidad es inducir la emisión de raíces, así como fortalecer su crecimiento posterior (Cosmocel, S.A).

El Rootex es un polvo soluble enraizante para plantas es un promotor de raíces fuertes, vigorosas y eficientes. Está compuesto por nitrógeno total 8'8%; fósforo 46%; potasio 6'5%; aminoácidos libres 3'3%; materia orgánica 19'8%, siendo un formulado en polvo de alta concentración de extractos orgánicos L-aminoácidos libres y fósforo (Cosmocel, 2014).

### **Beneficios del Rootex**

Los beneficios generales del Rootex son principalmente un reforzamiento del sistema radicular, una mayor capacidad exploratoria del suelo, una mejor formación de tejidos vasculares y una mayor capacidad para sintetizar hormonas que en conjunto establecen condiciones para un mayor potencial productivo (Cosmocel, S.A).

Con el uso del Rootex se consigue una mayor capacidad exploratoria del suelo por parte de las raíces, una mejor formación de tejidos vasculares y una mayor capacidad para sintetizar hormonas que en conjunto establecen condiciones para un mayor potencial productivo (Cosmocel, 2010).

Los beneficios de utilizar Rootex Cosmocel enraizante para plantas son los siguientes:

- Produce un sistema radicular de alta eficiencia.
- Aumenta la recuperación de los fertilizantes aplicados.
- Una recuperación más rápida de los cultivos al trasplante, reduciendo la pérdida de la plántula.
- Incrementa la uniformidad del cultivo.
- Reduce los daños ocasionados por enfermedades y plagas radiculares.

Además Rootex Cosmocel enraizante para plantas, tiene aminoácidos, ácidos orgánicos y nutrientes cuya finalidad es inducir la emisión de raíces, así como fortalecer su crecimiento posterior; por su composición también actúa sobre el resto de las etapas fisiológicas; para aplicar en plantas recién trasplantadas para favorecer el establecimiento. Para aplicación al suelo en cultivos anuales y perennes, bajo condiciones de riego por gravedad y presurizados, así como cultivos bajo condiciones de temporal (Cosmocel, 2014).

### **Composición del Rootex**

**Composición:** nitrógeno total 7%; fósforo 47%; potasio 6%; L-Aminoácidos y ácidos orgánicos 18.5%; fitohormonas 300 ppm.

Es una combinación de fitohormonas, aminoácidos, ácidos orgánicos y nutrientes en forma de polvo soluble cuya finalidad es inducir la emisión de raíces, así como fortalecer su crecimiento posterior (Cosmocel, 2010).

Es un componente muy eficaz para la aplicación al suelo en cultivos anuales y perennes, bajo condiciones de riego por gravedad y presurizados, así como cultivos bajo condiciones de temporal (Cosmocel, 2010).

### **Descripción del Rootex**

ROOTEX es un polvo soluble, combinación de fitohormonas, aminoácidos, ácidos orgánicos y nutrientes, cuya finalidad es inducir la emisión de raíces y fortalecer su crecimiento posterior. Un pelo radicular vive entre 8 y 14 días, son las auxinas citoquininas y giberelinas, las que multiplican y elongan las células, en condiciones de estrés la raíz deja de producir citoquininas y produce etileno, la planta tiene una pequeña cabellera radicular y se le dificulta absorber nutrientes y agua, por lo tanto la planta se enferma más fácilmente (Cosmocel, 2014).

ROOTEX al ser aplicado en la zona radicular promueve una mayor cantidad de raíces, e incrementa la capacidad exploratoria del suelo, una mejor formación del tejido vascular y una mayor capacidad de sintetizar hormonas, lo que conduce a un mayor potencial productivo, y balance hormonal en la planta (Cosmocel, 2014).

### **Compatibilidad del Rootex**

ROOTEX es compatible con los agroquímicos normalmente usados en la agricultura, que se aplican al suelo especialmente con nematicidas (Cosmocel, 2014).

### **Dosis de aplicaciones recomendadas para cultivos**

Las dosis recomendadas de Rootex en cultivos agrícolas son las siguientes: Tomate, Pimiento, Berenjena 3 g/L. Frijol, Haba, Maní 0.5 Kg/200 Litros. Fresa 3 g/L. Cacao,

Aguacate, Cítricos, Mango, Manzana, Durazno 1.5 - 2 Kg/200 Litros. Melón, Pepinillo, Sandía 0.5 Kg/200 Litros. Papa 1 - 2 Kg/200 Litros. Banano 2 - 3 Kg/Ha. Arroz 1 - 2 Kg/Ha. Ornamentales 2 - 3 g/L (Cosmocel, 2014).

### **Frutales (Aguacate, cítricos, manzano, vid)**

Enraizamiento: riego presurizado: 3-5 kg/ha y aplicación, aplicar después del trasplante, repetir según desarrollo; aplicación árbol por árbol: 5-8 kg/ha y aplicación, aplicar al pie, procurando hacer una distribución uniforme de la solución; crecimiento: aplicación en riego presurizado: 10-15 kg/ha y aplicación, 1-2 aplicaciones.

### **Hortalizas (Berenjena, cebolla, melón, sandía, tomate)**

Enraizamiento: riego por goteo: 2-5 kg/ha y aplicación, aplicar al trasplante; planta por planta: 2-4 kg/ha y aplicación, realizar la aplicación al pie de planta, procurando hacer una distribución uniforme de la solución; crecimiento: riego por goteo: 3-6 kg/ha y aplicación, hacer 1 o 2 aplicaciones en riegos continuos según problema.

### **Ornamentales**

Mediante riego presurizado: 17-30 kg/ha en crecimiento, 2 aplicaciones a la semana después de la plantación.

En plántulas recién trasplantadas aplicar una vez que se inicie la actividad radicular a los 1-5 días después del trasplante, repitiendo el tratamiento 1-2 veces cada 7 días; en cultivos anuales establecidos aplicar cada 10-15 días durante la época de corte; en cultivos perennes aplicar cuando se inicie el flujo de las raíces o bien durante la fructificación. Se recomiendan realizar 2-3 aplicaciones. No aplicar en prados, praderas o tierras de pastoreo (Cosmocel, 2014).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización del experimento**

El trabajo se realizó en un invernadero tipo capilla del Departamento de Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

### **Obtención de plántula**

Para la siembra se usaron dos charolas de poliestireno de 200 cavidades con sustrato perlita y peat moss (germinex) proporción 50-50. Se utilizó semilla de tomate híbrido de hábito de crecimiento indeterminado variedad "Caimán". La nutrición se llevó a cabo utilizando solución nutritiva Steiner al 20 % de concentración.

### **Trasplante**

El trasplante se realizó 30 días después de la siembra el día 3 de abril del presente año. Se utilizaron macetas de polietileno de 19 L. Estas se llenaron con el suelo calcáreo el cual fue mezclado previamente con el fertilizante (MAP) dependiendo de las dosis y tratamientos utilizados.

### **Aplicación de Rootex**

Se realizó una aplicación del producto Rootex de COSMOCEL al siguiente día después del trasplante a una dosis de  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  para todos los tratamientos.

Posteriormente se realizaron aplicaciones de Rootex cada 2 semanas durante el periodo en que se desarrolló el cultivo dando un total de tres aplicaciones. La forma de aplicación fue disolver previamente los diferentes tratamientos en agua común y aplicar la solución a cada una de las macetas en la parte cercana al tallo.

### **Nutrición del cultivo**

Para la nutrición del cultivo se utilizó la solución nutritiva de Steiner modificada, ya que se eliminó el P en la misma. El pH de la solución se ajustó a 6.5 cada vez que se realizó la preparación de la misma.

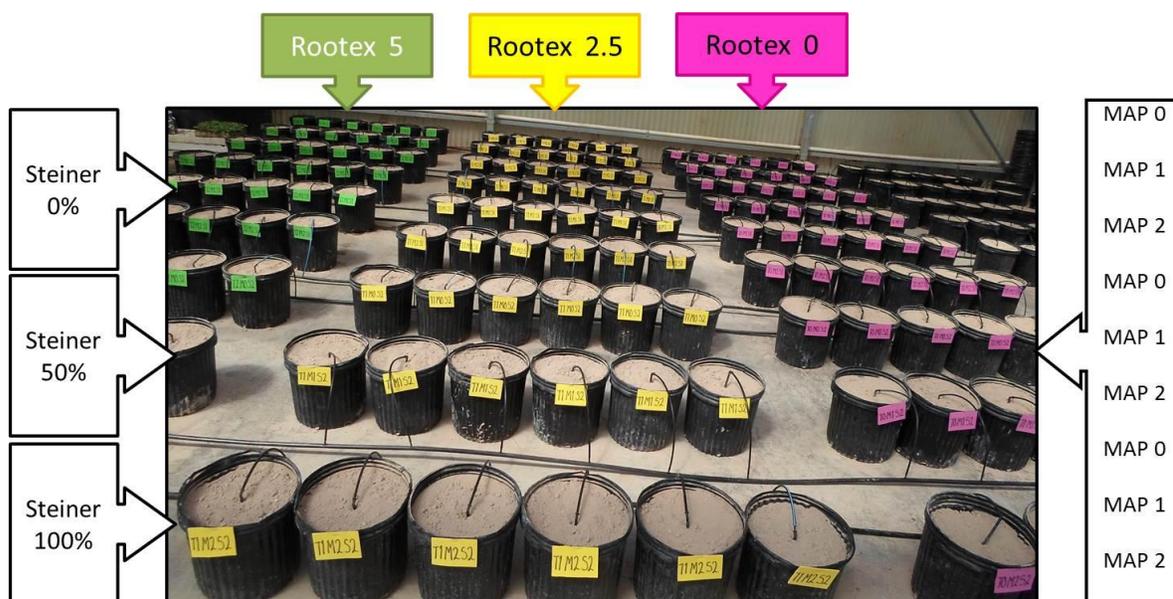
### **Labores culturales**

Durante el desarrollo del cultivo se movió el suelo superficial de las macetas para evitar la formación de algas. Además, a los 8 días después del trasplante las plantas de tomate se tutoraron con rafia común y utilizando anillos para tutoreo.

### **Tratamientos y diseño experimental**

La prueba incluyó la aplicación del producto Rootex en dos dosis: 2.5 y 5 kg ha<sup>-1</sup> más un testigo (0 kg ha<sup>-1</sup>). Se utilizaron como factores adicionales la aplicación de solución nutritiva Steiner en dos concentraciones (50% y 100%) más un testigo (agua común), así como la aplicación de MAP en dos dosis: 769.23 y 384.62 kg ha<sup>-1</sup> más un testigo (0 kg ha<sup>-1</sup>). Esto dio lugar a una combinación de tres dosis de Rootex (3), tres concentraciones de solución nutritiva Steiner modificada (3) y tres dosis de MAP (3), totalizando 3X3X3 = 27, veintisiete tratamientos. La distribución experimental de

los mismos se muestra en la **Figura 1**, mientras que en la **Tabla 1** se describen los tratamientos. Se usó un arreglo factorial y para determinar la existencia de diferencias entre tratamientos se realizó un ANOVA y una comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) con el paquete estadístico SAS® 9.1.



**Figura 1.** Arreglo experimental de los tratamientos de Rootex ( $5=5 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $2.5=2.5 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $0=0 \text{ kg ha}^{-1}$ ), solución Steiner, y fertilización de fondo con MAP (MAP 0= $0 \text{ kg ha}^{-1}$ , MAP 1= $384.62 \text{ kg ha}^{-1}$ , MAP 2= $769.23 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Cada tratamiento de solución Steiner se aplicó a tres filas de macetas, mientras cada dosis de MAP se aplicó a una fila.

**Tabla 1.** Descripción de tratamientos y sus combinaciones.

T0-M0-S0	T1-M0-S0	T2-M0-S0
T0-M1-S0	T1-M1-S0	T2-M1-S0
T0-M2-S0	T1-M2-S0	T2-M2-S0
T0-M0-S1	T1-M0-S1	T2-M0-S1
T0-M1-S1	T1-M1-S1	T2-M1-S1
T0-M2-S1	T1-M2-S1	T2-M2-S1
T0-M0-S2	T1-M0-S2	T2-M0-S2
T0-M1-S2	T1-M1-S2	T2-M1-S2
T0-M2-S2	T1-M2-S2	T2-M2-S2

T0 = Tratamiento sin aplicación de Rootex (testigo). T1 = Aplicación de Rootex a una dosis de  $2.5 \text{ kg ha}^{-1}$ . T2 = Aplicación de Rootex a una dosis de  $5 \text{ kg ha}^{-1}$ . M0 =

Aplicación de MAP a una dosis de 0 kg ha<sup>-1</sup> (testigo). M1 = Aplicación de MAP a una dosis de 384.62 kg ha<sup>-1</sup>. M2 = Aplicación de MAP a una dosis de 769.23 kg ha<sup>-1</sup>. S0 = Aplicación de solución Steiner a una concentración de 0% (agua común). S1 = Aplicación de solución Steiner a una concentración de 50%. S2 = Aplicación de solución Steiner a una concentración de 100%.

## **Variables evaluadas**

**A los 55 días después del trasplante se evaluaron las siguientes variables en el cultivo de tomate:**

- Altura de planta (cm): se realizó con un flexómetro midiendo desde la base del tallo hasta la parte del meristemo apical.
- Diámetro de tallo (mm): se usó un vernier y la medición se hizo en el tallo a la altura de la primera hoja verdadera.
- Longitud de raíz (cm): se midió la raíz más larga con un flexómetro.
- Peso fresco de raíz (g): se pesó inmediatamente después de sacarla del suelo y lavarla.
- Peso seco de raíz (g): se cuantificó después de secar en horno de secado a 80°C durante cuatro días.
- Peso fresco de frutos (g): se cuantificó el total de frutos y se pesó en una balanza digital.
- Peso seco de frutos (g): se obtuvo después de secar a 80°C en horno de secado durante cuatro días.
- Peso fresco de parte aérea de la planta (g): se cortó desde la base del tallo y se pesó al momento en una balanza digital sin considerar los frutos.
- Peso seco de parte aérea de la planta (g): se obtuvo después de secar en horno de secado a 80°C durante cuatro días.
- También se cuantificó el número de hojas, número de racimos, número de flores, número de abortos y número de frutos totales existentes en cada planta.

*Análisis de tejido foliar y muestras del suelo*

A los 52 días después del trasplante se tomaron muestras del tejido foliar compuestas por las seis plantas de cada tratamiento. Se consideró la cuarta hoja en cada planta. Estas se analizaron en laboratorio y se realizó una correlación entre los minerales evaluados en los tejidos y los tres factores de evaluación en el experimento (Tratamientos de Rootex, MAP y Solución Steiner). El análisis de correlación se realizó con el paquete estadístico SAS® 9.1 y se utilizó el índice de correlación de Spearman.

Al final del experimento se tomaron muestras de suelo compuestas por las seis plantas de cada tratamiento. Estas se analizaron en laboratorio y se realizó una correlación entre las variables evaluadas y los tres factores de evaluación en el experimento (Tratamientos de Rootex, MAP y Solución Steiner). El análisis de correlación se realizó con el paquete estadístico SAS® 9.1 y se utilizó el índice de correlación de Spearman.

Adicionalmente, se realizó una correlación entre las variables medidas en el suelo y los minerales evaluados en el tejido foliar. El análisis de correlación se realizó con el paquete estadístico SAS® 9.1 y se utilizó el índice de correlación de Spearman.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables agronómicas

Después de haber realizado los análisis de datos correspondientes se encontró que en todas las variables evaluadas existen diferencias estadísticamente significativas en las diferentes dosis de MAP y concentraciones de solución Steiner (**Tablas 2-15**). Asimismo, en algunos casos se mostraron diferencias significativas en las interacciones, las cuales se presentan en la **Tabla 16**. Se puede apreciar que la interacción MAP\*Steiner se encontró en todas las variables evaluadas que presentaron diferencias estadísticas en las interacciones, esta misma MAP\*Steiner, en conjunto con la interacción Rootex\*Steiner, fueron las únicas con diferencias estadísticas (**Tabla 16**). La interacción Rootex\*Steiner mostró diferencias significativas en las variables longitud de raíz y peso fresco de raíz, siendo la mejor combinación 2.5\*100 (**Tabla 16**), indicando que la interacción de producto Rootex con solución Steiner favorece el comportamiento de dichas variables.

Respecto a los tratamientos del producto Rootex también se encontraron diferencias estadísticas en nueve de las variables evaluadas (altura de la planta, número de hojas, número de racimos, número de frutos, número de abortos, peso fresco de la parte aérea, peso fresco de frutos, peso seco de parte aérea, peso seco de frutos) (**Tablas 2, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 13 y 14**), mientras que en el resto (diámetro de tallo, número de flores, longitud de raíz, peso fresco de raíz y peso seco de raíz) (**Tablas 3, 7, 9, 12 y 15**) no se detectaron. Se puede observar que el tratamiento de Rootex que presentó los mejores resultados estadísticamente significativos en las variables agronómicas evaluadas fue el de 5 kg ha<sup>-1</sup>, siendo este en todos los casos el mejor (**Tablas 2, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 13 y 14**). Estos resultados indican que el producto Rootex promueve el mejor crecimiento de las plantas de tomate.

En cuanto a la fertilización de fondo con MAP se encontró que con excepción del número de abortos y longitud de raíz, en todos los casos ambas dosis de MAP (769.23 y 384.62 kg ha<sup>-1</sup>) fueron estadísticamente superiores al testigo (0 kg ha<sup>-1</sup>). En el caso del número de abortos el testigo fue superior a ambos tratamientos (**Tabla 8**). En el caso de la longitud de raíz la mejor dosis de MAP fue la de 384.62 kg ha<sup>-1</sup>, siendo superior tanto al testigo como a la dosis de 769.23 kg ha<sup>-1</sup> (**Tabla 9**).

Por su parte en las diferentes concentraciones de la solución Steiner modificada se encontró que con excepción del número de abortos y longitud de raíz ambas concentraciones (50% y 100%) fueron superiores al testigo (agua común) (**Tablas 8 y 9**). En el caso del número de abortos el testigo presentó el mayor número, siendo superior a ambas concentraciones de solución Steiner (**Tabla 8**). En el caso de la longitud de raíz la concentración del 100% fue mejor que el testigo pero estadísticamente igual a la concentración de 50% (**Tabla 9**). Es notorio además que solamente en las variables número de frutos, peso fresco de raíz y peso seco de raíz las dos concentraciones de solución Steiner fueron estadísticamente diferentes (**Tablas 6, 12 y 15**)

**Tabla 2.** Tabla de comparación de medias de la **altura de la planta** y su correspondiente significancia de los factores evaluados. †Media correspondiente. ‡Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey, P≤0.05).

	MAP			ROOTEX			SOLUCIÓN STEINER		
<b>384.62</b>	115.352	A	5	112.944	A	100	119.241	A	
<b>769.23</b>	111	B	2.5	107.093	B	50	116.833	A	
<b>0</b>	93.537	C	0	99.852	C	0	83.815	B	

**Tabla 3.** Tabla de comparación de medias del **diámetro de tallo** y su correspondiente significancia de los factores evaluados. †Media correspondiente. ‡Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey, P≤0.05).

	MAP			ROOTEX			SOLUCIÓN STEINER		
<b>769.23</b>	11.2143	A	5	10.5011	A	100	11.1335	A	
<b>384.62</b>	10.8833	A	0	10.4622	A	50	10.828	A	
<b>0</b>	9.2928	B	2.5	10.427	A	0	9.4289	B	

**Tabla 4.** Tabla de comparación de medias del **número de hojas** y su correspondiente significancia de los factores evaluados. †Media correspondiente. ‡Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

	MAP			ROOTEX			SOLUCIÓN STEINER		
<b>769.23</b>	21.33	A	5	20.48	A	100	21.76	A	
<b>384.62</b>	21.07	A	2.5	19.85	B	50	21.22	A	
<b>0</b>	16.94	B	0	19.01	C	0	16.37	B	

1

**Tabla 5.** Tabla de comparación de medias del **número de racimos** y su correspondiente significancia de los factores evaluados. †Media correspondiente. ‡Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

	MAP			ROOTEX			SOLUCIÓN STEINER		
<b>769.23</b>	4.44	A	5	4.21	A	100	4.48	A	
<b>384.62</b>	4.31	A	2.5	4.11	A	50	4.43	A	
<b>0</b>	3.26	B	0	3.7	B	0	3.11	B	

**Tabla 6.** Tabla de comparación de medias del **número de frutos** y su correspondiente significancia de los factores evaluados. †Media correspondiente. ‡Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

	MAP			ROOTEX			SOLUCIÓN STEINER		
<b>769.23</b>	13	A	5	13.13	A	100	14.28	A	
<b>384.62</b>	12.46	A	2.5	11.43	B	50	12.44	B	
<b>0</b>	9.04	B	0	9.94	C	0	7.78	C	

**Tabla 7.** Tabla de comparación de medias del **número de flores** y su correspondiente significancia de los factores evaluados. †Media correspondiente. ‡Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

	MAP			ROOTEX			SOLUCIÓN STEINER		
<b>769.23</b>	9.46	A	2.5	8.15	A	50	8.85	A	
<b>384.62</b>	9.07	A	0	7.94	A	100	8.18	A	
<b>0</b>	5.39	B	5	7.83	A	0	6.89	B	

**Tabla 8.** Tabla de comparación de medias del **número de abortos** y su correspondiente significancia de los factores evaluados. †Media correspondiente. ‡Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

	MAP			ROOTEX			SOLUCIÓN STEINER		
<b>0</b>	0.65	A	5	0.37	A	0	0.63	A	
<b>384.62</b>	0.07	B	0	0.24	A	100	0.09	B	
<b>769.23</b>	0.07	B	2.5	0.18	B	50	0.07	B	

**Tabla 9.** Tabla de comparación de medias de la **longitud de raíz** y su correspondiente significancia de los factores evaluados. †Media correspondiente. ‡Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

	MAP			ROOTEX			SOLUCIÓN STEINER		
<b>384.62</b>	59.13	A	5	52.87	A	100	54.39	A	
<b>0</b>	50.04	B	2.5	52.28	A	50	53.82	AB	
<b>769.23</b>	47.79	B	0	51.81	A	0	48.76	B	

**Tabla 10.** Tabla de comparación de medias del **peso fresco de la parte aérea** y su correspondiente significancia de los factores evaluados. †Media correspondiente. ‡Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

	MAP			ROOTEX			SOLUCIÓN STEINER		
<b>769.23</b>	669.42	A	5	578.1	A	100	679.46	A	
<b>384.62</b>	634.36	A	2.5	540.96	AB	50	653.92	A	
<b>0</b>	314.57	B	0	499.29	B	0	284.97	B	

**Tabla 11.** Tabla de comparación de medias del **peso fresco de frutos** y su correspondiente significancia de los factores evaluados. †Media correspondiente. ‡Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

	MAP			ROOTEX			SOLUCIÓN STEINER		
<b>769.23</b>	306.85	A	5	357.05	A	100	330.95	A	
<b>384.62</b>	282.6	A	2.5	251.3	B	50	308.24	A	
<b>0</b>	187.7	B	0	168.81	C	0	137.97	B	

**Tabla 12.** Tabla de comparación de medias del **peso fresco de raíz** y su correspondiente significancia de los factores evaluados. †Media correspondiente. ‡Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

	MAP			ROOTEX			SOLUCIÓN STEINER		
<b>769.23</b>	37.64	A	5	32.36	A	100	38.06	A	
<b>384.62</b>	34.66	A	0	31.01	A	50	33.31	B	
<b>0</b>	20.74	B	2.5	29.69	A	0	21.68	C	

**Tabla 13.** Tabla de comparación de medias del **peso seco de la parte aérea** y su correspondiente significancia de los factores evaluados. †Media correspondiente. ‡Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

	MAP			ROOTEX			SOLUCIÓN STEINER		
<b>769.23</b>	88.09	A	5	81.51	A	100	91.39	A	
<b>384.62</b>	87.59	A	2.5	75.92	AB	50	85.85	A	
<b>0</b>	54.21	B	0	72.46	B	0	52.66	B	

**Tabla 14.** Tabla de comparación de medias del **peso seco de frutos** y su correspondiente significancia de los factores evaluados. †Media correspondiente. ‡Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

	MAP			ROOTEX			SOLUCIÓN STEINER		
<b>769.23</b>	20.66	A	5	23.42	A	100	21.98	A	
<b>384.62</b>	19.32	A	2.5	17.61	B	50	20.74	A	
<b>0</b>	14.11	B	0	13.07	C	0	11.37	B	

**Tabla 15.** Tabla de comparación de medias del **peso seco de la raíz** y su correspondiente significancia de los factores evaluados. †Media correspondiente. ‡Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

	MAP			ROOTEX			SOLUCIÓN STEINER		
<b>769.23</b>	7.68	A	5	6.19	A	100	7.48	A	
<b>384.62</b>	6.33	B	0	6.08	A	50	6.46	B	
<b>0</b>	3.89	C	2.5	5.63	A	0	3.97	C	

Pérez, (1981) encontró que las dosis bajas de N provocan un aumento en la masa radicular de la planta y así lo demuestra la significancia obtenida en la variable peso seco de raíz. Estos efectos se tienen también en forma contraria o sea, menor

crecimiento de parte aérea en los niveles bajos de fertilización por un menor crecimiento radicular en dosis altas.

**Tabla 16.** Descripción de las interacciones que presentaron diferencias estadísticas significativas para todas las variables evaluadas. Nota: las interacciones y variables evaluadas que no se presentan es porque no tienen diferencias estadísticas significativas.

Variable evaluada	Interacción que presenta diferencias estadísticas	Mejores interacciones	
Altura de planta	MAP*Steiner	384.62*100	769.23*100
Número de hojas	MAP*Steiner	769.23*100	384.62*100
Número de racimos	MAP*Steiner	769.23*100	384.62*50
Número de flores	MAP*Steiner	769.23*50	384.62*50
Número de abortos	MAP*Steiner	0*0	
Longitud de raíz	MAP*Steiner	384.62*50	384.62*100
	Rootex*Steiner	2.5*100	0*50
Peso fresco de frutos	MAP*Steiner	769.23*100	384.62*50
Peso fresco de raíz	MAP*Steiner	769.23*100	384.62*100
	Rootex*Steiner	0*100	5*50
Peso seco de frutos	MAP*Steiner	769.23*100	384.62*50
Peso seco de raíz	MAP*Steiner	769.23*100	384.62*50

En la **Tabla 17**, que presenta las medias del peso fresco la parte aérea de los 27 tratamientos, puede apreciarse que el mejor tratamiento (combinación de Rootex+MAP+Steiner) fue T1-M2-S1, correspondiente a una dosis de Rootex de 2.5 kg ha<sup>-1</sup> más 769.23 kg ha<sup>-1</sup> más solución Steiner modificada a una concentración del 50%. Enseguida están los tratamientos T2-M1-S2 y T2-M2-S2, los cuales consideran una dosis de Rootex de 5 kg ha<sup>-1</sup> y solución Steiner modificada a una concentración del 100% acompañados de una dosis de 384.62 y 769.23 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Esto nos muestra que el tratamiento T1-M2-S1 además de ser el que generó la mayor producción de biomasa fresca aérea, económicamente hablando es también el mejor, ya que se aplica la solución Steiner a la mitad de concentración lo que implica tan sólo en esta parte un ahorro del 50%, aunado a que la dosis de Rootex usada también es 50% menor. Además, se puede observar en la **Tabla 17** que

consistentemente al aumentar la dosis de Rootex, aumenta la producción de biomasa fresca aérea en rangos desde un 10% hasta un 45% dependiendo de las combinaciones con MAP y solución Steiner. Se observa además que en los ambientes en los que se usó la solución Steiner al 100% de concentración y con alguna dosis de Rootex, los mejores resultados se obtienen con la dosis media de MAP.

Pérez (1981) en su estudio realizado pudo observar que ni las aplicaciones de estiércol ni el fosforo tuvieron una influencia significativa sobre la altura de plantas y materia seca.

La aplicación de un nivel de 150 mg/l de Fósforo favorece el número de hojas, diámetro de tallos y peso fresco de brote en plántulas de tomate (Pérez, 1981).

**Tabla 17.** Medias de los 27 tratamientos correspondientes al peso fresco aéreo.

T0-M0-S0 54.10	T1-M0-S0 60.27	T2-M0-S0 64.10
T0-M1-S0 293.27	T1-M1-S0 384.60	T2-M1-S0 424.94
T0-M2-S0 384.94	T1-M2-S0 439.77	T2-M2-S0 458.77
T0-M0-S1 411.77	T1-M0-S1 439.77	T2-M0-S1 481.94
T0-M1-S1 696.60	T1-M1-S1 707.44	T2-M1-S1 791.77
T0-M2-S1 736.77	T1-M2-S1 873.60	T2-M2-S1 745.60
T0-M0-S2 366.27	T1-M0-S2 437.27	T2-M0-S2 515.60
T0-M1-S2 768.60	T1-M1-S2 777.44	T2-M1-S2 864.60
T0-M2-S2 781.27	T1-M2-S2 748.44	T2-M2-S2 855.60

En lo que respecta al peso fresco de frutos, las medias correspondientes a los 27 tratamientos usados se presentan en la **Tabla 18**. Al igual que en el caso del peso fresco de la parte aérea, el Rootex influyó de manera positiva en el peso fresco de frutos al aumentar la dosis, ya que en este caso, el rango de aumento fue de 35% hasta más de un 200% (M2-S0 y M0-S1) dependiendo de las combinaciones con MAP y solución Steiner. Además se muestra en la **Tabla 18**, que el mejor tratamiento fue el T2-M2-S1, correspondiente a una dosis de 5 kg ha<sup>-1</sup> de Rootex más una dosis de 769.23 kg ha<sup>-1</sup> de MAP y el uso de solución Steiner modificada al 50% de concentración. Esto concuerda con lo mostrado en la **Tabla 17** ya que en ese caso el mejor tratamiento fue el T1-M2-S1 con la única diferencia de la dosis de Rootex empleada. Estos resultados sugieren en principio que el efecto del Rootex es más pronunciado en la producción de frutos ya que al usar una dosis más alta aumenta la producción. Además, también los resultados sugieren que es mejor usar la solución Steiner modificada a una concentración del 50%, lo que genera un ahorro directo del 50% de fertilizantes para la preparación de la misma.

Rodríguez, (1998). En un estudio para evaluar el efecto del Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el crecimiento y producción de plántulas de tomate. Encontró que existe una tendencia a aumentar el crecimiento de la parte aérea de las plántulas al usar niveles altos de los elementos, ya que fueron significativas en algunas variables como el diámetro de tallo, número de hojas, peso fresco de brote y peso fresco total.

**Tabla 18.** Medias de los 27 tratamientos correspondientes al peso fresco de frutos.

T0-M0-S0 53.90	T1-M0-S0 75.87	T2-M0-S0 72.93
T0-M1-S0 103.28	T1-M1-S0 171.33	T2-M1-S0 238.88
T0-M2-S0 79.28	T1-M2-S0 190.03	T2-M2-S0 256.25
T0-M0-S1 104.48	T1-M0-S1 268.83	T2-M0-S1 338.48

T0-M1-S1 319.00	T1-M1-S1 349.36	T2-M1-S1 436.93
T0-M2-S1 188.23	T1-M2-S1 266.70	T2-M2-S1 502.12
T0-M0-S2 168.20	T1-M0-S2 228.92	T2-M0-S2 377.70
T0-M1-S2 173.25	T1-M1-S2 259.95	T2-M1-S2 491.45
T0-M2-S2 329.62	T1-M2-S2 450.72	T2-M2-S2 498.72

### **Análisis del suelo y tejido foliar**

Los resultados de la correlación efectuada entre las variables determinadas en los análisis del suelo y los tres factores bajo evaluación (Rootex, MAP, Solución Steiner) se presentan en la **Tabla 19**. En ésta se puede apreciar que los tratamientos de Rootex presentan una correlación positiva con el contenido de Ca, y una correlación negativa con la materia orgánica (MO) y con el sodio (Spearman,  $P \leq 0.05$ ). En cuanto al fósforo y demás variables evaluadas no se presentó ninguna correlación con el Rootex.

En cuanto a los tratamientos de MAP se encontró que estos tienen una correlación positiva con el Ca, nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), y una correlación negativa con la MO (Spearman,  $P \leq 0.05$ ). Así mismo se encontró que la solución Steiner presentó una correlación positiva con K, Mg, Na y  $\text{NO}_3$ , y una correlación negativa con el pH (Spearman,  $P \leq 0.05$ ).

**Tabla 19.** Correlaciones entre las variables medidas en el suelo y los tres factores evaluados (Rootex, MAP, Solución Steiner).

		Rootex		MAP		Steiner	
		Spearman	<i>P</i>	Spearman	<i>P</i>	Spearman	<i>P</i>
Variables medidas en el suelo	<b>MO</b>	-0.55556	0.0026	-0.41219	0.0326	0.01902	0.925
	<b>P Weak bray</b>	-0.02558	0.8992	-0.24041	0.2271	0.08715	0.6656
	<b>P Strong bray</b>	0.06403	0.751	-0.13574	0.4996	0.03246	0.8723
	<b>K</b>	-0.08999	0.6553	-0.32638	0.0966	0.78099	0.0001
	<b>Mg</b>	0.0751	0.7097	0.2711	0.1714	0.61215	0.0007
	<b>Ca</b>	0.41899	0.0296	0.55909	0.0024	0.25625	0.197
	<b>Na</b>	-0.47215	0.0129	-0.09633	0.6327	0.39699	0.0403
	<b>pH</b>	0.06287	0.7554	-0.30309	0.1243	-0.57969	0.0015
	<b>CIC</b>	0.33174	0.0909	0.56268	0.0022	0.35277	0.0711
	<b>NO<sub>3</sub></b>	0.12983	0.5186	0.49939	0.008	0.72718	0.0001
	<b>S</b>	0.22109	0.2678	-0.25108	0.2065	-0.30655	0.1199
	<b>Zn</b>	-0.06645	0.7419	-0.05038	0.8029	0.43267	0.0242
	<b>Mn</b>	-0.29166	0.1399	-0.4759	0.0121	0.16674	0.4058
	<b>Fe</b>	-0.21997	0.2703	0.65986	0.0002	-0.11489	0.5683
	<b>Cu</b>	-0.12201	0.5443	0.1732	0.3876	0.53922	0.0037
	<b>B</b>	-0.16326	0.4159	-0.33273	0.0899	0.66546	0.0002
<b>Sales solubles</b>	-0.02522	0.9006	0.12067	0.5488	0.69162	0.0001	

Se usó el índice de correlación de Spearman. El nivel de significancia  $<0.05$  se presenta con fondo verde. Las correlaciones positivas y con un índice  $>0.5$  se presentan con fondo rojo. Las correlaciones negativas y con un índice  $<-0.5$  se presentan con fondo amarillo.

Los resultados correspondientes a las correlaciones entre los minerales evaluados en el tejido foliar y los factores evaluados en el trabajo (Rootex, MAP, Solución Steiner) se presentan en la **Tabla 20**. Se observa que el Rootex presentó una correlación positiva con el S, K, Mg y Na, y una correlación negativa con Al (Spearman,  $P \leq 0.05$ ). Estos resultados sugieren que el Rootex afecta de manera distinta al suelo y al tejido foliar, además de presentar mayores efectos en el contenido de minerales del tejido foliar.

Respecto al MAP, se encontró una correlación positiva con el P y una correlación negativa con el Mn (Spearman,  $P \leq 0.05$ ). Este resultado demuestra que sólo la

aplicación de MAP como fertilizante de fondo afecta positivamente la asimilación de P por la planta de tomate, ya que ninguno de los otros dos factores (Rootex, Solución Steiner) presentó alguna correlación con dicho elemento (**Tabla 20**).

En el caso de la solución Steiner, ésta presentó correlación positiva con N, K, Zn, Fe y Cu, mientras que con Ca y B presentó una correlación negativa (Spearman,  $P \leq 0.05$ ).

**Tabla 20.** Correlaciones entre los minerales medidos en el tejido foliar y los tres factores evaluados (Rootex, MAP, Solución Steiner).

		Rootex		MAP		Steiner	
		Spearman	<i>P</i>	Spearman	<i>P</i>	Spearman	<i>P</i>
Minerales evaluados en el tejido foliar	N	0.18438	0.3572	0.34943	0.074	0.86192	0.0001
	S	0.58382	0.0014	0.09648	0.6321	0.21049	0.2919
	P	0.30746	0.1187	0.71808	0.0001	-0.03795	0.8509
	K	0.40421	0.0365	0.20681	0.3007	0.66412	0.0002
	Mg	0.56977	0.0019	-0.08757	0.664	0.02335	0.908
	Ca	0.203	0.3099	-0.2606	0.1892	-0.54169	0.0035
	Na	0.67529	0.0001	0.36571	0.0607	-0.07767	0.7002
	B	0.11099	0.5815	-0.22814	0.2524	-0.54695	0.0032
	Zn	0.10037	0.6184	0.37192	0.0561	0.45392	0.0174
	Mn	-0.27305	0.1682	-0.41089	0.0332	-0.0612	0.7617
	Fe	0.04344	0.8296	0.04079	0.8399	0.638	0.0003
	Cu	0.23707	0.2338	0.1668	0.4057	0.63499	0.0004
	Al	-0.38692	0.0462	-0.03798	0.8508	-0.04967	0.8057

Se usó el índice de correlación de Spearman. El nivel de significancia  $<0.05$  se presenta con fondo verde. Las correlaciones positivas y con un índice  $>0.5$  se presentan con fondo rojo. Las correlaciones negativas y con un índice  $<-0.5$  se presentan con fondo amarillo.

En lo que respecta a las correlaciones entre las variables medidas en el suelo y las concentraciones de minerales en el tejido foliar, los datos se presentan en la **Tabla 21**. Se puede observar que el contenido de MO en el suelo presentó una correlación negativa con las concentraciones de S, P y Na en el tejido foliar y una correlación positiva con el Mn (Spearman,  $P \leq 0.05$ ). En cuanto al P en el suelo, éste sólo presentó correlación negativa con B y positiva con Mn en el tejido foliar. El P en el

suelo no presentó ninguna correlación con la concentración de P en el tejido foliar. A su vez la concentración de P en el tejido foliar presentó correlación positiva con el Ca, Fe y la CIC, y una correlación negativa con el K, Mn y B medidos en el suelo (Spearman,  $P \leq 0.05$ ) (**Tabla 21**).

La concentración de N en el tejido foliar se correlacionó positivamente con el K, Mg,  $\text{NO}_3$ , B, CIC y con las sales solubles en el suelo, mientras que con el pH del suelo se correlacionó negativamente. Por su parte, el K en el tejido foliar se correlacionó positivamente con el K, Mg, Ca,  $\text{NO}_3$ , Cu y CIC del suelo, sólo se correlacionó negativamente con el pH del suelo (Spearman,  $P \leq 0.05$ ) (**Tabla 21**).

En el caso del Ca en el tejido foliar, éste presentó correlación positiva solamente con el pH del suelo, mientras que fue negativa con el Mg, Na,  $\text{NO}_3$ , Cu y CIC del suelo (Spearman,  $P \leq 0.05$ ) (**Tabla 21**).

Pérez (1981) en un estudio realizado para evaluar los efectos de las aplicaciones de estiércol y fósforo sobre las características físicas y químicas del suelo y su influencia sobre el desarrollo de plantas de tomate en un suelo arcilloso fino, encontró que las aplicaciones de fósforo al suelo aumentaron los niveles de fósforo en el tejido foliar.

Se observó además, que sólo el N, K, Na, B y Mn del tejido foliar presentaron alguna correlación con las concentraciones de los mismos elementos medidas en el suelo. De estos, el N, K y Mn presentaron correlación positiva con  $\text{NO}_3$ , K y Mn respectivamente medidos en el suelo (Spearman,  $P \leq 0.05$ ). Por su parte, el Na y el B en el tejido foliar presentaron correlación negativa con el Na y B medidos en el suelo (Spearman,  $P \leq 0.05$ ) (**Tabla 21**).

La aplicación de estiércol de chivo tiene una influencia importante en el incremento de la concentración de nutrientes en tejidos de plantas de tomate (Pérez, 1981)

**Tabla 21.** Correlaciones entre las variables medidas en el suelo y los minerales medidos en el tejido foliar.

		Variables medidas en el tejido foliar													
		N	S	P	K	Mg	Ca	Na	B	Zn	Mn	Fe	Cu	Al	
Variables medidas en suelo	MO	Spearman	-0.0831	-0.48688	-0.55944	-0.22426	-0.32936	-0.13603	-0.55653	-0.02671	-0.02373	0.4938	0.12952	-0.0152	0.32583
		P	0.6803	0.01	0.0024	0.2608	0.0934	0.4987	0.0026	0.8948	0.9065	0.0089	0.5196	0.94	0.0972
	P Weak bray	Spearman	0.06993	-0.06088	-0.37737	-0.16764	0.18853	0.29221	-0.30811	-0.43097	-0.20403	0.36334	0.16436	0.03767	0.15456
		P	0.7289	0.7629	0.0523	0.4033	0.3463	0.1391	0.1179	0.0248	0.3074	0.0625	0.4127	0.852	0.4414
	P Strong bray	Spearman	0.00062	0.11445	-0.24684	0.08803	0.14776	0.11322	-0.06945	-0.21999	0.028	0.39378	0.23629	0.13134	-0.14278
		P	0.9976	0.5698	0.2145	0.6624	0.462	0.5739	0.7307	0.2702	0.8897	0.0421	0.2354	0.5138	0.4774
	K	Spearman	0.57064	0.05337	-0.46899	0.38289	0.05038	-0.24728	-0.36737	-0.5333	0.25469	0.1926	0.4809	0.4132	0.11157
		P	0.0019	0.7915	0.0136	0.0487	0.803	0.2137	0.0594	0.0042	0.1998	0.3358	0.0111	0.0322	0.5795
	Mg	Spearman	0.69091	0.05691	0.13861	0.45851	-0.0991	-0.49609	0.20734	-0.24524	0.20421	-0.08394	0.23586	0.37264	-0.04492
		P	0.0001	0.778	0.4905	0.0162	0.6229	0.0085	0.2994	0.2176	0.3069	0.6772	0.2363	0.0556	0.8239
	Ca	Spearman	0.36203	0.40423	0.57283	0.55206	0.2399	-0.29006	0.48922	-0.13491	0.32756	-0.51291	0.07665	0.27086	-0.28576
		P	0.0635	0.0365	0.0018	0.0028	0.2281	0.1422	0.0096	0.5023	0.0953	0.0062	0.7039	0.1718	0.1485
	Na	Spearman	0.33507	-0.31321	-0.26948	0.1483	-0.37653	-0.46954	-0.39468	-0.33533	0.22604	0.43531	0.24966	0.16451	0.22521
		P	0.0875	0.1117	0.1741	0.4604	0.0529	0.0135	0.0416	0.0873	0.2569	0.0232	0.2092	0.4122	0.2587
	pH	Spearman	-0.57776	-0.10901	-0.07792	-0.45945	0.38004	0.70162	0.03668	0.12657	-0.41632	0.27274	-0.24087	-0.28596	-0.21759
		P	0.0016	0.5883	0.6992	0.0159	0.0505	0.0001	0.8559	0.5293	0.0308	0.1687	0.2262	0.1482	0.2756
	CIC	Spearman	0.44866	0.34182	0.53523	0.59034	0.11964	-0.42379	0.44787	-0.12111	0.36254	-0.47591	0.09433	0.28701	-0.2027
		P	0.0189	0.081	0.004	0.0012	0.5523	0.0276	0.0191	0.5474	0.0631	0.0121	0.6398	0.1466	0.3106
	NO <sub>3</sub>	Spearman	0.79749	0.36453	0.32914	0.54065	0.08946	-0.4125	0.08557	-0.57934	0.52048	-0.21967	0.46309	0.47316	0.0215
		P	0.0001	0.0616	0.0937	0.0036	0.6572	0.0325	0.6713	0.0015	0.0054	0.2709	0.015	0.0127	0.9152
S	Spearman	-0.34553	0.03395	-0.11106	-0.28884	-0.07271	0.29589	0.00408	0.18153	-0.39058	0.10276	-0.39835	-0.4644	0.11715	
	P	0.0775	0.8665	0.5813	0.144	0.7185	0.134	0.9839	0.3649	0.044	0.61	0.0396	0.0147	0.5606	
Zn	Spearman	0.25567	0.16437	-0.12379	0.37694	-0.09451	-0.26474	-0.15503	-0.43717	0.2665	-0.01523	0.32867	0.26957	0.38667	
	P	0.198	0.4126	0.5384	0.0526	0.6391	0.182	0.44	0.0226	0.179	0.9399	0.0942	0.1739	0.0463	
Mn	Spearman	0.00255	-0.21589	-0.57056	-0.07941	-0.1044	-0.03497	-0.38125	-0.29682	-0.08533	0.52368	0.25065	0.12186	0.23347	
	P	0.9899	0.2795	0.0019	0.6938	0.6043	0.8625	0.0497	0.1327	0.6722	0.0051	0.2073	0.5449	0.2412	

<b>Fe</b>	Spearman	0.06238	-0.00124	0.39562	0.12927	-0.36172	-0.33551	0.09988	-0.22225	0.17982	-0.1964	-0.04881	0.02358	0.28227
	<i>P</i>	0.7573	0.9951	0.0411	0.5205	0.0637	0.0871	0.6201	0.2652	0.3695	0.3262	0.8089	0.907	0.1537
<b>Cu</b>	Spearman	0.34532	0.4418	0.00567	0.49637	-0.10972	-0.42164	0.02323	-0.4728	0.17847	0.00189	0.40751	0.29159	0.28736
	<i>P</i>	0.0777	0.021	0.9776	0.0085	0.5859	0.0285	0.9085	0.0128	0.3731	0.9926	0.0349	0.14	0.1461
<b>B</b>	Spearman	0.40111	-0.0694	-0.50334	0.30672	0.01939	-0.18652	-0.50766	-0.52616	0.15307	0.12487	0.42572	0.29634	0.02163
	<i>P</i>	0.0381	0.7309	0.0074	0.1197	0.9235	0.3516	0.0069	0.0048	0.4459	0.5349	0.0268	0.1334	0.9147
<b>Sales solubles</b>	Spearman	0.65961	0.12576	0.06526	0.30892	-0.00897	-0.32527	-0.25014	-0.56044	0.19284	0.01698	0.417	0.3322	0.22133
	<i>P</i>	0.0002	0.532	0.7464	0.1169	0.9646	0.0978	0.2082	0.0024	0.3352	0.933	0.0305	0.0905	0.2672

Se usó el índice de correlación de Spearman. El nivel de significancia  $<0.05$  se presenta con fondo verde. Las correlaciones positivas y con un índice  $>0.5$  se presentan con fondo rojo. Las correlaciones negativas y con un índice  $<-0.5$  se presentan con fondo amarillo.

La interacción estiércol y fósforo tuvo un efecto importante sobre los niveles de este elemento en el suelo; sin embargo, el efecto del estiércol fue no significativo en razón a su bajo contenido (Pérez, 1981).

## CONCLUSIONES

La aplicación del producto Rootex de COSMOCEL promueve el mejor desarrollo de las plantas de tomate en suelos calcáreos ya que en todas las variables agronómicas evaluadas se mostró un efecto positivo.

En la mayoría de las variables evaluadas no existieron diferencias en las dos dosis de MAP, en algunos casos la dosis de  $384.62 \text{ kg ha}^{-1}$  fue mejor que la de  $769.23 \text{ kg ha}^{-1}$ , por lo que es recomendable usar la dosis más baja desde el punto de vista económico.

En las concentraciones de solución Steiner modificada se encontró que en la mayoría de las variables evaluadas no existieron diferencias en las concentraciones de 50% y 100% por lo que es recomendable usar la concentración más baja desde el punto de vista económico.

La interacción MAP\*Steiner presentó diferencias estadísticas en la mayoría de las variables, encontrándose sistemáticamente que la mejor interacción fue la de  $769.23 \text{ kg ha}^{-1} * 100\%$ .

Los mejores resultados en las variables de biomasa de la planta, número de estructuras fotosintéticas y reproductivas y peso de frutos por planta fueron obtenidos con la combinación de 50% de MAP ( $384.62 \text{ kg ha}^{-1}$ ), 50% de solución Steiner y  $5 \text{ kg ha}^{-1}$  de Rootex.

En un ejercicio de proyección matemática, utilizando la metodología de superficies de respuesta, se encontró que el máximo de la respuesta al Rootex en dosis de 2.5 a  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  ocurre con el 50% de MAP ( $384.62 \text{ kg ha}^{-1}$ ). De dicho ejercicio surge también la posibilidad de que, aplicando una dosis de  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  de Rootex, se obtendrían buenos resultados aplicando solamente un 20% de MAP ( $153.85 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y 50% de Steiner. Esta última conclusión, que es meramente especulativa ya

que se extrae de la proyección de la función fuera del espacio muestral del experimento, sugerimos que debe probarse experimentalmente.

El Rootex no presentó ninguna correlación con el P del suelo o del tejido foliar, sin embargo, presentó correlación positiva con el Ca del suelo, S, K, Mg y Na del tejido foliar.

Solamente el MAP presentó correlación positiva con el P del tejido foliar. El P del suelo no presentó correlación con ninguno de los tres factores evaluados Rootex, MAP o Solución Steiner.

## LITERATURA CITADA

- Adams, P. 1986. Mineral nutrition. In the tomato crop, Por Atherton, J. G. y Rudich (eds) Chapman and hall pp. 230-234.
- Alcaraz-Ariza. 2012. Salinidad y vegetación. Geobotánica Tema 18. Universidad de Murcia España (<http://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema18.pdf>), (versión de 11 de marzo de 2012).
- Anónimo. 1985. Fertilización química Foliar. Folleto informativo, SARH. México, D.F.
- Barenque, O. 1991. Evaluación del Ácido Húmico (Humitrón) y del Fertilizante foliar (Foltrón Plus) en el sistema de conducción del tomate (*Lycopersicum esculentum* c M). Tesis. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.
- Basurto SM, Núñez BA, Pérez-Leal RR, Hernández Rodríguez OA. 2008 Fisiología del estrés ambiental en plantas. Aventuras de pensamiento. Ed. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México. 45:1-5
- BERTSCH, F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, Universidad de Costa Rica. 86 p.
- Bidwell, R.G.S. 1986. Fisiología Vegetal. Primera edición en español. A.G.T. Editor, S.A. México, D.F.
- Botanical, 1999-2016., Mejorar el suelo <http://www.botanical-online.com/mejorartiposdesuelos.htm>

- Calvo-Vélez, P., L.R. Meneses y D. Zúñiga-Dávila. 2008. Estudio de las poblaciones microbianas de la rizosfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas altoandinas. *Ecología Aplicada* 7(1, 2): 141-148.
- Carlos Rodríguez O. 1998. Efecto del Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el Crecimiento y Producción de Plántulas de Tomate (*Lycopersicon esculentum* M) var. Floradade. TESIS Maestría, (Facultad de Agronomía UANL).
- Castellanos R., J. Z y J. L. Reyes C. 1982. La utilización de los estiércoles en la agricultura. Ingenieros agrónomos del Tecnológico de Monterrey A.C. Sección Laguna, Torreón, Coah. México. 154 p.
- CHAVES, M.A. 1993a. Importancia de las características de calidad de los correctivos de acidez del suelo: desarrollo de un ejemplo práctico para su cálculo. San José, Costa Rica. DIECA. 41 p.
- CHAVES, M. 1991. Características y uso potencial del yeso en la agricultura costarricense. *Revista Colegio de Ingenieros Agrónomos. (Costa Rica)* N° 7:18-20.
- Clarkson DT. 1981. Nutrient interception and transport by root systems. In: C.B. Johnson (Ed.). *Physiological processes limiting plant productivity*. London: Butterworths, pp. 307-314.
- Cosmocel - Agrícola de Servicios plenos para el campo  
<http://www.agricoladeservicios.com/producto.php?proveedorID=8&categoria=D=13&gridType=categoría>
- Cosmocel, S.A., DDAQ División Agrícola <http://www.agroquimicos-organicosplm.com/rootex-1890-3#inicio>

Cruz Medrano, S. 1986. Abonos orgánicos. Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Chapingo, Edo. De Mex. 129 p.

Daniel PS, Robert JR, Ayling SM (1998). Absorción de fósforo por las plantas: De suelo a celda. *Planta Physiol.* 116: 447-453.  
<http://dx.doi.org/10.1104/pp.116.2.447>

Dinámica de la salinidad en los suelos  
[http://cbs1.xoc.uam.mx/e\\_bios/docs/2014/05\\_SALINIDAD\\_EN\\_SUELOS\\_ESPANOL.pdf](http://cbs1.xoc.uam.mx/e_bios/docs/2014/05_SALINIDAD_EN_SUELOS_ESPANOL.pdf)

Devlin, M. R. 1980. *Fisiología Vegetal*. Editorial omega S.A. 3ª edición.

Edmon, J.E; T.L. Senn, And F.S. Andrews, 1984. *Principios de horticultura*. 7ma. edición. Editorial Continental, S.A, México, D.F,

El Sector Alimentario En México. Aguascalientes: 43.

El Sector Alimentario en México, Edición 2002, INEGI; con datos del Sistema de Información Agropecuaria de Consulta [SIACON, 1980-2001]).

Estadísticas de Agricultura de la FAO (FAOSTAT, 2002) [www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat)  
<http://cofupro.org.mx/cofupro/Publicacion/Archivos/penit32.pdf>

Estadísticas de Agricultura de la FAO (FAOSTAT, 2002) [www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat)  
INEGI. 2001.

Fixen, P.E. 1990. Agronomic evaluations of MAP and DAP. Illinois Fertilizer Conference Proceedings. January 23-24. 11 pag.

Flores, I. 1982. Hortalizas. De. ITESM. Monterrey, N.L México.

Gómez-Guiñan, Y. 2004. Actividad de las fosfatasas ácidas y alcalinas (extracelulares e intracelulares) en hongos de la rizosfera de *Arachis hypogaea* (Papilionaceae). *Revista de Biología Tropical* 52(1): 287-295.

Haefliger, 1983). Actualmente el tomate se cultiva en casi la totalidad de países en el mundo (Rick, 1978).

Hafez MM (2004). Efecto de algunas fuentes de fertilizante de nitrógeno y concentración de ácidos húmicos en la productividad de la planta de calabaza. Egipto. *J. Appl. Sci.* 19: 293-309

Huerros, P. C. 1988. Horticultura. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.

INEGI. 2001. El Sector Alimentario En México. Aguascalientes: 43.

Ishizuka, V. 1978. Nutrient deficiencies of crops. ASPAC. 14 wenchow street, Taipei Taiwan, Republic of China.

Jesús O. Pérez 1981. Efectos de aplicaciones de estiércol y fósforo sobre algunas propiedades físicas y químicas de un suelo del Valle de Quibor, Estado Lara, y su influencia sobre el desarrollo de plantas de tomate. (Universidad central de Venezuela. Facultad de agronomía. Comisión de Estudios de Postgrado).

Jones, D.L. 1998. Organic acids in the rhizosphere - a critical review. *Plant Soil* 205: 25-44.

Lambers, H., F.S. Chapin III, T.L. Pons. 1998. Plant physiological ecology. New York: Springer.

Las sustancias húmicas en ciencias suelo y del cultivo: lecturas seleccionadas. Actas de un simposio co-patrocinado por la Sociedad Internacional de Sustancias húmicas. Chicago, Illinois. 02 de diciembre 1985. / Editores, P. M Do Carly et a

León, G.H. y M. Arosamena,. 1980. El cultivo del tomate para consumo en fresco en el Valle de Culiacán. CIAPAN-CAECAV. México.

López Cesati, J. R. Ferrera C. y S. Alcalde B. 1979. Efecto de la fertilización orgánica sobre la población microbiana en el suelo de Ando de la Sierra Tarasca. In: Trinidad Santos, A. y O. Miranda (Eds.). Suelos de Ando y sus implicaciones en el desarrollo agrícola de la Sierra Tarasca. INIA-CIAB y Colegio de Postgraduados, Chapingo, Mex.

Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos  
<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf>

Mejoradores de Suelos Calcáreos y Fertilización Fosfatada en el Cultivo de la Papa  
[http://www.uaaan.mx/agraria/index.php?option=com\\_content&view=article&id=83:mejoradores-de-suelos-calcareos-y-fertilizacion-fosfatada-en-el-cultivo-de-la-papa&catid=54:ano-i-volumen-1-no-1&Itemid=135](http://www.uaaan.mx/agraria/index.php?option=com_content&view=article&id=83:mejoradores-de-suelos-calcareos-y-fertilizacion-fosfatada-en-el-cultivo-de-la-papa&catid=54:ano-i-volumen-1-no-1&Itemid=135)

Molina, E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo, ACCS, San José, Costa Rica. 45 p.

Nuez, Fernando. 1995. El Cultivo del Tomate. Ediciones Mundi-Prensa, España, Barcelona: 15- 41, 45-87, 95-128, 191-203, 229-239, 254-308, 313-348, 627-659, 673-663, 743-766.

Organización para la Agricultura y la alimentación (FAO).  
<http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/Jitomate.pdf>

Portal de Suelos de la FAO suelos calcáreos, organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura <http://www.fao.org/soils-portal/manejo-del-suelo/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-calcareos/es/>

Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente ISSN: 2007-5782 Vol. 1 (5): 26-35. Enero a Julio 2014.

Revista Claridades Agropecuarias, Numero 62, Octubre de 1998, Revista Mensual Publicada Por La Dirección General De Operaciones Financieras De ASERCA, Páginas: 1-28.

Revista Claridades Agropecuarias, Numero 25, Septiembre de 1995, Revista Mensual Publicada Por La Dirección General De Operaciones Financieras de ASERCA, Páginas: 3-21.

Richards LA. 1985. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Ed. LIMUSA/ Personal de Laboratorio de Salinidad de los Estado Unidos de América, México.

Rick, M.C. 1978. El tomate. Artículo de la revista Investigación y Ciencia Num 25, Octubre de 1978. Edición en español de Scientific American.

Rootex Cosmocel enraizante para plantas  
<http://www.fertilizanteseconforce.es/2014/09/rootex-cosmocel-enraizante-para-plantas/>

ROOTEX, Cosmocel 2010 Agroquímicos de México [http://www.terraia.com/agroquimicos\\_de\\_mexico/index.php?proceso=registro&numero=6890&id\\_marca=1908&base=2010](http://www.terraia.com/agroquimicos_de_mexico/index.php?proceso=registro&numero=6890&id_marca=1908&base=2010)

Rootex Ficha Técnica [www.fertilizantesecoforce.es](http://www.fertilizantesecoforce.es)

Rootex [http://www.tacsa.com.mx/DEAQ/src/productos/1890\\_48.htm](http://www.tacsa.com.mx/DEAQ/src/productos/1890_48.htm)

Rowell, D.L. 1994. Soil Science: methods and applications. London. Longman. 350p.

Ruíz Figueroa, J. Feliciano, 1966. Agricultura orgánica: una opción sustentable para el agro mexicano. Coloquio UACH.

SAGARPA

<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf>

Simmonds, N.W. 1986. Evolution of Crop Plants. Longman Scientific and technical.

SEMARNAT. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009. El Medio Ambiente en México: En Resumen 2009. México. Gobierno Federal. ([www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)) pp. 20-23

Silberbush, M. and S.A. Barber. 1983. Sensitivity analysis of parameters used in simulating K-uptake with a mechanistic mathematical-model. Agron. J. 75:851-854. Clarkson, D.T. 1981. Nutrient interception and transport by root systems. In: C.B. Johnson (Ed.). Physiological processes limiting plant productivity. London: Butterworths, pp. 307-314.

Sistema Agropecuario de Consulta (SIACON) 1980-2001, SAGARPA, D.F., México.

- Sladky, Z. 1959. El efecto de las sustancias de humus extraídos sobre el crecimiento de plantas de tomate. *Biol. Planta*.1: 142-150
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil*. 15:134-154.
- Theodorou ME, Plaxton WC (1993). Adaptaciones metabólicas de la planta la respiración a la privación de fosfato nutricional. *Plant Physiol*.101: 339-344. PMID: 12231689 PMCID: PMC160576
- Tisdale, S. y W .Nelson, 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. 1a. reimpresión. Edit. Limusa UTEHA Unión Tipográfica Hispano Americana, S.A. de C.V.; México.
- Trinidad Santos, A. 1987. El uso de abonos orgánicos en la producción agrícola. Serie cuadernos de edafología 10. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Mex.
- Vavilov, N.I. 1951. Origin, Variation, immunity and Breeding of Cultivated Plants. Roland Press. New York, U.S.A. pp. 90-99.
- Vera, D.F., H. Pérez y H. Valencia. 2002. Aislamiento de hongos solubilizadores de fosfatos de la rizósfera de arazá (*Eugenia stipitata*, Myrtaceae). *Acta Biológica Colombiana* 7(1): 33-40.
- Yamaguchi, M. 1983. World Vegetables. Principles, Production and Nutritive Values. An Avi Book.