

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Evaluación de la Solución del Suelo en Relación a la Adición de Materia  
Orgánica y su Efecto en Tomate

Por:

**TOMÁS MORENO GÓMEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Evaluación de la Solución del Suelo en Relación a la Adición de Materia  
Orgánica y su Efecto en Tomate

Por:

**TÓMAS MORENO GÓMEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alberto Sandoval Rangel

Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Antonio Juárez Maldonado

Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Ángel Iván García Barradas

Coasesor

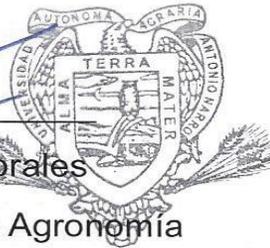
  
\_\_\_\_\_  
Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación

División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2018



## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” la cual, sin duda alguna, mi segundo hogar, donde aprendí grandes cosas de la vida y gracias por haberme acogido y dado la oportunidad de ser parte de esta gran casa de estudios.

A los profesores: a todos aquellos que con su esfuerzo y dedicación transmitieron los conocimientos necesarios en mí, para ser una persona capaz de enfrentar problemas laborales.

A el **Ing. Ángel Iván García Barradas** a quien Agradezco enormemente por haberme ayudado a entender muchas cosas del trabajo realizado y por contar además con su entera disposición en la revisión del mismo.

En el presente trabajo también quiero agradecer al **Dr. Antonio Juárez Maldonado**, por ayudarme a entender algunas cosas en el ámbito estadístico para llevar a cabo esta investigación.

El trabajo no hubiese sido posible si el **Dr. Alberto Sandoval Rangel** no me aceptara en su proyecto, siendo asesor principal, y por el apoyo brindado muchas gracias.

A mis amigos y compañeros los cuales estuvieron allí para brindarme su apoyo en todo momento muchas gracias.

## DEDICATORIA

*A mis papás: por su apoyo incondicional, su gran amor, paciencia y tolerancia, por haberme dado el regalo más grande que es la vida, por acompañarme en este camino. Los amo nunca lo duden y de verdad GRACIAS.*

*A mis hermanos y sobrinos: ustedes con sus consejos y ánimos también fueron parte de mi formación, gracias por estar ahí cuando los necesite, los quiero a todos hermanos y hermana.*

*A MIS AMIGOS: las personas que conocí durante mi preparación y que más que amigos, fueron como mi segunda familia, el apoyo incondicional siempre estuvo presente y por eso se los agradezco mucho: María Esperanza Salas, Patricia López, Isai Granados, José camilo Basurto, Erick De león, Domingo Méndez, Jeu Roblero, Gearim Roblero.*

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue; Evaluar la concentración de  $\text{NO}_3$ , Ca, y Na de la solución del suelo en relación a la adición de materia orgánica y su efecto en el crecimiento, productividad y calidad de tomate. La investigación se realizó en un invernadero de baja tecnología, usando como medio de cultivo el suelo y como cultivo de tomate tipo Bola cultivar Imperial F1. Se evaluaron tres dosis de estiércol composteado de bovino; 0.00, 1.0 y 2.0  $\text{kg/m}^2$ . Se midió contenido de  $\text{NO}_3$ , Ca y Na en la solución del suelo, crecimiento, productividad y calidad del cultivo de tomate. Los resultados muestran que la adición de materia orgánica complementaria a la fertilización con solución Steiner, modifica el contenido de  $\text{NO}_3$  y Ca, Na en la solución del suelo, así mismo, incrementa el desarrollo de la planta, el rendimiento y la calidad física del fruto y no mostró efecto sobre la firmeza, pero si en el contenido de sólidos solubles totales.

**Palabras clave:** Sustentabilidad, Uso eficiente de fertilizantes

## INDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLA.....	viii
INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivo .....	2
Hipótesis .....	2
REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
La Solución del suelo.....	3
Soluciones Nutritivas .....	4
Funciones del N, Ca y Na en las Plantas.....	5
Nitrógeno .....	5
Calcio.....	5
Sodio .....	6
Movilidad de Nutrientes en el Suelo.....	6
Antagonismo .....	6
Suelo .....	7
La Materia Orgánica en el Suelo .....	7
El uso de estiércoles Composteados.....	9
Capacidad de Intercambio Catiónico .....	10
Generalidades del Cultivo del Tomate.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS .....	12
Ubicación .....	12
Descripción de Tratamientos.....	12
Actividades para el Establecimiento del Experimento.....	12
Preparación del Suelo .....	12
Adición del Estiércol.....	12
Plantación .....	12
Fertirrigación .....	13

VARIABLES EVALUADAS .....	13
Iones en la Solución del Suelo .....	13
Crecimiento en Plantas. ....	13
Productividad y Calidad de frutos .....	13
Análisis de Datos.....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	15
Solución del Suelo.....	15
NO <sub>3</sub> , Ca y Na en la Solución del Suelo.....	15
Crecimiento de la Planta .....	15
Productividad .....	17
Calidad del Fruto .....	17
CONCLUSIONES .....	19
LITERATURA CITADA.....	20

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Necesidades nutrimentales del tomate por tonelada de cosecha-----	11
Tabla 2. Efecto de la MO sobre la concentración de iones en la solución del suelo -----	15
Tabla 3. Efecto de la adición de MO sobre el crecimiento de la planta de tomate bola-----	16
Tabla 4. Efecto de la adición de MO sobre la productividad de tomate -----	17
Tabla 5. Efecto de la adición de MO sobre la calidad del fruto de tomate -----	18

## INTRODUCCIÓN

La producción intensiva de hortalizas, donde se utiliza el suelo como medio de cultivo, demanda una alta cantidad de fertilizantes (Altieri, 2009). Su aplicación se realiza en base a la experiencia, referencias de productores líderes y pocas veces en base a un conocimiento e información técnica (Pérez, 2014), y los fertilizantes representan entre el 20 al 25% del costo de producción, esta situación obliga a hacer un uso eficiente de este insumo (Terrones & Sánchez, 2011).

Por otro lado, están ampliamente documentados, los beneficios de la materia orgánica sobre la fertilidad de los suelos (Pieri 1989, Sánchez *et al.*, 2011) y su impacto en el rendimiento y calidad de los cultivos (Crespo & Fraga, 2005). Así mismo, está documentado que la fertilización complementaria, mediante materia orgánica aumenta el grado de complejidad, debido a la relación con los microorganismos del suelo, a la liberación progresiva nutrientes y su intercambio, la actividad microbiana del suelo está condicionada a su vez por factores como; la temperatura y humedad del suelo: En suma esta complejidad dificulta conocer la disponibilidad de nutrientes para el cultivo en un momento específico y por lo tanto, también dificulta la decisión de reducir o incrementar la fertilización complementaria con fertilizantes convencionales (González y Pomares 2008).

La medición de iones en la solución del suelo puede ser una alternativa para conocer la disponibilidad de nutrientes en tiempo real y que permita decidir la reducción o incremento en la aplicación de fertilizantes, y de esta forma realizar una fertilización más precisa y sustentada en la demanda del cultivo. De esta forma contribuir a un uso más eficiente de los fertilizantes y reducir su impacto económico y ambiental.

Se eligió el cultivo del tomate, porque es una de las tres principales hortalizas cultivadas en el mundo y la primera en México, con base en su volumen, superficie y tecnología utilizada en su producción (SIAP, 2017).

Por lo anterior se planteó este trabajo de investigación con el siguiente:

### **Objetivo**

Evaluar la concentración de  $\text{NO}_3$ , Ca, y Na de la solución del suelo en relación a la adición de materia orgánica y su efecto en el crecimiento, productividad y calidad del tomate.

### **Hipótesis**

La incorporación de materia orgánica, modificará la concentración de iones en la solución del suelo e influirá en el crecimiento, productividad y calidad del cultivo de tomate.

# REVISIÓN DE LITERATURA

## La Solución del suelo

El sistema suelo está conformado por tres fases que corresponden con los estados físicos de la materia: una sólida que presenta los componentes minerales y orgánicos; una fase gaseosa y una fase líquida (Narváez, 2017).

En el suelo el solvente es siempre el agua. El agua es un recurso renovable y es parte del ciclo hidrológico global. Cuando el agua está presente en el suelo, puede distinguirse en; (1) el agua de superficie, por encima del suelo, tales como el escurrimiento en arroyos, estanques, lagos y aguas subterráneas;(2), la cual está presente del agua subterránea; y (3) el agua del suelo, el agua en el suelo, el componente principal de la solución del suelo (Tan, 2009).

La solución del suelo podría considerarse como el componente acuoso de suelo equivalente a capacidad de campo (CC). Químicamente es una solución diluida de electrolitos y compuestos orgánicos hidrosolubles y en equilibrio con algunos componentes sólidos y gaseosos (INTAGRI 2015a).

Esta solución es el intermediario entre el complejo absorbente del suelo y la planta su composición es variable según el tipo de suelo, contenido de elementos nutritivos (historial de fertilización), la estación y el contenido de humedad del suelo. El contenido de elementos minerales en la solución del suelo es de vital interés, puesto que la planta absorbe dichos elementos de ahí, dependiendo esto en gran parte de su concentración (Tan, 2009).

La solución del suelo equivale a la solución nutritiva que se utiliza en hidroponía, pero en interacción con el suelo. En cultivos irrigados, la solución del suelo se forma con al agua de riego y su aporte iónico, el intercambio con el suelo y su microflora y finalmente con la adición de fertilizantes (Sandoval, 2018).

## Soluciones Nutritivas

La solución nutritiva es el conjunto de elementos nutritivos requerido por las plantas y disueltos en agua. En los sistemas hidropónicos a excepción del carbono, oxígeno e hidrógeno, todos los elementos esenciales son suministrados a través de soluciones nutritivas y son asimilados por las raíces de las plantas, por lo que se considera un prerrequisito la solubilidad de los iones esenciales en el agua. Se debe ajustar el pH de las soluciones de acuerdo a la necesidad de la especie a cultivar (Sánchez y Escalante, 2001).

Las principales fuentes de cada uno de los elementos nutrientes que forman parte de la solución nutritiva para la hidroponía son:

El nitrógeno, que es absorbido por las plantas en forma de nitrato  $\text{NO}_3^-$  y en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) soluble en agua. Las fuentes principales son: nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3^-$ ), de calcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3^-)_2$ ), de sodio ( $\text{NaNO}_3^-$ ), de amonio ( $\text{NH}_4^+\text{NO}_3^-$ ), sulfato de amonio ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), fosfato mono amónico ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ), fosfato di amónico ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ), urea ( $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ) y fosfonitrato de amonio ( $(\text{NH}_4)_2\text{NO}_3\text{-H}_2\text{PO}_4$ ). El fósforo es asimilado por las plantas como ion fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Las fuentes empleadas son: superfosfato de calcio simple y triple ( $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$ ), fosfato de amonio, fosfato monoamónico ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ), fosforo diamónico, ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) (Contreras, 2006).

Para el Potasio las fuentes principales son: nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3^-$ ), sulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) y cloruro de potasio ( $\text{KCl}$ ). Las principales fuentes de calcio son: nitrato de calcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3^-)_2$ ), superfosfato (simple y triple), sulfato de calcio (yeso) ( $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). El azufre es utilizado por las plantas en forma de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) se encuentra en: sulfato de amonio y de potasio, superfosfato, sulfato de magnesio (sal de Epsom ( $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )), que proporciona el magnesio necesario. El boro, zinc, manganeso, cobre, hierro, molibdeno, entre otros son necesarios en dosis muy pequeñas, además pueden reaccionar con sales en el agua y su nivel en exceso puede ser tóxico. Las fuentes empleadas son: bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) y

ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) para el boro, el quelato de zinc y las mezclas de zinc con nitrógeno como fuente del zinc, el sulfato ( $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ ), cloruro ( $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ ) y quelatos de manganeso para el manganeso, el sulfato y cloruro de cobre para el cobre, el sulfato ferroso ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ), cloruro férrico ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ) y quelatos para el hierro. También hay fertilizantes comerciales que incluyen estos micro elementos como el Peters S.T.E.A.M (Soluble Trace Element Mix) (Contreras, 2006). De acuerdo con Steiner (1961, 1966, 1984) y De Rijck y Schrevens (1998), la composición química de una solución nutritiva está determinada por: 1) Una relación catiónica mutua. 2) Una relación aniónica mutua. 3) La concentración iónica total.

### **Funciones del N, Ca y Na en las Plantas**

Los nutrimentos minerales tienen funciones específicas y esenciales en el metabolismo vegetal. Un nutrimento mineral puede funcionar como un constituyente de una estructura orgánica, como un activador de reacciones enzimáticas.

#### **Nitrógeno**

Después del carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el potasio, el N es uno de los elementos más abundante en las plantas. El N es absorbido por las plantas en forma de nitrato  $NO_3^-$  y en forma de amonio ( $NH_4^+$ ) soluble en agua. El N se encuentra en la planta en forma orgánica e inorgánica y forma parte de los aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, enzimas, clorofila y alcaloides. Aunque el N inorgánico se puede acumular en forma de nitrato, el N orgánico predomina por el mayor peso molecular de las proteínas vegetales. Alrededor del 80% del N que absorbe la planta, se utiliza para formar proteínas, el 10 % ácidos nucleicos, el 5 % aminoácidos solubles y clorofila (Marschner, 1986 y Favela *et al.*, 2006).

#### **Calcio**

El  $Ca^{++}$  se encuentra a menudo precipitado como cristales de oxalato cálcico en las vacuolas. El calcio es absorbido por las plantas en su forma catiónica

Ca<sup>++</sup>. Se encuentra también en las paredes de la célula como pectato cálcico, el cual une las paredes primarias de las células adyacentes. Mantiene la integridad de la membrana y forma parte de la enzima  $\alpha$ -amilasa. Algunas veces interfiere la capacidad del Magnesio para activar las enzimas (Marschner, 1986; Favela *et al.*, 2006).

### **Sodio**

El Na es un elemento benéfico para las plantas, es absorbido activamente como ión Na<sup>+</sup>. Puede ser sustituir parcialmente al K en funciones no específicas, contribuyendo a la generación de potencial osmótico y turgencia celular, cuando el suelo es pobre en este elemento (Malavolta *et al.*, 1997).

### **Movilidad de Nutrientes en el Suelo**

La movilidad de un nutriente en el suelo está estrechamente relacionada con las propiedades químicas del suelo, tales como capacidad de intercambio catiónico CIC y capacidad de intercambio aniónico CIA, así como las condiciones del suelo, tales como la humedad. Cuando hay suficiente humedad en el suelo durante la lixiviación el agua de percolación puede llevar nutrientes que se perdieron posteriormente del perfil del suelo disuelto. Los nutrientes que se lixivian fácilmente son por lo general aquellos nutrientes que están menos fuertemente en poder de las partículas del suelo. Por ejemplo, en un terreno con una alta CIC y baja CIA, nitrato (un anión) se filtrará mucho más fácilmente que de calcio (un catión). Además, en un terreno tal, potasio (un catión monovalente) se filtrará más fácilmente que de calcio (catión divalente) ya que el calcio es más fuertemente a cabo a las partículas del suelo que el potasio. (CTAHR, 2007).

### **Antagonismo**

Los nutrientes minerales son esenciales para mejorar el crecimiento y desarrollo de los cultivos; pero muchas veces su proceso de absorción, asimilación y transporte en sus formas iónicas por las plantas son explicados como si fueran procesos independientes uno de otro, cuando en realidad todos estos nutrientes

interactúan entre sí. Al momento de su absorción estos compiten por los transportadores debido a que estos muchas veces no son específicos para un ion en particular (INTAGRI. 2015b).

El antagonismo entre los nutrientes se produce por las interacciones entre iones con propiedades fisicoquímicas similares como es la valencia y/o el diámetro del ion. La competencia que se da entre los iones puede darse por la entrada a un mismo canal proteico o por la unión a una proteína transportadora. Dentro del grupo de elementos antagónicos podemos resaltar la competencia entre sulfato y molibdato, sulfato y selenato, potasio y magnesio, nitratos y cloruros, potasio y magnesio o la que se da entre potasio con amonio (INTAGRI, 2015b).

### **Suelo**

El suelo es un ser natural estructurado e integrado por materia mineral y orgánica, aire y agua. El suelo recibe una gran cantidad de restos orgánicos de distintos orígenes, entre estos, restos de las plantas superiores que llegan al suelo de dos maneras: se depositan en la superficie (hoja, ramas, flores, frutos) o quedan directamente en la masa del suelo (raíces al morir). Otras dos fuentes importantes son el plasma microbiano y los restos de la fauna habitante del suelo. (Meléndez. G y Soto. G, 2003).

### **La Materia Orgánica en el Suelo**

La materia orgánica del suelo (MO) se ha definido como una mezcla heterogénea de residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición, de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente a partir de los productos de degradación, de los cuerpos de microorganismos vivos y muertos, pequeños animales y sus restos en descomposición (Sánchez.*et al.*, 2005).

La fracción orgánica del suelo descrita anteriormente afecta la condición física, química y biológica del suelo (Tan, 2009):

- Físicamente, incrementa el contenido de materia orgánica, imparte colores más oscuros al suelo y disminuye la densidad aparente con un aumento en el contenido de carbono orgánico. Mejora la aglomeración de partículas, lo que resulta en el desarrollo de una estructura de suelo estable.
- Químicamente, aumenta la capacidad de intercambio catiónico y la capacidad de retención de agua del suelo. Su capacidad de intercambio catiónico, supera con creces la de los minerales arcillosos, y es la razón de la alta capacidad de amortiguación del suelo. La materia orgánica afecta la fertilidad del suelo al aumentar el contenido de nutrientes del suelo, especialmente el contenido de N y S. Es la principal fuente de N en los suelos. También puede tener un efecto directo por la estimulación de crecimiento de plantas y raíces.
- Biológicamente, la materia orgánica del suelo es la principal fuente de alimento y energía para los organismos del suelo. El tamaño de la población de hongos y bacterias aumenta y disminuye en relación con el aumento y disminución del contenido de materia orgánica, respectivamente. La población de organismos del suelo disminuirá con una disminución en el contenido de materia orgánica.

Se piensa que la adición de abonos orgánicos de manera complementaria a la fertilización mineral incrementa el rendimiento de los cultivos (Crespo & Fraga, 2005).

Existe información sobre la contribución de la materia orgánica en la fertilidad de los suelos (Pieri 1989, Sánchez e *tal*, 2011). La fertilización mediante materia orgánica aumenta aún más el grado de complejidad, debido a que la nutrición de los cultivos depende, en gran medida, de la actividad de los microorganismos para liberar los nutrientes de forma progresiva, y esta actividad microbiana del suelo está condicionada por muchos factores, entre los que destacan las condiciones ambientales (temperatura y humedad del suelo)

los cuales dificulta conocer la disponibilidad de nutrientes disponible para el cultivo (González y Pomares 2008).

### **El uso de estiércoles Composteados**

La materia orgánica, particularmente cuando proviene de estiércoles, contiene importantes cantidades de todos los elementos químicos utilizables por las plantas. Consecuentemente, el uso de estiércoles en la agricultura apoya el incremento de los rendimientos en los cultivos por las siguientes razones (SAGARPA):

- Aportan todos los elementos esenciales que requieren los cultivos.
- Tienen un efecto residual mayor que el de los fertilizantes químicos.
- Liberan nutrimentos en forma gradual que favorece su disponibilidad para el desarrollo del cultivo.
- Mejoran la estructura del suelo, porosidad, aireación y capacidad para la retención de agua.
- Forman complejos orgánicos con los nutrimentos manteniendo a estos disponibles para las plantas.
- Elevan la capacidad de intercambio catiónico del suelo evitando que los nutrimentos se pierdan por lixiviación.
- Liberan bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante su descomposición que forma ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) el cual solubiliza nutrimentos de otras fuentes.
- Abastecen el carbono orgánico que se utiliza como fuente de energía para organismos heterotróficos presentes en el suelo.
- Aumenta la infiltración del agua, reduciendo el escurrimiento superficial lo que evita la erosión de los suelos.
- Favorecen una mayor resistencia de los agregados del suelo a ser dispersados por el impacto de las gotas de lluvia.

- Los efectos de los estiércoles permiten que el suelo sea más productivo, conserve su fertilidad y tenga un uso sostenido a través del tiempo.

### **Capacidad de Intercambio Catiónico**

La capacidad de intercambio catiónico es la capacidad de las arcillas para absorber e intercambiar cationes. Las cargas negativas de arcilla usualmente atraen un enjambre de cationes (iones positivamente cambiados). Esta es la forma natural de mantener la electro neutralidad en el suelo. Se crea un sistema en el suelo compuesto de partículas con capas cargadas negativamente neutralizadas por capas de iones positivamente cambiados. Este sistema se denomina químico del suelo en una doble capa eléctrica (INTAGRI, 2015c).

Los cationes, mantenidos electrostáticamente sobre la superficie de arcilla, pueden ser reemplazados por otros cationes de suelo. Los cationes absorbidos son, por lo tanto, llamados intercambios. Las partículas del suelo responsables de la absorción e intercambio de cationes se llaman complejos de intercambio. Las reacciones de intercambio son instantáneas. Para mantener la electro neutralidad. (Tan, 2009)

### **Generalidades del Cultivo del Tomate**

El nombre proviene del náhuatl (azteca) “tomatl”. En México, comienza el proceso de domesticación y diversificación (Vergani. R.J., 2002).

Poco después de que Colón descubriera el Nuevo mundo, el tomate continuó su viaje y ya a mediados del siglo XVI acompañó a los exploradores españoles en su retorno a Europa. En España se le adjudicó el nombre de “Pomo de Moro” o “Manzana Morisca;” éste fue el primero de muchos nombres que asignaron. Su más antigua mención tuvo origen en Italia en 1544 en donde se le conoció como “Pomo d’oro” o “Manzana Dorada,” lo que sugiere que tal vez el primer tomate que llegó al antiguo continente fue el de una variedad de color amarillo. Después de viajar más de mil años, el tomate finalmente se ha propagado a los seis continentes (Brouwer. C y Elliott. M, 2006)

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es uno de los cultivos hortícolas más importantes producido en el mundo. Presenta una alta aceptación por los consumidores y forma parte importante de la gastronomía mundial. Además de los frutos de tomate rojo de forma más o menos uniforme, de los tipos Bola, Saladette o cherry, existe una amplia gama de variedades y cultivares que presentan colores, formas y sabores distintos (Horticultivos, 2017).

La superficie cosechada de tomate a nivel mundial creció a una tasa promedio anual de 1.4 por ciento entre el 2003 y 2013, para ubicarse en 4.69 millones de hectáreas. En tanto, en el mismo periodo los rendimientos promedio crecieron a un ritmo mayor, de 1.8 por ciento anual, al ubicarse en 35.0 toneladas por hectárea (FAO, 2016).

El tomate es un vegetal que incluso entre variedades los requerimientos nutrimentales son distintos, por lo tanto, no existen las recetas perfectas. Las necesidades de nutrimentales del cultivo de tomate oscilan entre rangos amplios y la demanda de cada elemento varia (INTAGRI, 2017). Las necesidades nutritivas del cultivo son:

**Tabla 1. Necesidades nutrimentales del tomate por tonelada de cosecha**

N	2,1-3,8 kg
P	0,3-0,7 kg
K	4,4-7,0 kg
Ca	1,2-3,2 kg
Mg	0,3-1,1 kg

Fuente: INTAGRI, 2017

# **MATERIALES Y MÉTODOS**

## **Ubicación**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo durante el ciclo primavera verano del 2017, en un invernadero de baja tecnología del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Ubicada a los 25° 21' 24'' Latitud Norte y 101° 02' 05'' Longitud Oeste, a una altitud de 1742 msnm. Dicho invernadero es tipo capilla, cuenta con ventilación cenital, calefactor, sistema de riego semiautomatizado con temporizador y depósito para solución fertilizante de 2,500 litros.

## **Descripción de Tratamientos**

Se evaluaron tres dosis materia orgánica; 0.00, 1.0 y 2.0 kg m<sup>2</sup>, adicionada al suelo desnudo. La materia orgánica fue de estiércol de bovino de más de un año.

## **Actividades para el Establecimiento del Experimento**

### **Preparación del Suelo**

Se realizó de forma manual, con picos y azadones. Se barbecho, desterronó y formaron las camas o surcos.

### **Adición del Estiércol**

Una vez formadas las camas, se adicionó el estiércol sobre la cama y a lo largo del surco, después se incorporó con un rastrillo.

### **Plantación**

Se utilizaron plantas de tomate tipo bola F1 cultivar Imperial (Hazera, 2015), previamente producidas en charolas de poliestireno de 200 cavidades y peat moss como sustrato. El trasplante se hizo a los 30 días de la germinación, las plantas se colocaron a una sola hilera, a una distancia entre plantas 0.35 m. y entre camas de 1.25 m.

## **Fertirrigación**

Se fertirrigó con una solución nutritiva Steiner (Steiner, 1961), al 50% de la plantación al amarre del primer racimo y 75% de amarre hasta concluir el cultivo. Se programaron 3 riegos por día a las 8, 12 y 16 horas del día. Inicialmente se empezó con un tiempo de riego 7 minutos en cada riego y se incrementaron hasta llegar a 15 minutos. El cultivo se manejó a un solo tallo.

## **Variables Evaluadas**

### **Iones en la Solución del Suelo**

Se midió la concentración de  $\text{NO}_3$ , Ca y Na. La medición se realizó una semana después del cambio de concentración de la solución nutritiva al 75% justo después de cada riego durante 3 días consecutivos. Para ello se instalaron 9 lisímetros marca Irrrometer, 3 por cada tratamiento a una profundidad de 15 cm y a una distancia de 17.5 cm entre plantas. Una vez instalados los lisímetros se efectuó un vacío, inmediatamente después de terminar el riego de las 12 horas. La recolección de las muestras se realizaba 24 horas después de haber realizado el vacío. Las muestras de la solución del suelo fueron analizadas *in situ* mediante equipos portátiles conocidos como ionómetros marca Horiba modelo LAQUAtwin B-741( $\text{NO}_3$ ), B-751(Ca), B-722(Na).

### **Crecimiento en Plantas.**

Para medir el crecimiento se midió, el diámetro de tallo, altura, distancia de entrenudos, largo y ancho de hojas. Se seleccionaron 5 plantas por repetición expresando dichas mediciones en centímetros.

### **Productividad y Calidad de frutos**

La productividad se avaluó con la medición de frutos por racimo (FPR), y peso promedio de frutos por racimo (PPF) y la calidad a través de la medición del diámetro polar (DPF) y diámetro ecuatorial (DEF) del fruto, sólidos solubles totales ( $^{\circ}\text{BRIX}$ ) y firmeza de fruto, para ello se tomó un fruto de cada repetición

en cada corte. También se midió la precocidad en base al número de racimos cosechados en el primer corte.

### **Análisis de Datos**

Los datos obtenidos se analizaron en un diseño experimental de bloques completos al azar con 3 tratamientos y 5 repeticiones, teniendo 9 plantas útiles por unidad experimental. A las variables con diferencia estadística se les realizó la prueba de medias de Tukey  $p \leq 0.05$ , con el software SAS versión 9.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Solución del Suelo

#### NO<sub>3</sub>, Ca y Na en la Solución del Suelo

La adición de materia orgánica como complemento a la fertilización con solución Steiner al 75% (Steiner, 1961) afectó el contenido de NO<sub>3</sub>, Ca y Na en la solución del suelo (Tabla 2). La adición de MO aumentó la concentración de NO<sub>3</sub>, Ca y disminuyó la concentración de Na. Respecto a la concentración de NO<sub>3</sub> y Ca, se observa un incremento, aun y cuando en su mayoría, la literatura indica que el contenido de nitrógeno en estiércoles composteados es bajo y el calcio también disminuye cuando se utiliza estiércol de bovino (Estrada-Botello et al., 2007). Esta respuesta es deseable dado que los iones de NO<sub>3</sub>, Ca son absorbidos en mayor cantidad por las plantas, mientras que sodio es un elemento no esencial, que provoca problemas en los suelos y los cultivos (Olivares-Campos, 2012).

**Tabla 2. Efecto de la MO sobre la concentración de iones en la solución del Suelo.**

Dosis de MO	NO <sub>3</sub> (ppm)	Ca (ppm)	Na (ppm)
0.0 kg/m <sup>2</sup>	454.2 b	68.17 b	434.2 a
1.0 kg/m <sup>2</sup>	780.8 a	71.83 b	140.6 b
2.0 kg/m <sup>2</sup>	835 a	97.17 a	171.7 b
Significancia	*	*	*

\*=significativo al 0.05, ns= no significativo, medias seguidas de la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales Tukey (p≤0.05).

#### Crecimiento de la Planta

El crecimiento de la planta de tomate bola F1 Imperial fue afectado por la adición de materia orgánica. Se observó que aumentó la altura, el diámetro de

tallo y el tamaño de las hojas (Tabla 3). En general se observó que las plantas cultivadas con MO adicional, tuvieron un mayor desarrollo y fue proporcional a la cantidad de MO agregada. Las plantas con mayor desarrollo fueron aquellas producidas con la adición de 2 kg m<sup>2</sup>, también se observó presencia de hojas en los racimos, que es un indicador de exceso de desarrollo vegetativo relacionado a un alto contenido de nitrógeno. La mayoría de los cultivos muestra una clara respuesta a la aplicación de los abonos orgánicos. Los abonos orgánicos están considerados universales, por el hecho que aportan casi todos los nutrimentos que las plantas necesitan para su desarrollo. Es cierto que, en comparación con los fertilizantes químicos, contienen bajas cantidades de nutrimentos; sin embargo, la disponibilidad de dichos elementos es más constante durante el desarrollo del cultivo por la mineralización gradual a que están sometidos (SAGARPA, 2017). Adicionalmente la MO, durante su proceso de descomposición genera ácidos húmicos y fúlvicos que a su vez tienen un efecto positivo sobre muchas funciones de la planta, a nivel de células y órganos; por ejemplo, la diferenciación del punto de crecimiento en raíces (Julca *et al.*, 2006), el aumento en el diámetro del tronco y la longitud de brotes en viñedos jóvenes (Buckerfield y Webster ,1998).

**Tabla 3. Efecto de la adición de MO sobre el crecimiento de la planta de tomate bola.**

Dosis de MO	Altura (cm)	DT (mm)	DDE (cm)	LH (cm)	AH (cm)
0.0 kg/m <sup>2</sup>	258.07 b	13.04 b	22.67 a	32.79 c	17.48 b
1.0 kg/m <sup>2</sup>	288 ab	14.46 ab	24.34 a	32.79 b	25.087 a
2.0 kg/m <sup>2</sup>	316.47 a	14.58 a	23.45 a	41.07 a	29.61 a
Significancia	*	*	Ns	*	*

\*=significativo al 0.05, ns= no significativo, medias seguidas de la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales Tukey (p≤0.05) DT=diámetro del tallo, DDE=distancia de entrenudos, LH= largo de hoja, AH=ancho de hoja.

## Productividad

La productividad del tomate Imperial F1, también fue afectada por la adición complementaria de MO (Tabla 4). Al aplicarse MO aumentó el número de racimos, el peso y número de frutos por racimo, y el tamaño del fruto. En general el mejor tratamiento fue 2.0 kg m<sup>2</sup>, en el cual las plantas mostraron un mayor desarrollo de la planta y mayor rendimiento.

La extrapolación del rendimiento por planta a rendimiento por hectárea, muestran que la adición de 2 kg ha<sup>-1</sup> de M.O., como complemento a la fertilización con solución nutritiva Steiner al 75%, incrementó el rendimiento.

**Tabla 4. Efecto de la adición de MO sobre la productividad de tomate**

Dosis de MO	RC	PTR (g)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
0 Kg/m <sup>2</sup>	6.2 b	351.67 c	38.05 c
1 Kg/m <sup>2</sup>	8.0 a	508.29 b	78.09 b
2 Kg/m <sup>2</sup>	8.5 a	680.88 a	104.98a
Significancia	*	*	*

\* = significativo al 0.05, ns= no significativo, medias seguidas de la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales Tukey ( $p \leq 0.05$ ), RC= racimos cosechados, PTR= peso total de racimo, DPF= diámetro polar del fruto, DEF= diámetro ecuatorial del futo, SST= sólidos solubles totales.

## Calidad del Fruto

La calidad del fruto de tomate Imperial F1, también fue afectada por la adición complementaria de MO (Tabla 5). Al aplicarse MO aumentó el número de racimos, el peso y número de frutos por racimo, y el tamaño del fruto, mientras que la firmeza y sólidos totales del fruto no mostro efecto. En general el mejor tratamiento fue 2.0 kg m<sup>2</sup>, en el cual las plantas mostraron un mayor desarrollo, mayor rendimiento y calidad de los frutos. Respecto al Ca, la concentración en

la solución del suelo para todos los tratamientos fue baja, si consideramos que la concentración recomendada es de 9 meq L-1 o 180 ppm (Cadahia, 2005), y que la firmeza está relacionada al contenido de Ca (Ramírez et al, 2010), entonces, era de esperarse que todos los frutos mostraran valores de firmeza bajos. Sin embargo, si la firmeza recomendada para tomate es de 9.0 lb/pulg<sup>2</sup> (Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño, 2008), todos los tratamientos presentan valores de firmeza adecuados.

Los sólidos totales en fruto fueron mayores donde se aplicó 2 Kg/m<sup>2</sup> de materia orgánica, obteniendo una media de 4.8° Brix lo cual es superior a lo reportado Márquez (2008) usando como sustrato biocomposta y vermicomposta con una media 4.04° Brix, pero fueron inferior a lo obtenido por Herrera (2007) para el genotipo imperial 643 en sustrato orgánico con 9.37° Brix.

**Tabla 5. Efecto de la adición de MO sobre la calidad del fruto de tomate**

Dosis de MO	DPF (mm)	DEF (mm)	SST (°Brix)	Firmeza (lb/pulg <sup>2</sup> )
0 Kg/m <sup>2</sup>	55.07 b	66.22 c	4.62 b	7.68 a
1 Kg/m <sup>2</sup>	57.9 ab	71.67 b	4.6 b	8.74 a
2 Kg/m <sup>2</sup>	61.67 a	78.77 a	4.8 a	7.84 a
Significancia	*	*	*	ns

\* = significativo al 0.05, ns= no significativo, medias seguidas de la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales Tukey (p≤ 0.05), RC= racimos cosechados, PTR= peso total de racimo, DPF= diámetro polar del fruto, DEF= diámetro ecuatorial del futo, SST= solidos solubles totales.

## **CONCLUSIONES**

La adición de MO aumentó la concentración de  $\text{NO}_3$ , Ca y disminuyó la concentración de Na en la solución del suelo.

La adición de 2 kg ha<sup>-1</sup> de M.O., como complemento a la fertilización con solución nutritiva Steiner al 75%, incrementó el rendimiento y la calidad del fruto de tomate.

## LITERATURA CITADA

- Altieri, M. (2009). La agricultura moderna: impactos ecológicos y la posibilidad de una verdadera agricultura sustentable. University of California, Berkeley, Department of Environmental Science, Policy and Management. Berkeley, CA, USA.
- Brouwer. C y Elliott. M, 2006. El Tomate, sus Datos e Historia. Texas A&M University System, U.S. Department of Agriculture y the County Commissioners Courts of Texas cooperating. pp. 1 .[Fecha de consulta 25 de Abril del 2017]  
<http://counties.agrilife.org/harris/files/2011/05/eltomate.pdf>
- Buckerfield, J. y Webster,k., 1998. Compost as mulch for managing Young vines. The Australian Grape-grower and Winemaker. October, Pp75-78
- Cadahia, C. (Ed.).2005. Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-prensa Libros.
- Casierra-Posada, Fánor, y Óscar E. Aguilar-Avenidaño. 2008. “Calidad En Frutos de Tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) Cosechados en Diferentes Estados de Madurez.” *Agronomía Colombiana* 26(2): 300–307.
- College of Tropical Agriculture and Human Resources, 2007. Soil nutrient management for Maui County. University of Hawai'i.  
[https://www.ctahr.hawaii.edu/mauisoil/c\\_relationship.aspx](https://www.ctahr.hawaii.edu/mauisoil/c_relationship.aspx)
- Crespo, G., & Fraga, S. (2005). Efecto de la aplicación superficial de fertilizante mineral y abono orgánico en la recuperación de un campo forrajero de *Pennisetum purpureum* cv. king grass. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 39(3).

- De Rijck, G., & Schrevens, E. (1998). Distribution of nutrients and water in rockwool slabs. *Scientia Horticulturae*, 72(3-4), 277-285.
- FAO (Food and Agriculture Organization) 2016. Panorama Agroalimentario. Tomate rojo. Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura. pp. 1-5. [Fecha de consulta 26 de abril del 2017]
- Favela, E., Preciado, R. P., & Benavides, A. (2006). Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila.
- González, V. y Pomares, F. (2008). La fertilización y el balance de nutrientes en el sistema agroecológico. Valencia, España: SEAE.
- Herrera González, R. (2007). Evaluación de diferentes sistemas de fertilización orgánica con tres híbridos de tomate bola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Horticultivos, 2017. La producción de tomate en México y en Estados Unidos. Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Veracruz. México [Fecha de consulta 26 de abril del 2017]
- INTAGRI, 2015a. ¿Por qué analizar la solución del suelo? Artículos Técnicos de INTAGRI. México
- INTAGRI, 2015b. Sinergismos y Antagonismos entre Nutrientes. Artículos Técnicos de INTAGRI. México Pp 1-2
- INTAGRI, 2015c. La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo. Artículos Técnicos de INTAGRI. México

- INTAGRI. 2017. Soluciones Nutritivas para el Cultivo de Tomate. Serie Horticultura Protegida Núm. 33. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.
- Malavolta, E., G.C. Vitti, y S.A. de Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: principios e aplicações. Ed. POTAFOS, 2da ed., rev. e actual. Piracicaba, Brasil. 319 p.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. 2nd Ed., Academic Press, Burlington, MA. Pp 92-95,159-218,429-482.
- Meléndez, G. y Soto. G, 2003. Taller de Abonos Orgánicos. Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), UCR. Sabanilla, Costa Rica. <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf>
- Narváez Ortiz, W. A. (2017). Desarrollo de modelos matemáticos para el estudio de la concentración de elementos en la solución del suelo.
- Olivares-Campos, M. A., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez- Balderrama, J. L., & Ojeda-Barrios, D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. Universidad y ciencia, 28(1) 27-37.
- Pérez J. (2014). Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias, Departamento de Biociencias Medellín, Colombia: <http://www.bdigital.unal.edu.co/39459/1/71782231.2014.pdf>
- Pieri, CJMG. 1989. Fertility of Soils. A future for agriculture in the savannah of western Africa. Springer Verlag, Berlin.
- Ramírez Martínez, M., Trejo-Téllez, L. I., Gómez Merino, F. C., & Sánchez García, P. 2010. La relación  $K^+/Ca^{2+}$  de la solución

nutritiva afecta el crecimiento y calidad postcosecha del tulipán. Revista fitotecnia mexicana, 33(2), 149-156.

- SAGARPA.2017.<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf>
- SAGARPA.[http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichas\\_aapt/Utilizaci%F3n%20de%20esti%E9rcoles.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichas_aapt/Utilizaci%F3n%20de%20esti%E9rcoles.pdf)
- Sánchez, B.; Ruiz, M.: y Ríos, M.; 2005.Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. Agronomía Tropical.56 (4).
- Sánchez, F Escalante, E. R 2001.Hidroponía principios y métodos de cultivos. tercera edición. U.A. Chapingo, México. Pp. 119-151
- Sánchez, Saray, Hernández, Marta, & Ruz, F. (2011). Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. Pastos y Forrajes, 34(4), 375- 392.
- Sandoval Rangel A. 2018. Uso eficiente de Fertilizantes. 6to. Congreso Nacional de Cebollas. Editorial De riego SA de CV. México.
- SIAP. 2017. Atlas Agroalimentario 2017. SIAP-SAGARPA. México. 231 p.
- Steiner, AA (1961). Un método universal para preparar soluciones nutritivas de una determinada composición deseada. Planta y suelo, 15 (2), 134-154.
- TAN, H., 2009. Eenvironmental soilscience. University of Georgia Athens, Georgia. Crc press. Thirdedition
- Terrones Cordero, Aníbal, Sánchez Torres, Yolanda, Análisis de la rentabilidad económica de la producción de jitomate bajo invernadero En

acaxochitlán, Hidalgo. Revista Mexicana de Agronegocios [en línea] 2011, 29 (Julio-Diciembre): [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2018] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14119052013>> ISSN 1405-9282

- Vergani. J.; 2002. *Lycopersicum esculentum: una breve historia del tomate*.pp. 1-3. [Fecha de consulta 25 de abril del 2017] <http://www.horticom.com/pd/imagenes/50/956/50956.pdf>