

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de la Concentración de Calcio y Potasio en la Solución de Fertirriego en
Tomate Bajo Invernadero

Por:

HORACIO GONZÁLEZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de la Concentración de Calcio y Potasio en la Solución de Fertirriego en
Tomate Bajo Invernadero

Por:

HORACIO GONZÁLEZ LÓPEZ

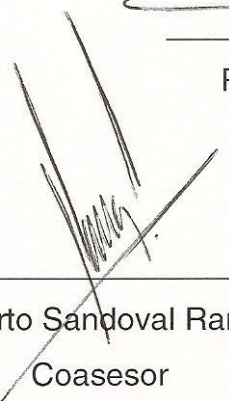
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

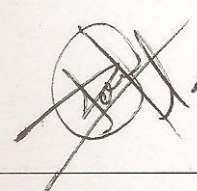
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA



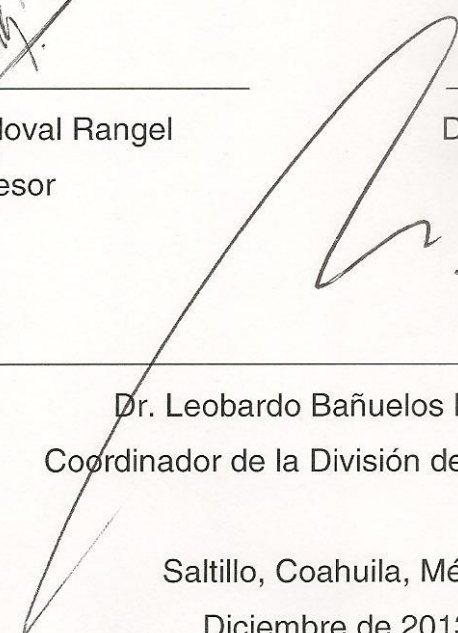
PhD. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal



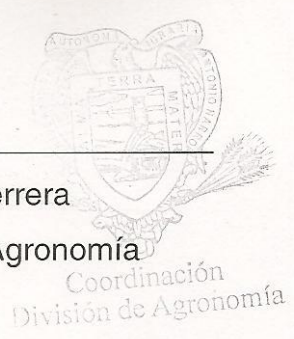
Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coasesor



Dr. Valentín Robledo Torres
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2013

DEDICATORIA

A mis padres:

**El Sr. Filemón González Gutiérrez y la Sra. Ma. Angelina López
Pérez**

Por su apoyo incondicional, por su comprensión y su cariño, por haber dedicado tanto de su tiempo y esfuerzo, por haberme enseñado siempre a seguir adelante y a nunca darme por vencido ante la adversidad, a pesar de lo dura y difícil que algunas ocasiones suele ser, por haberme enseñado que la vida no siempre es fácil y que el camino está lleno de obstáculos que me harían caer pero que solo aprendiendo a levantarse es como se consiguen los sueños, gracias a ustedes uno de mis sueños hoy se hace realidad, gracias.

A mis hermanos:

Lorena, Gerardo, José, Gabriela y Jaime, quienes siempre estuvieron cerca de mí y con quienes siempre he contado, que con su cariño, apoyo y alegría me demostraron que a pesar de lo largo que puede ser el camino o lo distante que parece ser la meta, siempre se podrá llegar al final, pues no hay sendero sin final, ni meta que no se puedan alcanzar, gracias por demostrarme que la mejor herramienta de la vida es la voluntad que pueda tener en mismo.

A mis amigos (as):

Quienes han sido compañeros (as) en las aulas y amigos en la vida, y que me han brindado su amistad y su apoyo incondicional, que hicieron más sencillos todos y cada uno de los peldaños en mi paso por esta etapa de mi vida, y que me han enseñado que nada es fácil y que solo con trabajo arduo se consigue el éxito en la vida.

AGRADECIMIENTO

A dios, por ser en quien he puesto mi fe y porque gracias a él he tenido el espíritu de continuar siempre adelante, por haberme dado la oportunidad de llegar hasta aquí y por permitirme entender con claridad y retener el conocimiento necesario para culminar con una de las etapas más importantes de mi vida.

A esta mi Universidad (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro) por haberme brindado las herramientas para formarme no solo como profesionalista sino también como persona, por haberme enseñado que el conocimiento es la mejor inversión, inversión que sin lugar a dudas no lleva consigo la palabra fracaso sino por el contrario solamente el éxito.

A mis padres y a mis hermanos, quienes me han brindado su apoyo incondicional y que han sido un pilar fundamental en mi vida y en mi carrera profesional, y que gracias e ellos el día hoy con éxito he logrado las metas y los objetivos que un día me fije.

A mis profesores, PhD. Luis Alonso Valdez Aguilar, Dr. Alberto Sandoval Rangel, Dr. Valentín Robledo Torres, Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente, Dra. Rosalinda Mendoza Villareal, Dr. Leobardo Bañuelos Herrera, MC. Inocente Mata Beltrán, por su apoyo, orientación, por su paciencia y por compartirme un poco de su mucho conocimiento a lo largo de mi carrera, a todos y cada uno de los profesores del Dep. de Horticultura todos ellos fueron una parte muy

esencial para conseguir la meta que hoy culmino, por regalarme un poquito de su gran conocimiento y experiencia que estoy seguro me será de mucha utilidad en cada uno de los retos que afuera me esperan, por su paciencia, por su esmero y por alentarme siempre a seguir adelante y a nunca detenerme sino hasta haber alcanzado el éxito, ya que el éxito se consigue solamente cuando se trabaja arduamente.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| ÍNDICE DE CONTENIDO | vi |
| ÍNDICE DE CUADROS | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS | x |
| RESUMEN | xi |
| I. INTRODUCCIÓN | 12 |
| 1.1 ANTECEDENTES..... | 12 |
| 1.2 OBJETIVO | 14 |
| 1.3 HIPÓTESIS | 14 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 15 |
| 2.1 El tomate | 15 |
| 2.2 Crecimiento vegetativo y reproductivo del tomate | 16 |
| 2.3 Nutrición mineral..... | 17 |
| 2.3.1 Importancia de la nutrición mineral..... | 17 |
| 2.3.2 Nitrógeno | 18 |
| 2.3.3 Fósforo | 19 |
| 2.3.4 Potasio..... | 19 |
| 2.3.5 Calcio..... | 20 |
| 2.3.6 Magnesio | 21 |
| 2.4 Técnicas de fertilización | 22 |
| 2.4.1 Fertirriego | 22 |
| 2.4.2 Fertilización en banda..... | 23 |
| 2.4.3 Fertilización al voleo | 23 |

| | |
|--|----|
| 2.5 Técnicas de fertirriego. | 23 |
| 2.5.1 Fertilización en base a curvas de extracción | 24 |
| 2.5.2 Fertilización en base al análisis de la solución del suelo. | 24 |
| 2.5.3 Fertilización en base a metas de rendimiento | 25 |
| 2.5.4 Fertilización en base a análisis de savia..... | 26 |
| 2.5.5 Análisis de agua de riego | 26 |
| 2.6 Interacciones nutrimentales..... | 27 |
| 2.6.1 Relaciones de antagonismo entre los nutrientes | 28 |
| 2.6.2 Relaciones de sinergismo entre los nutrientes | 29 |
| 2.6.3 Interacción Calcio–Potasio | 30 |
| 2.6.4 Balance nutrimental..... | 30 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 32 |
| 3.1 Localización y Características del Sitio Experimental..... | 32 |
| 3.2 Preparación de suelo, sistema de riego y trasplante | 32 |
| 3.2.1 Establecimiento del Experimento y Manejo de las Plantas..... | 33 |
| 3.2.2 Poda de hojas..... | 34 |
| 3.2.3 Control de Plagas y Enfermedades | 34 |
| 3.3 Descripción de los tratamientos..... | 34 |
| 3.4 Variables Evaluadas | 39 |
| 3.4.1 Altura de la planta..... | 39 |
| 3.4.2 Diámetro de la planta..... | 39 |
| 3.4.3 Peso fresco de la planta | 39 |
| 3.4.4 Peso seco de la planta | 40 |
| 3.4.5 Número de frutos | 40 |
| 3.4.6 Peso de frutos..... | 40 |

| | |
|---|----|
| 3.5 Diseño Experimental y Modelo Estadístico..... | 41 |
| IV. RESULTADOS | 42 |
| Altura de la planta..... | 42 |
| Diámetro basal del tallo | 43 |
| Peso fresco de la planta | 44 |
| Peso seco de la planta | 45 |
| Rendimiento total..... | 46 |
| Índice de cosecha..... | 47 |
| V. DISCUSION..... | 48 |
| 5.1 CONCLUSIÓN..... | 53 |
| VI. LITERATURA CITADA | 55 |

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Porcentajes de cada uno de los elementos aplicados en la fertilización, en cada uno los tratamientos evaluados..... 37

Cuadro 2. Fertilizantes utilizados en la fertilización del cultivo de tomate.... 38

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Fig. 1. Curva de Absorción de Nitrógeno en Tomate..... | 36 |
| Fig. 2. Curva de Absorción de Fosforo en Tomate..... | 36 |
| Fig. 3. Curva de Absorción de Potasio en Tomate..... | 37 |
| Fig. 4. Curva de Absorción de Calcio en Tomate..... | 37 |
| Fig. 5. Curva de Absorción de Magnesio en Tomate..... | 38 |
| Fig. 6. Altura de la planta de acuerdo al efecto de los tratamientos..... | 43 |
| Fig. 7. Diámetro basal de tallo..... | 44 |
| Fig. 8. Peso fresco de la planta..... | 45 |
| Fig. 9. Peso seco de la planta | 46 |
| Fig. 10. Rendimiento de mala calidad..... | 47 |
| Fig. 11. Rendimiento total..... | 48 |
| Fig. 12. Índice de cosecha..... | 49 |

RESUMEN

Es necesario buscar alternativas para suministrar nutrientes de forma más eficiente y precisa, en el momento indicado, pero sobre todo en las cantidades necesarias, por lo anterior el objetivo del presente estudio fue: Determinar la dosis óptima entre la relación calcio y potasio que se debe aplicar al cultivo de tomate. Se evaluaron 6 relaciones de Ca/K (calculadas en base a curvas de extracción estimadas), 1)- 50% / 100%, 2). 100% / 100% (Testigo). 3). 150% / 100%, 4). 50% / 150%, 5). 100% / 150%, 6). 150% / 150%. Las variables evaluadas fueron: Altura de la planta, diámetro basal del tallo, peso fresco de la planta, peso seco de la planta, rendimiento total e índice de cosecha. Los resultados indican que la relación Ca/K afecta el crecimiento y rendimiento de tomate. La relación 150% / 150%, aumentó el rendimiento, índice de cosecha y peso seco. Las relaciones 50% / 100%, 100% / 150%, disminuyen la altura y peso fresco, y el diámetro de tallo no se ve afectado por ninguna relación.

Palabras Clave: Cultivos en invernadero, Fertilización, Nutrición mineral, Fertirrigación.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El tomate, o *Solanum Lycopersicum*, tiene su origen en Sudamérica y más concretamente en la región andina, aunque posteriormente fue llevado por los distintos pobladores de un extremo a otro, extendiéndose por el continente (Rodríguez *et al.*, 2001).

Algunos estudios indican que en México ocurrió la domesticación, los aztecas lo cultivaban y lo usaban en salsas y diferentes guisos; lo llamaban “Xictomatl” que significa tomate con ombligo (Barrón *et al.*, 2002)

El tomate es una hortaliza de la familia de las solanáceas cuyo fruto es una baya. Se consume como alimento fresco o procesado industrialmente. El tomate de mesa es utilizado exclusivamente para consumo fresco, principalmente ensaladas (IICA 2004).

El tomate es la hortaliza más importante en numerosos países y su popularidad aumenta constantemente. En la actualidad esta hortaliza ha adquirido importancia económica en todo el mundo. (Nuez, 1995).

El consumo de tomate ha evolucionado mucho desde hace varios centenares de años, en que esta especie era considerada como tóxica, por pertenecer a la misma familia que la belladona. Hoy en día, la producción de tomate se sitúa en el cuarto puesto mundial de las hortalizas. Su consumo está en constante aumento, es de más de 12 kg por habitante y año, con más de 100 kg en Grecia y Libia. El rendimiento por hectárea y las superficies cultivadas están en constante aumento (Blancard *et al.*, 2009).

La superficie empleada para invernaderos en México es de 6000 has y crece anualmente en un 25 %; de esta superficie, 3450 has, se destinan a la producción de tomate. La producción de tomate bajo condiciones controladas incrementa el rendimiento y la calidad del fruto (Rodríguez *et al.*, 2009).

Ante la creciente escasez de recursos hídricos destinados para la agricultura y el alto costo de los insumos agrícolas, resulta indispensable buscar alternativas tecnológicas que reduzcan los costos de producción y que, al mismo tiempo, se obtengan altos rendimientos con la mayor calidad posible sin detrimento de los recursos naturales (Bugarín *et al.*, 2002).

La fertilización balanceada provee los nutrientes suficientes y en las proporciones adecuadas para un desarrollo, diferenciación y maduración óptima del cultivo. Además, junto con un buen clima y manejo del cultivo permitirá la explotación o expresión del máximo potencial genético de esa planta en particular (Lazcano, 2006).

El agua destinada al riego puede contener sales disueltas que pueden servir de punto de partida, para añadir a las soluciones de fertilizantes la diferencia que requiera el cultivo. Un contenido excesivo de sales afecta el crecimiento de las plantas, porque pueden estar presentes cationes como sodio, calcio, magnesio, potasio, y aniones como sulfato y carbonato (Asociación de Agrónomos Indígenas El Cañar, 2004).

La calidad de agua de riego afecta a la nutrición de las plantas, tanto por su contenido de elementos nutritivos en solución, como por la presencia de iones tóxicos para la planta. Entre los primeros pueden encontrarse en aguas subterráneas y en concentraciones elevadas, algunos cationes como el Ca y K que pueden suponer un aporte significativo para la planta (Soler y Soler, 2006).

1.2 OBJETIVO

Determinar la dosis óptima entre la relación calcio y potasio que se debe aplicar al cultivo de tomate para poder aumentar su rendimiento y reducir los costos de producción.

1.3 HIPÓTESIS

La aplicación de calcio y potasio a diferentes concentraciones causan un efecto positivo en el crecimiento y desarrollo de la planta.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El tomate

El tomate (*Solanum Lycopersicum*), miembro de la familia de las solanáceas, es una planta nativa de América tropical, cuyo centro de origen se localiza en los Andes, integrada por Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú, donde existe a mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres (León y Arosemena, 1980).

El tomate es la hortaliza más importante del mundo, constituye el 30% de la producción hortícola, con alrededor de 2.9 millones de has sembradas y 72 744 000 toneladas de frutos cosechados. Los países en vías de desarrollo contribuyen de manera significativa a la producción mundial con aproximadamente 47 283 600 toneladas, que representan el 65 % de dicha producción. Europa y Norte América contribuyen con el resto (Vallejo y Estrada, 2004).

En México, el cultivo del tomate tiene importancia no solo como generador de divisas, sino también por la elevada derrama económica que genera; además proporciona mano de obra a gran cantidad de trabajadores estacionales del campo. Crea y fomenta el empleo de otras ramas de la actividad económica, como el transporte, y empresas que se dedican a la venta de insumos (Santiago *et al.*, 1998).

El desarrollo de las plantas depende de numerosos factores, entre los que cabe mencionar la variedad, la iluminación, la temperatura, la nutrición, el suministro de agua y concentración de CO₂, que actúan en un complejo entramado de interacciones. En los cultivos al aire libre, la posibilidad de modificar alguno de estos factores es muy limitada, si bien la introducción de técnicas, como el riego por goteo o el acolchado, permite mejoras importantes. El empleo de invernaderos ofrece unas posibilidades mucho más amplias para la optimización de dichos factores y la introducción de los sistemas controlados mediante ordenador permite regular la temperatura de las raíces y el aire, el suministro de agua y elementos minerales así como la concentración de CO₂ en cada momento, de acuerdo con las necesidades de la planta (Nuez, 1995).

2.2 Crecimiento vegetativo y reproductivo del tomate

El crecimiento vegetativo es la fase en que ciertas plantas solo producen órganos no destinados a la reproducción, es decir, hojas. En algunas plantas, la formación de hojas y flores es alterna, por lo que no existe una fase vegetativa propiamente dicha (Fraume, 2006).

El crecimiento reproductivo se inicia a partir de la fructificación y se caracteriza por que el crecimiento de la planta prácticamente se detiene y los frutos extraen de la planta los nutrientes necesarios para su crecimiento y maduración. La senescencia de la planta se hace evidente debido a la movilización de los asimilados de la fotosíntesis hacia los frutos (Bolaños, 2001).

El aumento del crecimiento vegetativo podría estar asociado con el aumento de la tasa fotosintética (Geraut *et al.*, 1995). El incremento en el número de hojas aumenta la fotosíntesis total, lo que redundaría en el aumento de peso de fruto y consecuentemente en rendimiento (Rodríguez *et al.*, 2009).

El crecimiento vegetativo es igualmente afectado por la relación entre la temperatura diurna y nocturna. Plantas sometidas a temperaturas bajas constantes (14°C) exhiben un aumento en el número de flores en relación con aquellas sometidas a 26°C (Vallejo y Estrada, 2004).

Se puede mencionar que la relación entre crecimiento vegetativo y reproductivo no está bien entendida y hacen falta muchos estudios para interpretar sus interacciones (INIAP, 1993).

2.3 Nutrición mineral

La fertilización mineral es una de las prácticas agrícolas que conllevan a incrementos notables del rendimiento; sin embargo, su uso inapropiado afecta el ambiente de modo adverso, creando relaciones inter-nutrientes desfavorables que pueden provocar desequilibrios nutricionales en las plantas (Armenta *et al.*, 2001).

El estudio del modelo de asimilación de los nutrientes minerales por parte de las plantas se denomina nutrición mineral. Esta área de investigación constituye el centro de la agricultura moderna y la protección del medio ambiente. Los altos rendimientos agrícolas dependen en gran medida de la fertilización con nutrientes minerales. De hecho, los rendimientos de la mayoría de los cultivos aumentan linealmente con la cantidad de fertilizantes que absorben (Loomis y Connor 1992).

2.3.1 Importancia de la nutrición mineral

La fertilización mineral del suelo tiene como objetivo, mantener en el suelo un contenido adecuado de elementos minerales, en condiciones de asimilabilidad, para que la planta pueda absorberlos en el momento preciso y en las cantidades necesarias (Urbano, 1992).

Para las plantas cultivadas en condiciones intensivas, el objetivo del agricultor es, habitualmente, impedir que el suministro de los nutrientes imponga limitaciones de rendimientos. Para actuar así, es necesario que todas las plantas dispongan de todos los nutrientes minerales esenciales y que la velocidad de suministro de cada uno sea, al menos, igual a la demanda de los cultivos (Wild, 1989).

El crecimiento y desarrollo de una planta está normalmente asegurado si se satisface en todo momento el equilibrio entre la demanda y la oferta en elementos necesarios en el proceso. En el medio donde se desarrollan las raíces, además del agua y del oxígeno, deben estar presentes los elementos minerales en formas que sean o lleguen a ser asimilables. El papel de la fertilización es atender estas necesidades mediante la incorporación de nutrientes (Lemaire *et al.*, 2005).

2.3.2 Nitrógeno

El nitrógeno, cuyas formas de asimilación son el ion nitrato (NO_3) y el ion amonio (NH_4), es el motor del crecimiento de la planta. Dentro de la planta se combina con componentes generados por el metabolismo de los hidratos de carbono o carbohidratos para formar aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos. Además, por ser un constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales del desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento. Un buen suministro de nitrógeno en las plantas es importante también por la absorción de los demás elementos nutritivos. Así mismo, este elemento es parte esencial de la molécula de la clorofila (Moreno, 2007).

Los conocimientos actuales del metabolismo vegetal permiten asegurar que el nitrógeno absorbido bajo la forma de nitratos no puede ser utilizado por la planta. Para que ello sea posible es necesaria previamente su reducción hasta la forma amónica. Es entonces cuando puede incorporarse como constituyente

de los diversos compuestos nitrogenados que integran su organismo (Navarro y Navarro, 2003).

2.3.3 Fósforo

El fósforo es un componente fundamental de compuestos importantes de las células vegetales, como los intermediarios azúcar-fosfato de la respiración y la fotosíntesis y de los fosfolípidos que forman parte de las membranas vegetales. También es un componente de los nucleótidos utilizados en el metabolismo energético vegetal (como el ATP) y en las moléculas DNA y RNA (Taiz y Zeiger, 2006).

El fósforo únicamente puede ser asimilado por las plantas bajo las formas de iones ortofosfafos H_2PO_4 (monovalente) y en menor proporción H_2PO_4 (bivalente) presentes en la solución del suelo. La solubilidad de estos dos iones depende fundamentalmente del pH (Olivera *et al.*, 2006).

2.3.4 Potasio

El potasio es absorbido como ion potásico K y se encuentra en los suelos en cantidades variables, el fertilizante potásico es añadido a los suelos en forma de sales solubles tales como yoduro potásico, sulfato potásico, nitrato potásico y sulfato potásico magnésico (Tisdale y Nelson, 1982).

La presencia de potasio:

Favorece la formación de hidratos de carbono (azúcar, almidón, féculas, etc.).

Aumenta la consistencia y dureza de los tejidos de las plantas, lo que da lugar a:

- Mayor resistencia a ciertas enfermedades.
- Mayor resistencia al encamado de los cereales.

- Es considerado como un factor de calidad de los productos; aumenta el peso, la coloración y el sabor de los frutos. También favorece la conservación de los productos.
- Hace disminuir el riesgo de helada. Al aumentar el contenido de sales disueltas en la savia disminuyen el punto de congelación de agua.
- Aumenta la resistencia de las plantas a la sequía, puesto que regula el mecanismo de apertura y cierre de los estomas, que es por donde las plantas transpiran el agua a la atmósfera

(Flórez, 2009).

2.3.5 Calcio

Absorbido fundamentalmente bajo la forma de Caes, después del K, el elemento básico más abundante que existe en las plantas. En proporciones mucho menores, también es absorbido mediante un intercambio directo entre los pelos radiculares y el complejo coloidal al que se encuentra adsorbido (Navarro y Navarro, 2003).

Funciones del Calcio:

A diferencia de otros elementos, el Ca no tiene gran importancia como activador enzimático. Además, es un elemento de muy baja movilidad interna. Su papel más importante es formar parte de la pared celular y mejorar la permeabilidad celular, las principales funciones del calcio dentro de la planta son:

- Forma parte del pectato de Ca que confiere rigidez y resistencia a las paredes celulares.
- Promueve la turgencia del plasma coloidal, en forma similar al K.
- Activa los meristemos de la raíz para su crecimiento radicular.
- Contribuye a la formación de nódulos de leguminosas.
- Contribuye a la germinación de los granos de polen y para que se desarrolle el tubo polínico.

→ Es importante para la división y elongación celular.
(Kass, 1998).

2.3.6 Magnesio

La molécula de la clorofila contiene un ion Mg en el núcleo de su compleja estructura. En consecuencia, el Mg es vital para la producción de clorofila y realización de la fotosíntesis. De hecho, es el único elemento metálico contenido en la clorofila. La mayor parte del Mg presente en las plantas se encuentra en la clorofila y en las semillas; una cantidad mucho menor aparece distribuida en las restantes estructuras vegetales. Una parte de ese magnesio distribuido, funciona en el sistema enzimático involucrado en el metabolismo de los carbohidratos (Thompson y Troeh, 1982).

En las células vegetales, los iones magnesio (Mg) tiene un papel específico en la activación de las enzimas implicadas en la respiración, en la fotosíntesis y en la síntesis de DNA y RNA. El magnesio también forma parte del anillo de la molécula de clorofila. Un síntoma característico de la carencia de magnesio es una clorosis entre los nervios, que se produce primero en las hojas más viejas debido a la gran movilidad de este elemento. Este patrón de clorosis se produce debido a que la clorofila en los nudos vasculares no resulta tan afectada durante largos periodos de tiempo como la clorofila de las células entre los nudos terminales. Si la carencia es excesiva, las hojas llegan a adquirir un color amarillo o blanco. Un síntoma adicional de la carencia de magnesio es la accisión prematura de las hojas (Taiz y Zeiger, 2006).

2.4 Técnicas de fertilización

Las ventajas comparativas de distintos métodos de aplicación de fertilizantes dependen del tipo de cultivo y suelo, de la fuente de fertilizante, del nivel de nutrientes del suelo, de los costos comparativos de aplicación, de los conceptos en los cuales se basa el manejo de la fertilización y la producción de cultivos, entre otros factores (Mallarino, 2005).

2.4.1 Fertirriego

La fertirrigación es una técnica muy efectiva para ahorrar agua y mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes. Existe una adopción creciente de esta técnica, por sus grandes ventajas (Usón *et al.*, 2010).

La fertirrigación significa literalmente aplicación simultánea de agua y los fertilizantes, generalmente de manera localizada y de alta frecuencia (Duarte, 2003).

Ante la creciente escasez de los recursos hídricos destinados para la agricultura y el alto costo de los insumos agrícolas, resulta indispensable buscar alternativas tecnológicas que reduzcan los costos de producción y que al mismo tiempo, se obtengan altos rendimientos. En éste sentido el fertirriego ha resultado una técnica promisoría en agro-ecosistemas hortícolas intensivos para abastecer adecuadamente con agua y nutrimentos a éstos cultivos durante su ciclo de producción, mediante el empleo de sistemas de riego localizado (Bar-Yosef, 1999).

En el fertirriego, aún persisten problemas tales, como precisar la dosis de fertilizantes que debe utilizarse para incrementar la eficiencia y aprovechamiento de los nutrimentos sin deterioro de los recursos naturales. Una forma de proceder es mediante la cuantificación de la demanda nutrimental diaria del cultivo de interés, lo que permitiría hacer los ajustes necesarios en el manejo de la fertilización (Duarte *et al.*, 2010).

El fertirriego es determinante para el desarrollo y producción del cultivo, dada la baja riqueza nutrimental del suelo (Duarte *et al.*, 2010).

2.4.2 Fertilización en banda

La fertilización en banda consiste en depositar el fertilizante en una banda continua o a "chorrillo". Se usa para fertilizaciones iniciales con nitrógeno, fosforo o potasio en los cultivos sembrados en hilera, colocándolo abajo y hacia un lado de la hilera de siembra (Robles, 1991).

2.4.3 Fertilización al voleo

El esparcimiento a voleo del fertilizante (es decir aplicándolo a la superficie de un campo) es usado principalmente en cultivos densos no sembrados en filas o en filas densas (pequeños granos) y en prados. Es también usado cuando los fertilizantes deberían ser incorporados en el suelo después que la aplicación sea efectiva (fertilizantes fosfatados), o para evitar las pérdidas por evaporación de nitrógeno (urea, fosfato diamónico). La incorporación a través de la labranza o arada es también recomendada para aumentar el nivel de fertilidad de la capa arada entera. Si el fertilizante es esparcido a voleo a mano o con un equipo de distribución de fertilizante, el esparcimiento debería ser tan uniforme como sea posible (FAO, 2002).

2.5 Técnicas de fertirriego.

El termino fertirrigación engloba la nutrición hídrica y mineral de los cultivos y sobre su concepto se concentra buena parte de los avances técnicos que sustentan el desarrollo de la agricultura intensiva. Fertirrigación significa literalmente, aplicación simultanea del agua de riego y los fertilizantes. Esta técnica abre nuevas posibilidades para controlar, el suministro hídrico y nutricional de los cultivos de tal forma que permite optimizar la distribución y concentración de los iones y agua en el suelo e impactar positivamente en el rendimiento y calidad de los productos. (Usón *et al.*, 2010).

2.5.1 Fertilización en base a curvas de extracción

La cantidad de nutrientes absorbidos por las plantas de tomate, varían según la fase fenológica en que se encuentren. Esta información nos sirve para planificar cuando se deben aplicar los fertilizantes y que dicha aplicación concuerde con la época de mayor demanda (Bolaños, 2001).

Conociendo el comportamiento de las curvas de absorción se determinan las épocas de mayor absorción de nutrientes durante el ciclo de crecimiento. Esto a su vez permite definir las épocas de aplicación de los fertilizantes en los programas de fertilización (Sancho, 2001).

2.5.2 Fertilización en base al análisis de la solución del suelo.

En la llamada solución del suelo, el agua del suelo contiene los nutrientes en una forma disponible para las plantas. La raíz de la planta puede adsorber los nutrientes solo en forma disuelta. De ahí que dichos nutrientes deben ser liberados del complejo de adsorción de la solución del suelo para ser eficientemente disponible para la planta (FAO, 2002).

La solución contiene sales que se hallan dissociadas en aniones: nitratos, fosfatos, carbonatos, etc. y cationes: calcio, potasio, zinc, etc. Los abonos son sales que cuando se incorporan al suelo, en contacto con el agua, se disocian en aniones y cationes. Por ejemplo, el cloruro potásico, KCl, se disocia en dos iones K y Cl y el nitrato magnésico, $Mg(NO_3)_2$, se disocia en un catión Mg^{2+} y dos aniones NO_3 (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009).

La enorme ventaja de realizar un análisis antes de la siembra es que proveerá de información simple para establecer la reserva de nutrientes del suelo en relación con las necesidades de consumo del cultivo. El análisis se toma como referencia para una recomendación de la cantidad de fertilizantes a aplicar. Y por lo tanto, estas recomendaciones se elaboran para corregir la fertilidad del suelo y así poder alcanzar el máximo rendimiento intentando al mismo tiempo

evitar un impacto negativo sobre el ambiente y permitiendo al productor ahorrar dinero (Fontanetto y Bianchini 2010).

Mediante el balance nutrimental se estudia la oferta (del suelo) y la demanda de cada nutriente (del cultivo) a fin de recomendar una aplicación racional de fertilizantes (Fontanetto y Bianchini 2010).

2.5.3 Fertilización en base a metas de rendimiento

El enfoque de nutrición vegetal integrada se puede modular; en un factor de metas de rendimiento en cualquier área de acuerdo con los potenciales de la tierra, el agua y el clima (FAO, 1992).

Para calcular la demanda total de un cultivo diferentes autores como (Galvis *et al.*, 1994), sugirieron hacerla a través de la meta del rendimiento en materia seca total y o el requerimiento interno del nutrimento de interés, teniendo en cuenta la distribución de la materia seca entre varias partes de la planta como un equilibrio funcional.

El contar con una composición nutrimental de referencia, asociada a rendimientos, facilita los procesos para diagnosticar correctamente el estado nutrimental y recomendar la aplicación adecuada de fertilizantes para no sub o sobre fertilizar en detrimento, tanto del fin empresarial en parcelas comerciales, como del ambiente dado el efecto, a veces negativo de los productos agroquímicos (Blanco *et al.*, 2006).

Para definir la dosis de fertilización, primeramente es necesario definir la meta de rendimiento que es posible alcanzar por el producto según el agro ecosistema en el que se encuentra. A partir de ahí se define la demanda neta de nutrientes. En la definición de la meta de rendimiento entra en consideración la experiencia del productor y el historial del rendimiento del cultivo en el terreno, las condiciones físicas y químicas del suelo (compactación,

conductividad hidráulica, la presencia de sales y/o sodio) o físico. Esto es lo que permite definir una meta realista de rendimiento y con ello una demanda real del nutrimento (Castellanos *et al.*, 2000).

2.5.4 Fertilización en base a análisis de savia

El análisis extraído de tejidos conductores (Sarro *et al.*, 1985) nos permite conocer la marcha de la fertilización con la posibilidad de correcciones de problemas de nutrición detectados en el seguimiento del cultivo. Aspectos como incidencia de salinidad y excesos o deficiencias de N, P, K, Ca y Mg, pueden ser controlados con el análisis.

El análisis de savia es un método semi-cuantitativo que pretende verificar o predecir la deficiencia de un nutrimento en el momento de la prueba, y los resultados se reportan como muy bajo, bajo, medio o alto, permitiendo en cierta forma pronosticar problemas nutricionales, mientras la planta está en el campo. En este análisis es muy importante indicar la parte de la planta que se utiliza en el análisis, así como también el efecto fisiológico de la planta. Además se deben considerar otros aspectos como condición del suelo (aeración y humedad), incidencia de plagas o enfermedades, condiciones climáticas, hora del día y rendimiento esperado (Salas, 2002).

El análisis de savia permite conocer la situación nutrimental de una planta en un momento dado de su desarrollo. Está a diferencia con el análisis foliar o de la planta entera, en el cual se refleja la situación nutrimental pasada del cultivo (Etchevers, 1999).

2.5.5 Análisis de agua de riego

El diagnóstico de la calidad de agua para el riego y caracterización agroquímica del suelo, permiten evaluar el comportamiento del cultivo a pesar de los fertilizantes entregados por vía fertirriego (Duarte *et al.*, 2010).

El agua de riego puede contener nitrógeno y otros nutrientes y contaminantes. Es absolutamente necesario conocer el contenido de estos nutrientes en el agua de riego para reducir su cuantía en la fertilización y poner en práctica medidas que minimicen o anulen los posibles efectos contaminantes (Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino, 2009).

El agua de riego también trae consigo nutrimentos como calcio, azufre, magnesio, además de elementos tóxicos como el sodio y el cloro y estas cantidades deben ser consideradas al momento de calcular la dosis de fertilización y criterios de manejo del suelo (Castellanos *et al.*, 2000).

Una forma útil de evaluar el agua de riego es observar su efecto sobre los suelos y el crecimiento de las plantas. Este efecto se relaciona principalmente con las sales y el crecimiento de las plantas (Soil Improvement Committee California Fertilizer Association, 2004).

2.6 Interacciones nutrimentales

Puesto que en la disolución del suelo están presentes, a la vez, distintos nutrientes en forma y concentraciones muy diferentes, puede esperarse que entre ellos se den diversas interacciones que afecten su absorción. La interacción entre dos nutrientes puede implicar antagonismo o, por el contrario, sinergismo, según que un aumento de la concentración de uno de ellos en el suelo de lugar a una disminución o a un aumento, respectivamente, de absorción del otro por la planta (Parra *et al.*, 2002).

La interacción entre nutrientes en las plantas cultivadas ocurre cuando al abastecimiento de uno de los nutrientes afecta la absorción y utilización de otros nutrientes, este tipo de interacción es muy común cuando un nutriente tiene un exceso de concentración en el medio de cultivo, éstas interacciones pueden ocurrir en la superficie de la raíz o dentro de la planta y pueden ser clasificadas en dos categorías principales; en la primera están los precipitados o

complejos que ocurren entre iones por su capacidad de formar vínculos químicos; en la segunda es entre iones con propiedades tan similares que compiten por el sitio de, absorción, transporte y función en la raíz de las plantas o dentro de sus tejidos, estas interacciones son comunes entre nutrientes de similar tamaño, carga, geometría de coordinación y configuración electrónica, este tipo de interacción es común entre Ca, Mg, K, y Na (Fageria, 2001).

Los micronutrientes interactúan en forma importante con otros macro y micronutrientes, tanto en el suelo y las reacciones de la superficie de la raíz como reacciones metabólicas de la planta, por lo que es importante conocer estas interacciones, las cuales permitirán manejar más adecuadamente una deficiencia o exceso a través del manejo de fertilización foliar y/o al suelo (Castellanos *et al.*, 2000).

2.6.1 Relaciones de antagonismo entre los nutrientes

El antagonismo consiste en que el aumento por encima de cierto nivel de la concentración de un elemento reduce la absorción de otro. Ejemplos: Na/Ca, K/Mg, Ca/Mg y K, Ca/Fe, Mn, Zn y B, Fe/Mn, N/K. Quizá el elemento más preocupante en suelos calizos sea el Ca, que como vemos es antagonista con multitud de elementos. También un exceso de abonado nitrogenado vemos que impide una correcta asimilación del K. Disponible en http://www.csr.servicios.es/notas_informativas/descargas/los_analisis_foliares.pdf. Consultado el día 20 de marzo del 2013.

Son frecuentes los antagonismos entre cationes y lo son menos entre aniones. El K compite fuertemente con otros cationes y su exceso puede originar carencias de magnesio si la concentración o el aporte de este elemento es deficiente (Wild, 1989).

Al incrementar el contenido de K en el suelo reduce la absorción de Ca, si bien en menor medida de lo que reduce la absorción de Mg por un exceso de K (Parra *et al.*, 2002).

El antagonismo puede ocurrir durante la absorción, translocación o acumulación en el tejido o en metabolismo. Esto puede involucrar la competencia entre dos o más elementos, pero también la precipitación de nutrientes u otros fenómenos. El antagonismo durante la absorción puede presentarse entre cationes, pero en algunos casos también entre aniones. Los antagonismos más documentados se han determinado entre K y Ca, K y Mg, Ca y Mg, NH_4 y Ca, NH_4 y K (Maldonado, 2002).

2.6.2 Relaciones de sinergismo entre los nutrientes

Las relaciones entre nutrientes pueden ser positivas o negativas y puede ser posible que no haya interacción. Cuando la respuesta del cultivo a la combinación de nutrientes es más grande que la suma de sus efectos individuales, la interacción es positiva; cuando el efecto de la combinación es más pequeño, la interacción es negativa; en el primer caso los nutrientes presentan sinergismo y en el último caso es antagonismo. Si no hay diferencia de la respuesta en la combinación con respecto a su aplicación separadamente, hay ausencia de interacción (Fageria, 2001).

El sinergismo se produce cuando uno de los iones provoca una acción excitante sobre la absorción del otro, como ocurre, por ejemplo, con el nitrógeno potasio (Oliveira *et al.*, 2006).

La presencia de un elemento dado aumenta la absorción de otro. El Ca en concentración baja aumenta la absorción de K o de H_2PO_4 ; Mg vs. H_2PO_4 ; H_2PO_4 vs. MoO_4 . Esta circunstancia puede tener circunstancias prácticas en la fertilización, ya que presenta mayor economía y mejor aprovechamiento de los abonos minerales (Ospina y Ceballos, 2002).

2.6.3 Interacción Calcio–Potasio

La aplicación de niveles desiguales de agua, combinada con una falta de Ca o K en el agua del suelo, puede ocasionar un desorden fisiológico en el fruto conocido como blossom o podredumbre apical. Una inconstante aplicación de riegos, o exposiciones prolongadas a sequía, seguida de un riego pesado, puede ocasionar rajaduras en el fruto (Santiago *et al.*, 1998).

El efecto del K sobre la absorción del Ca. Al incrementar el contenido de K en el suelo se reduce la absorción de Ca, si bien en menor medida de lo que se reduce la absorción de Mg por un exceso de K. De la misma manera ocurre una reducción de la absorción de K al aumentar el nivel de Ca en el suelo (Parra, 2008).

El potasio interactúa en la absorción de otros elementos; tal es el caso de la interacción K-Ca. Los excesos de potasio reducen la absorción de Ca; por lo contrario, el Ca favorece la absorción de K, ya que aquel es un cofactor en la utilización del complejo K-transportador, sintetizado en el proceso de absorción activa del K (Alcántar y Trejo, 2007).

2.6.4 Balance nutrimental

Uno de los enfoques utilizados para generar recomendaciones de fertilización para los cultivos es el balance nutrimental, basado en que la dosis de fertilización depende de la demanda del nutrimento por el cultivo, el suministro del nutrimento por el suelo y la eficiencia de recuperación del nutrimento aplicado como fertilizante (Volke *et al.*, 1998).

El balance entre los diferentes nutrientes minerales es importante desde la óptica biológica por dos razones:

→ El exceso de ciertos iones en la solución del medio de crecimiento, puede afectar la absorción y utilización de ciertos nutrientes, especialmente los micronutrientes.

→ El balance iónico afecta el pH de la solución del medio de crecimiento.

(Oliviera *et al.*, 2006).

Mediante el balance de nutrientes se pueden conocer las entradas y salidas de los nutrientes del sistema suelo-planta para saber con qué eficiencia se utilizan y las necesidades de reposición. Este balance de nutrientes puede realizarse de forma integral para todos los nutrientes o concentrarse en alguno en especial como nitrógeno, fósforo o potasio, así como metales pesados. Sin embargo, es necesaria la consideración conjunta de al menos tres macronutrientes mayoristas NPK para una correcta dosificación y para evitar desequilibrios que desemboquen en problemas de deficiencias o en contaminación del medio ambiente (Moreno y Moral, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y Características del Sitio Experimental

El presente trabajo fue realizado en los invernaderos del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista Saltillo Coahuila. El experimento fue realizado en un invernadero de aproximadamente de 30 metros de largo y 20 metros de ancho con una cubierta de polietileno color blanco, dicho invernadero cuenta con 2 extractores de aire, pared humedad y dos calentadores.

El material vegetal utilizado en este experimento fue planta de tomate (*Solanum Lycopersicum*) variedad Mariana de crecimiento determinado, producida en charola de unicel de 200 cavidades.

La fertilización que se dio a la plántula previamente al trasplante fue la aplicación de: 0.5 g/L de Nitrato de Calcio, 0.15 g/L de fosfato de potasio y 0.25 g/L de nitrato de potasio, realizando aplicaciones diarias. .

3.2 Preparación de suelo, sistema de riego y trasplante

El día 5 de julio del 2012 inició la preparación del suelo, removiendo el mismo y formando la cama en la cual se estableció posteriormente el experimento. El 15 de julio fue colocado el sistema de riego para cada uno de los tratamientos para el cual se utilizó manguera de 16 mm de diámetro, goteros con capacidad para emitir 4 L/hora y distribuidores de dos salidas a las cuales se les colocaron tramos de tubing con un diámetro de 3.25 mm; en el extremo de cada tubing se colocó una estaquita al lado de cada planta para obtener un riego y una fertilización uniforme.

Una vez instalado el sistema de riego se humedeció el terreno, y el día 23 de julio se realizó el trasplante de las plántulas con las mejores características y con una altura promedio de 10 a 12 cm. Después del trasplante se aplicó fungicida Tecto 60 en la base del tallo para la prevención de cualquier enfermedad que pudiera causar problemas a la planta. El día 24 se realizó un riego para evitar el estrés de la planta y nuevamente el día 25. Y posteriormente cada tercer día de acuerdo a la necesidad de la planta; Durante la primera semana únicamente se aplicó agua, a partir de la segunda semana se comenzó a aplicar la fertilización de acuerdo a lo establecido en cada uno de los tratamientos.

3.2.1 Establecimiento del Experimento y Manejo de las Plantas

Las plantas fueron establecidas en una cama de 18 metros de largo y 60 cm de ancho a una distancia de 25 cm entre planta y planta. Al inicio de la brotación se manejaron únicamente dos tallos y el resto de los brotes fueron eliminados. La poda se realizó a partir del día 16 de agosto, utilizando una navaja, desinfectada con alcohol etílico al 70% antes de realizar la poda de cada una de las plantas. Se realizaron dos podas de desbrote durante todo el ciclo del cultivo, después de cada poda se aplicó Tecto 60 alternado y Mancozeb a una dosis de 1 a 5 gramos/litro dependiendo de tamaño de la planta con el objetivo de prevenir la presencia de hongo.

El tutoreo de las plantas fue realizado el día 9 de agosto para el cual se utilizó alambre del calibre 14.5 y rafia color blanco, no se utilizaron anillos para la base del tallo y la planta fue tutorada cuando esta tenía una altura promedio de 20 cm.

3.2.2 Poda de hojas

El día 24 de agosto se realizó la poda de las primeras 5 hojas basales con el objetivo de dar una mayor aireación a la planta y prevenir la presencia de plagas y enfermedades, el material vegetal obtenido de cada una de las plantas fue recolectado para obtener el peso seco y peso fresco de las plantas de cada uno de los tratamientos.

3.2.3 Control de Plagas y Enfermedades

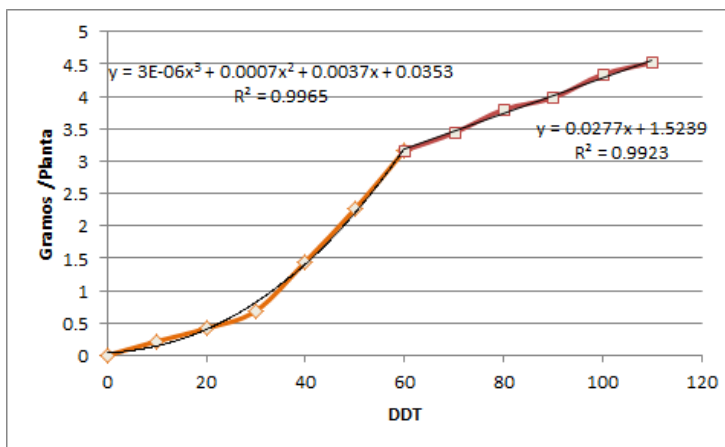
Durante el desarrollo del experimento se realizó la aplicación de fungicidas preventivos como Mancozeb, Tecto 60, y Manzate de forma alterna, aplicando desde 0.5 g hasta 1 g/litro en base al desarrollo de la planta. Las aplicaciones se realizaron cada 8 días y una vez que se presentaron los primeros síntomas de la presencia de tizón tardío se realizaron aplicaciones cada tercer día. Las aplicaciones se realizaron al follaje y a la base del tallo.

Para la prevención de plagas que pudieran afectar a las plantas de tomate se aplicó Endosulfan a una dosis de 0.3 ml/L de agua para el gusano, trips y pulgones, y de Abamectina para mosquita blanca y paratrioza a una dosis de 0.3 ml/L. Las aplicaciones se realizaron cada 8 días, pero una vez que se detectó la presencia de paratrioza se realizó la aplicación de Abamectina cada 5 días a la misma dosis. Se realizaron aplicaciones de jabón suavizante a una dosis de 5 ml/L para ayudar a controlar y reducir la presencia de paratrioza.

3.3 Descripción de los tratamientos

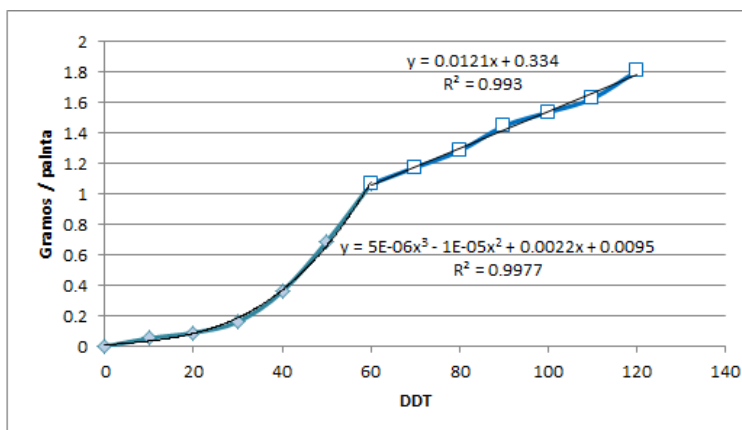
El experimento fue realizado con la finalidad de evaluar la interacción entre Ca y K utilizando un testigo y cinco diferentes tratamientos a diferentes concentraciones. La información para determinar la dosis de fertilización de cada uno de los elementos manejados en la fertilización del experimento, fueron extraídas de diversos artículos en los cuales se maneja la fertilización

de cada uno de los elementos en el cultivo de tomate en base a curvas de extracción de cada elemento (Fig. 1 a 5)



| Días Después de Trasplante | Requerimiento de Nitrógeno de acuerdo a la curva de absorción (g/ 12 Plantas) |
|----------------------------|---|
| 10 DDT | 2.32 |
| 17 DDT | 2.72 |
| 21 DDT | 2.14 |
| 25 DDT | 2.6 |
| 29 DDT | 3.07 |
| 33 DDT | 3.57 |
| 37 DDT | 4.08 |
| 41 DDT | 4.6 |
| 45 DDT | 5.15 |
| 49 DDT | 5.72 |
| 53 DDT | 6.3 |
| 57 DDT | 6.9 |
| 61 DDT | 2.2 |

Fig. 1. Curva de Absorción de Nitrógeno en Tomate.
(Dumas, 2005).



| Días Después de Trasplante | Requerimiento de Fosforo de acuerdo a la curva de absorción (g/ 12 Plantas) |
|----------------------------|---|
| 10 DDT | 0.3 |
| 17 DDT | 0.27 |
| 21 DDT | 0.24 |
| 25 DDT | 0.33 |
| 29 DDT | 0.43 |
| 33 DDT | 0.55 |
| 37 DDT | 0.69 |
| 41 DDT | 0.84 |
| 45 DDT | 1.01 |
| 49 DDT | 1.2 |
| 53 DDT | 1.4 |
| 57 DDT | 1.63 |
| 61 DDT | 0.43 |
| 65 DDT | 0.42 |
| 69 DDT | 0.42 |
| 73 DDT | 0.42 |
| 77 DDT | 0.42 |

Fig. 2. Curva de absorción de Fosforo en Tomate
(Dumas, 2005).

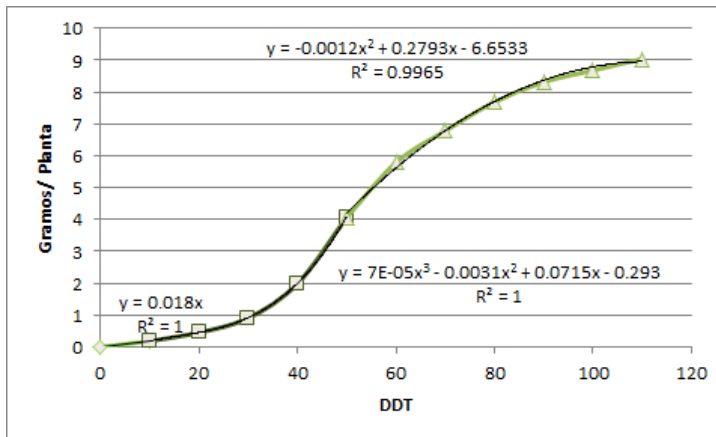


Fig. 3. Curva de Absorción de Potasio en Tomate (Dumas, 2005)

| Días Después de Trasplante | Requerimiento de Potasio de acuerdo a la curva de absorción (g/ 12 Plantas) |
|----------------------------|---|
| 10 DDT | 2.39 |
| 17 DDT | 2.52 |
| 21 DDT | 1.58 |
| 25 DDT | 2.14 |
| 29 DDT | 3.05 |
| 33 DDT | 4.32 |
| 37 DDT | 5.95 |
| 41 DDT | 7.93 |
| 45 DDT | 10.27 |
| 49 DDT | 12.97 |
| 53 DDT | 10.3 |
| 57 DDT | 7.82 |
| 61 DDT | 7.31 |
| 65 DDT | 6.8 |
| 69 DDT | 6.29 |
| 73 DDT | 5.78 |
| 77 DDT | 5.27 |

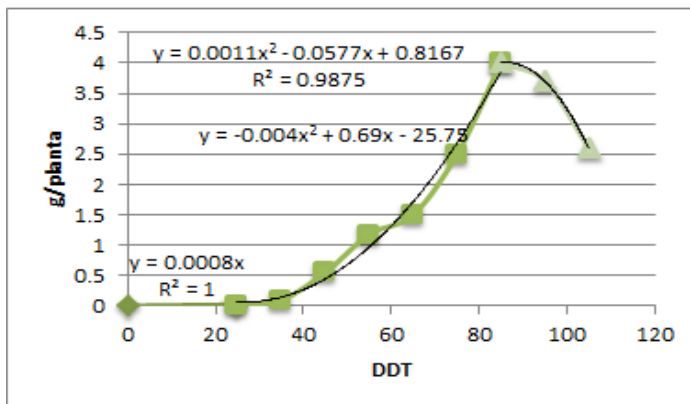


Fig. 4. Curva de absorción de Calcio en Tomate. (Lazcano, 1998).

| Días Después de Trasplante | Requerimiento de Calcio de acuerdo a la curva de absorción (g/ 12 Plantas) |
|----------------------------|--|
| 10 DDT | 0.096 |
| 17 DDT | 0.067 |
| 21 DDT | 0.038 |
| 25 DDT | 0.038 |
| 29 DDT | 0.58 |
| 33 DDT | 0.5 |
| 37 DDT | 0.92 |
| 41 DDT | 1.35 |
| 45 DDT | 1.77 |
| 49 DDT | 2.19 |
| 53 DDT | 2.61 |
| 57 DDT | 3.04 |
| 61 DDT | 3.46 |
| 65 DDT | 3.88 |
| 69 DDT | 4.3 |
| 73 DDT | 4.72 |
| 77 DDT | 5.15 |
| 81 DDT | 5.57 |
| 85 DDT | 5.99 |
| 89 DDT | 1.39 |

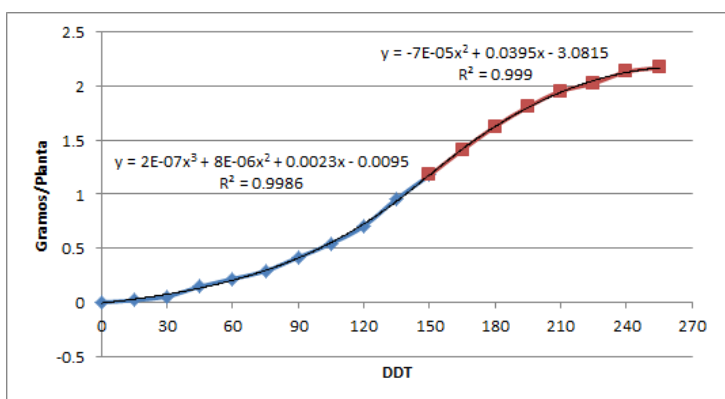


Fig. 5. Curva de absorción de Magnesio en el cultivo de Tomate. (Rincón, 2003)

| Días Después de Trasplante | Requerimiento de Potasio de acuerdo a la curva de absorción (g/ 12 Plantas) |
|----------------------------|---|
| 10 DDT | 0.28 |
| 17 DDT | 0.22 |
| 21 DDT | 0.13 |
| 25 DDT | 0.14 |
| 29 DDT | 0.15 |
| 33 DDT | 0.16 |
| 37 DDT | 0.17 |
| 41 DDT | 0.18 |
| 45 DDT | 0.19 |
| 49 DDT | 0.21 |
| 53 DDT | 0.22 |
| 57 DDT | 0.24 |
| 61 DDT | 0.26 |
| 65 DDT | 0.27 |
| 69 DDT | 0.29 |
| 73 DDT | 0.31 |
| 77 DDT | 0.33 |
| 81 DDT | 0.35 |
| 85 DDT | 0.37 |
| 89 DDT | 0.39 |
| 93 DDT | 0.41 |
| 97 DDT | 0.44 |
| 101 DDT | 0.46 |
| 105 DDT | 0.49 |

Las aplicaciones de fertilizante en el fertirriego para cada uno de los tratamientos inicio el día 1 de agosto del año 2012 y se finalizó el día 4 de noviembre del mismo año con un total de 24 aplicaciones por tratamiento.

Cuadro 1. Porcentajes de cada uno de los elementos aplicados en la fertilización, en cada uno los tratamientos evaluados:

| | Tratamiento | N | P | Mg | Ca | K |
|----------------|-------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 100% | 100% | 100% | 50% | 100% |
| Testigo | 2 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | 3 | 100% | 100% | 100% | 150% | 100% |
| | 4 | 100% | 100% | 100% | 50% | 150% |
| | 5 | 100% | 100% | 100% | 100% | 150% |
| | 6 | 100% | 100% | 100% | 150% | 150% |

La fertilización con nitrógeno, fósforo y magnesio fue el 100% para todos los tratamientos, esto en base a la literatura, igualmente el tratamiento testigo, sin embargo para el caso de calcio y potasio en el tratamiento 1 se aplicó el 50 % de Ca (10.57 g/m²) y 100% de K (78 g/m²) de fertilización en base al testigo, para el tratamiento 2 se aplicó el 100 % Ca (21.15 g/m²) y 100% de K (78 g/m²), para el tratamiento 3 fue 150 % (31.72 g/m²) y 100% de K (78 g/m²), para el tratamiento 4 fue 50 % de Ca (10.57 g/m²) y 150% de K (117 g/m²), para el 5 100% de Ca (10.57 g/m²) y 150% de K (117 g/m²) y para el tratamiento 6 fueron el 150 % (31.72 g/m² y 117 g/m²) de ambos elementos .

Los diferentes tratamientos se prepararon con sales grado fertilizante y se encuentran indicados en siguiente cuadro.

Cuadro 2. Fertilizantes utilizados en la fertilización del cultivo de tomate.

| Fertilizante | Formula | Concentración | |
|----------------------------|--------------------------------------|---------------|--------|
| Nitrato de Amonio | NH ₄ NO ₃ | 35% N | |
| Ácido Fosfórico | H ₃ PO ₄ | 33% P | |
| Nitrato de Potasio | KNO ₃ | 13% N | 46% K |
| Nitrato de Calcio | Ca(NO ₃) ₂ | 15.5% N | 19% Ca |
| Sulfato de Magnesio | MgSO ₄ .7H ₂ O | 9.1% Mg | 14% S |
| | | | |

3.4 Variables Evaluadas

Las variables que se tomaron en cuenta en este experimento fueron altura de la planta, diámetro del tallo, peso fresco y peso seco de la planta, número de frutos por tratamiento, además de presencia de pudrición apical de fruto y el peso de cada fruto con el objetivo de determinar el rendimiento en cada uno de los tratamientos.

El peso fresco y peso seco se determinaron a lo largo del ciclo del cultivo de acuerdo al número de podas que se realizaron, en tanto que el número de frutos y su peso se determinaron de acuerdo al número de cortes. La presencia de pudrición apical de fruto fue evaluada durante todo el ciclo mientras el resto de las variables se determinaron únicamente al final del ciclo.

3.4.1 Altura de la planta

La altura de la planta fue determinada una vez que el crecimiento se detuvo utilizando una regla con una escala de 0 a 100 cm.

3.4.2 Diámetro de la planta

El diámetro del tallo fue determinado al final del ciclo del cultivo el día 17 de noviembre, utilizando un vernier con escala milimétrica

3.4.3 Peso fresco de la planta

Esta variable fue determinada en cada una de las podas y al final del ciclo del cultivo cortando el tallo desde la base omitiendo el peso de la raíz y considerando únicamente la parte aérea de la planta. Para determinar el peso de la planta se utilizó una báscula de reloj de la marca Torino, modelo AP-10.

3.4.4 Peso seco de la planta

El peso seco fue determinado después de realizar las podas, en donde las hojas que fueron eliminadas de la planta, fueron etiquetadas, pesadas y colocadas en una estufa marca Lindbergh/Blue M, modelo Gravity Oven a una temperatura de 75° C durante 72 horas. Una vez secas se determinó el peso de las hojas en una báscula analítica de la marca Scout de modelo Sc6010 y se realizó el mismo procedimiento para planta completa una vez que fue cortada desde la base del tallo al término del ciclo del cultivo.

3.4.5 Número de frutos

El número de frutos fue contabilizado al momento de realizar cada uno de los cortes para finalmente obtener el rendimiento total de cada uno de los tratamientos, realizando un promedio de 10 cortes a partir del día 5 de octubre hasta el día 8 de noviembre

3.4.6 Peso de frutos

La variable peso de fruto fue determinada en una balanza analítica de marca Velad, modelo VE- 1000, en la cual se pesaron cada uno de los frutos al término de cada corte para finalmente determinar el rendimiento en cada uno de los tratamientos.

El número de cortes que se realizaron fue un promedio de 10, los cuales se realizaron únicamente a las dos plantas de la parte central de cada tratamiento debido a que los resultados obtenidos en las plantas de las orillas pudieron verse influido por los tratamientos cercanos.

El primer corte se realizó el día 5 de octubre, posteriormente se realizaron cortes aproximadamente cada tercer día realizando el último corte el día 8 de noviembre.

3.5 Diseño Experimental y Modelo Estadístico

El diseño experimental fue un diseño de bloques completos al azar en el que se utilizaron tres repeticiones con un total de seis tratamientos y cuatro unidades experimentales por cada uno, en donde se evaluaron únicamente las dos plantas ubicadas en el centro de cada tratamiento. El análisis de datos se determinó utilizando el sistema SAS 9.0 con la prueba de Tukey al 0.05 de significancia.

IV. RESULTADOS

Altura de la planta

La altura de la planta fue afectada significativamente por las dosis de calcio (Ca) y potasio (K) (Fig. 6), las plantas fertilizadas con la dosis recomendada mostraron la mayor altura de planta, sin embargo al disminuir la dosis de Ca a 10.57g/m^2 pero subiendo la de K a 117g/m^2 se obtuvieron plantas de similar altura.

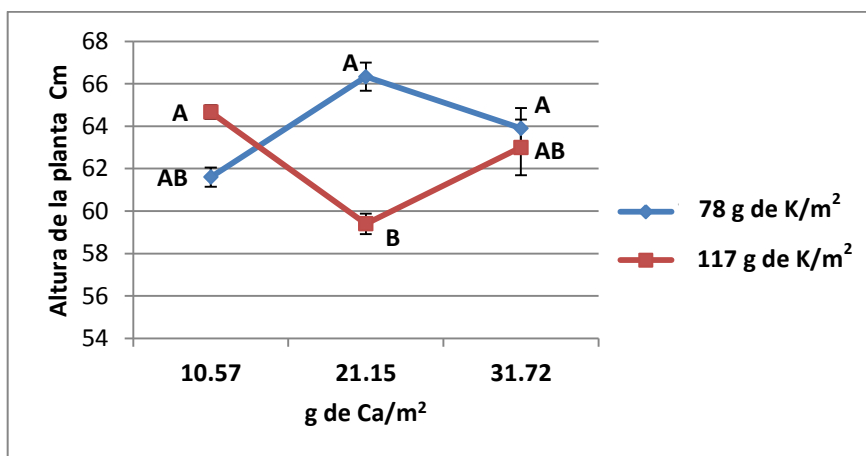


Fig. 6. Altura de la planta de tomate al finalizar el estudio de acuerdo al efecto de los niveles de Potasio (K) y Calcio (Ca) en la solución de fertirriego.

Ambos tratamientos permitieron superar significativamente la altura de la planta, en un 12 y 9% respectivamente, cuando estas se fertilizaron con el 21.15g/m^2 de Ca pero subiendo el K al 117g/m^2 .

En general con dosis de 78 g/m² de K, al subir la dosis de Ca a 21.15 y 31.72 g/m² se observa un aumento en la altura de las plantas, por el contrario, cuando la dosis de K fue del 117 g/m², al subir la dosis de Ca se observa una disminución en este parámetro de crecimiento.

Diámetro basal del tallo

El diámetro de tallo no fue afectado significativamente ya que el efecto de los tratamientos estadísticamente fue el mismo en todas las plantas (Fig. 7). Sin embargo se puede observar que la dosis del 117 g/m² de K y 10.57 g/m² de Ca incrementaron el diámetro del tallo, pero al incrementar la dosis de Ca el diámetro basal del tallo tiende a disminuir. Con la dosis de 78 g/m² de K y 10.57 g/m² de Ca el diámetro no aumenta y al incrementar la dosis de Ca el diámetro se mantiene constante.

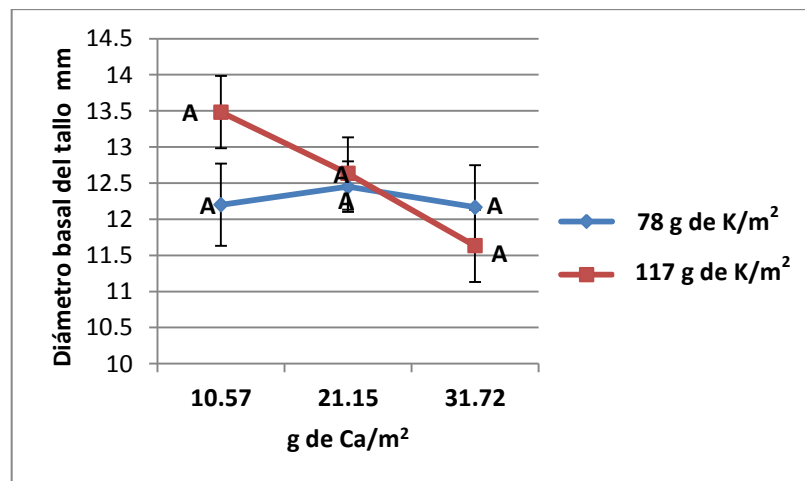


Fig. 7. Diámetro de tallo según su comportamiento a los 114 ddt al aplicar diferentes dosis de Calcio y Potasio usadas en cada tratamiento.

Peso fresco de la planta

El peso fresco de la planta fue afectado de manera significativa por las dosis de Ca y K (Fig. 3); la dosis del tratamiento testigo tuvo el mayor peso fresco por planta, mientras que al disminuir la dosis de Ca a 10.75 g/m^2 esta variable disminuye. Lo mismo ocurre al aumentar la dosis de Ca a 31.72 g/m^2 .

Estadísticamente, cuando las plantas fueron fertilizadas con la dosis recomendada de Ca y K, el peso de la planta aumentó y superó en 85 % a las plantas con la dosis de 31.72 g/m^2 de Ca y 78 g/m^2 de K cuyo efecto fue el menor de todos. (Fig.8)

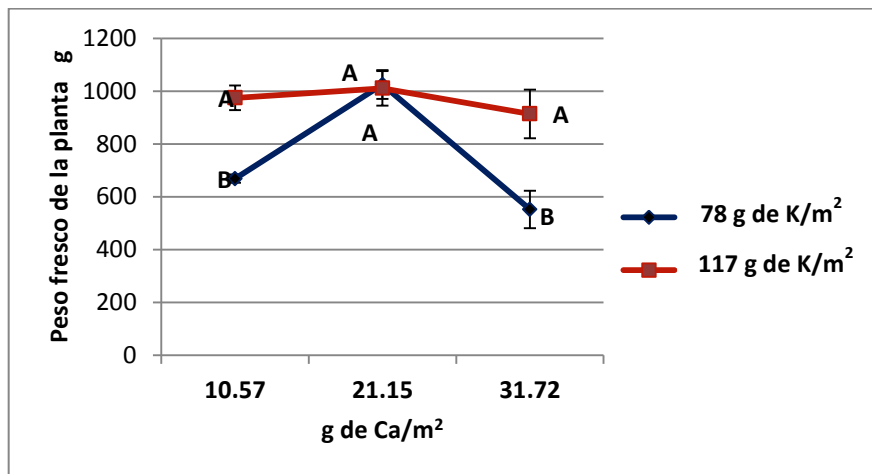


Fig. 8. Comportamiento del peso fresco de la planta de tomate, al aumentar y disminuir los niveles de Calcio y de Potasio en la solución nutritiva usada en su fertilización.

De manera general, con la dosis recomendada de 78 g/m^2 de K y al aumentar o disminuir la dosis de Ca a 10.57 g/m^2 y 31.72 g/m^2 respectivamente el peso fresco de la planta disminuye, sin embargo con la dosis de 117 g de K/m^2 y dosis de 10.57 , 21.15 y 31.72 g/m^2 de Ca respectivamente, el peso fresco de la planta se mantiene estable.

Peso seco de la planta

El peso seco de la planta fue afectado significativamente por la dosis de Ca y de K (Fig. 9). Las plantas fertilizadas con 78 g/m² de K y de 31.72 g/m² de Ca mostraron mayor peso seco, al disminuir la dosis de Ca a 21.15 g/m² y 10.57 g/m², el peso seco de la planta disminuye respectivamente.

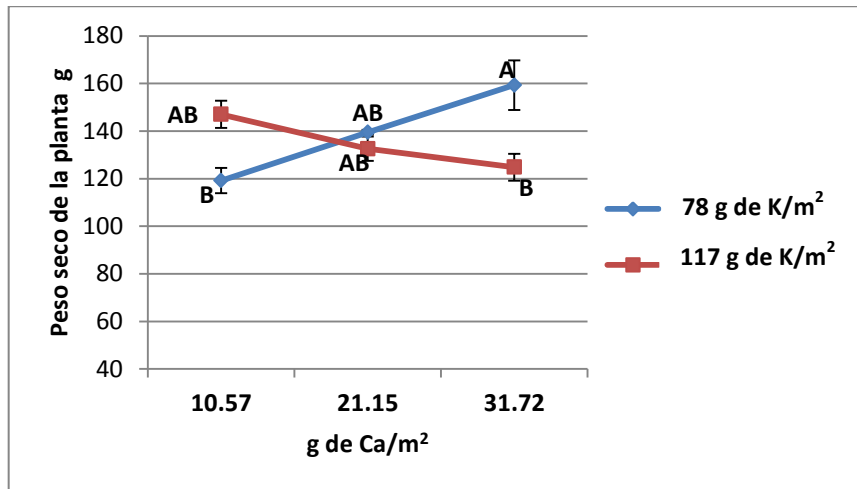


Fig. 9. Peso seco de la planta de tomate al finalizar el ciclo, de acuerdo a diferentes dosis de Calcio y Potasio aplicadas en la solución nutritiva.

El efecto causado por este tratamiento superó significativamente el peso seco en un 14 % en relación al testigo.

En general, con la dosis de 78 g/m² de K y al subir la dosis a 31.72 g/m² de Ca se observa un aumento en el peso seco de la planta. Sin embargo al disminuir la dosis de Ca el peso seco también disminuye, de la misma forma que si se aumenta la dosis de k al 117 g/m².

Rendimiento total

El rendimiento de las plantas se vio afectado significativamente por las dosis de Ca y de K (Fig. 11) las plantas fertilizadas con 117 g/m² de K y 31.72g/m² de Ca incrementaron el rendimiento total, y al disminuir la dosis de Ca a 21.15 y 10.57 g/m² el rendimiento total baja.

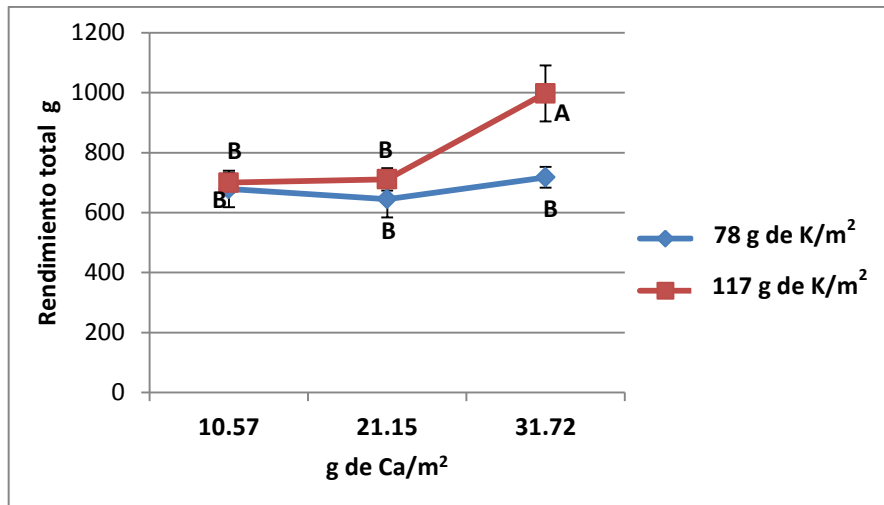


Fig. 11. Comportamiento en el rendimiento total de la planta al aumentar la concentración de Calcio y Potasio en el cultivo de tomate.

El efecto de este tratamiento superó al testigo con 54% en rendimiento, al aplicar una dosis de 117 g/m² de K pero subiendo la dosis de Ca al 31.72 g/m².

En general, con dosis 117 g/m² de K y al subir la dosis de Ca a 31.72 g/m² se observa un aumento en el rendimiento, por el contrario al disminuir la dosis de Ca el rendimiento baja, con la aplicación de 117 g/m² de K y 10.57 g/m² de Ca se obtiene un bajo rendimiento muy similar al que se obtiene al aplicar 117 g/m² de K y 21.15 g/m² de Ca, por otro lado al aplicar dosis de 78 g de k/m² y 10.57, 21.15 y 31.72 g/m² de Ca el efecto en el rendimiento es muy similar.

Índice de cosecha

El índice de cosecha estadísticamente fue afectado de manera significativa por la dosis de Ca y de K (Fig. 12). Las plantas con las dosis 117 g/m² de K y 31.72 g/m² de Ca obtuvieron un índice de cosecha mayor. Sin embargo cuando se disminuye la dosis de Ca a 21.15 g/m² y 10.57 g/m² respectivamente, el índice de cosecha tiende a reducirse.

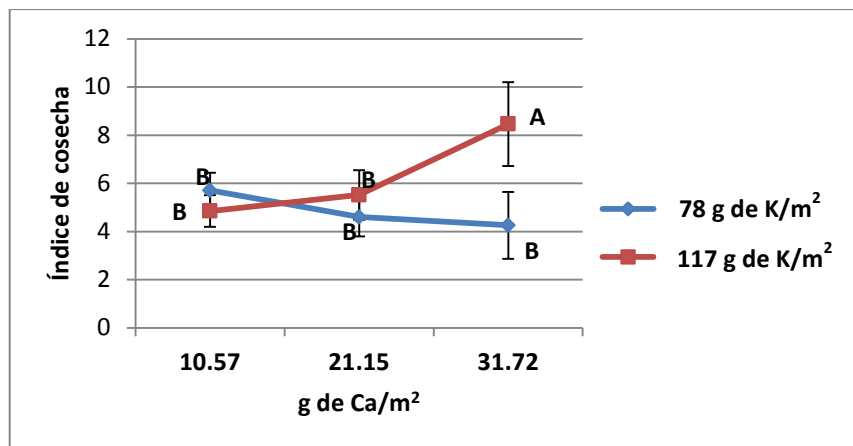


Fig.12. Índice de cosecha en el cultivo de tomate al mantener una dosis baja de Calcio y Potasio y el efecto causado cuando las dosis se incrementan.

Este tratamiento superó de forma significativa el índice de cosecha de las plantas cuando estas fueron fertilizadas con aplicaciones de 117 g/m² de K y de 31.72 g/m² de Ca.

De manera general se puede observar con una dosis de 117g/m² de K, pero al disminuir el Ca a 21.15 g/m² y 10.57 g/m² el índice de cosecha disminuye, en el caso de la dosis de 78g/m² de k se observa claramente que el índice de cosecha disminuye al aumentar la dosis a 21.15 g/m² y 31.72 g/m² de Ca.

V. DISCUSION

Altura de planta

Los resultados obtenidos difieren con los reportados por Bugarín *et al.*, (2002) ya que las concentraciones normales y altas de K (6 y 9 meq·L⁻¹) en la solución nutritiva promovieron mejor crecimiento vegetal que dosis bajas de K (3 meq·L⁻¹).

En contraste con nuestros resultados, Amador *et al.*, (2008), realizaron un experimento en lechuga, mencionando que una mayor altura correspondió a superiores niveles de Ca. Comportamiento similar se observó en la leguminosa forrajera *Cratylia argentea*, en la que la altura fue favorecida significativamente con la aplicación de 500 kg·ha⁻¹ de Ca, respecto a dosis menores (Navarro *et al.*, 2002). Sin embargo, los resultados de este autor difieren de los aquí obtenidos ya que la concentración de Ca más elevada no influye en la altura, ya que lo que causó efecto fueron las diferentes concentraciones de K.

En un experimento realizado por Amtmann y Blatt (2009) se evaluó como la relación K/Ca de la solución nutritiva afecta el crecimiento y calidad postcosecha del tulipán. El valor medio más alto para esta variable (49.9 cm) se registró en la relación K/Ca de 5.5:7.5 mol m³, mientras que la menor altura (39.2 cm) ocurrió en la relación K/Ca 8.5/7.5.

Estos resultados indican que una alta concentración de K en la solución nutritiva inhiben la absorción de Ca, nutrimento requerido para la elongación y división celular, esto podría estar causando un desequilibrio nutrimental lo que explicaría los resultados obtenidos.

Sanders *et al.*, (1999) explican que el crecimiento se da principalmente por la elongación de las células, esta elongación se presenta posiblemente, porque las auxinas liberan el Ca que está unido a las pectinas del apoplasto, de tal manera que el Ca libre activa los canales en la membrana permitiendo la entrada de solutos y el aumento en la extensión celular.

Diámetro de tallo

En un experimento realizado por Marschner (2002), menciona que es probable que los niveles altos de Ca que presenta la cachaza se acumulen en el tallo e incrementen el diámetro y resistencia del mismo, dichos resultados no coinciden con lo encontrados en este experimento ya que una dosis alta de Ca no incrementa el diámetro del tallo.

Tremblay y Senécal (1998) obtuvieron datos que difieren de los encontrados, ya que ambos realizaron un experimento en el cultivo de melón encontrando que dosis relativamente altas de K incrementan el diámetro del tallo y la altura de la planta. Preciado *et al.*, (2002) mencionan que la tendencia de las variables indica que cabe esperar valores mayores con una mayor concentración de K en la solución nutritiva, resultados que difieren con los encontrados en el presente estudio.

Peso fresco de la planta

El resultado obtenido no coincide con el reportado por Clostre y Suni (2007), quienes al evaluar el efecto del K del medio de cultivo en el rendimiento y valor nutritivo de *Lemna gibba* L. observaron que el peso fresco se incrementa entre un 20.5 y 22.7 % al elevar la concentración de K en el medio de cultivo de 3 a 9 mg·L⁻¹.

En 1994, Anzorena realizó un experimento en donde evaluó el efecto de diferentes dosis de Ca y láminas de riego en la producción de repollo. En dicho experimento las mayores dosis de agua y Ca ($160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) presentaron un mayor peso fresco. Esto, debido a que el proceso de transpiración y contenidos altos de agua en el suelo favorecen el flujo de masa y, a su vez, la movilidad de Ca. Así mismo, Sam (2000), afirma que al haber mayor cantidad de Ca, la fotosíntesis aumenta y la planta absorbe cantidades mayores de dióxido de carbono del aire, lo que genera un aumento en los componentes orgánicos básicos. Sin embargo estos resultados difieren con los obtenidos pues con dosis bajas o muy altas de Ca y dosis normales de K el peso fresco disminuye mientras tanto a dosis altas de K la concentración de Ca no influye en el peso fresco, probablemente debido a que las plantas, genéticamente, vienen programadas para absorber cantidades limitadas de Ca para evitar la formación de oxalatos cálcicos que taponen los haces vasculares (Marschner, 2002).

Peso seco de la planta

Pujos y Morard (1997) encontraron que la deficiencia permanente o temporal de K en las plantas jóvenes de tomate con hábito de crecimiento indeterminado no ocasionó una disminución significativa en el peso seco de la parte vegetativa ni de los frutos. En el presente estudio no se tuvieron condiciones de deficiencia de K, pero se observó que a dosis elevadas de este nutrimento se presenta una disminución en la biomasa al aumentar el Ca.

En experimentos realizados con diferentes niveles de Ca (100 , 300 y $500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), se encontró que el rendimiento en materia seca de *Cratylia argentea*, se vio favorecida por las dosis más altas de este elemento (Navarro et al. 2002), lo que concuerda con el mayor peso de cabeza de repollo obtenido también con la mayor dosis de Ca ($160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Los mismos resultados fueron obtenidos en este trabajo donde a dosis normales de K, una mayor concentración de Ca favoreció el incremento de peso seco en la planta.

Este fenómeno de mayor peso seco con altas dosis de Ca puede ser debido a que el Ca se acumula en la pared celular, lo que incrementa la masa seca en los tejidos (Marschner, 2002).

Rendimiento total

Con respecto a las dosis de K aplicadas se reporta que con dosis de 50, 200 y 300 kg·ha⁻¹ las plantas de tomate se comportaron de manera similar, lo cual indica que no se alteró en el número de frutos por planta relacionados con las dosis altas o bajas, como lo indican Ho y Adams (1995), Mulholland *et al.*, (2001) y Bugarín *et al.*, (2002). Esto coincide de alguna manera con lo observado en el presente estudio, ya que al elevarse las dosis de K no hubo un efecto sobre el rendimiento de fruto, a menos que también se eleve la dosis de Ca. De hecho los autores mencionados destacan que al elevarse el K se puede presentar un desbalance nutrimental con otros elementos, por lo que se recomienda hacer un uso racional de este mineral para evitar adversos efectos ambientales. El desbalance nutrimental al cual se pueden referir los autores es justamente el Ca como lo corroboran nuestros resultados.

En el caso del K no es requerido un alto nivel de abastecimiento de este nutriente para lograr altos rendimientos (Ho y Adams, 1995), aun cuando se han presentado evidencia del efecto benéfico en el rendimiento (Valencia, 2003).

Oliveira *et al.* (2006) mencionan que el exceso de ciertos iones en la solución del contenedor puede afectar la absorción y utilización de ciertos nutrientes. De acuerdo a esto, en este experimento el exceso de K podría estar causando un desbalance nutricional en donde al aplicarse mayores cantidades de K la absorción de Ca se ve reducida, sin embargo, una vez que se eleva la dosis de Ca se restituye el balance nutrimental lo que da como resultado un aumento en el rendimiento de la planta.

Cuando las dosis de K fueron altas y las de Ca fueron bajas o normales no se presentó el desbalance nutrimental. La probable explicación a que no se haya presentado el desbalance entre estos nutrientes es que el agua de riego también trae consigo nutrimentos como Ca, S, y Mg, por lo que estas cantidades deben ser consideradas al momento de calcular la dosis de fertilización, tal y como lo menciona Castellanos *et al.*, (2000).

Índice de cosecha

El alto valor de IC, obtenido con la aplicación de $3 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ de K (dosis baja) fue producto de que hubo restricción del crecimiento de dosel vegetal debida a la falta de una adecuada nutrición potásica, lo que ocasionó que el cociente (rendimiento económico/biomasa aérea total) que define IC se incrementara. Dicha restricción coincidió con la aparición de un amarillamiento en el borde de los folíolos, síntoma asociado con una deficiencia de K. Bugarín *et al.* (2002) reportan resultados que no coinciden con los obtenidos en este estudio, ya que la dosis de K fue superior a una dosis de normal.

5.1 CONCLUSIÓN

Para la variable altura de la planta, la aplicación de Ca y K en altos niveles no causa incremento en el tamaño, sin embargo al aplicar niveles más bajos de los que indica la literatura se puede obtener la misma altura, por lo que se puede disminuir la dosis de Ca y K y reducir los costos de producción.

En la variable diámetro de tallo no se encontró una diferencia significativa entre los tratamientos, por lo tanto las dosis aplicadas arrojan los mismos resultados, esto indica que se pueden manejar niveles aún más bajos de Ca y K de los que recomienda la literatura y obtener los mismos resultados.

En peso fresco de la planta no se tuvo una diferencia significativa, por tanto un aumento o reducción de Ca y K no causara un efecto en el peso fresco de la planta.

Para el variable peso seco de la planta, se observa que al aumentar la dosis de Ca y en niveles normales de K el peso seco aumenta, probablemente se debe a que se logra un mejor balance entre ambos nutrientes lo que favorece a esta variable.

En el rendimiento total el mejor tratamiento fue el número 6, en dicho tratamiento se aplicaron las dosis más altas de Ca y de K lo que arrojó como resultado un aumento en el rendimiento, por lo tanto es recomendable aplicar mayores cantidades de Ca y de K que las recomendadas en la literatura pero siempre y cuando se mantenga un balance entre ambos elementos.

El índice de cosecha tuvo un efecto similar al de la variable rendimiento total en donde el tratamiento 6 fue el mejor, pues al incrementar la dosis y mantener un balance entre Ca y K esta variable muestra mejores resultados aumentando así el índice de cosecha.

Al agrupar las variables se concluye que la mejor relación entre Ca/K fue la del tratamiento 6 con una relación 150% / 150 % (31.72 g/m² de Ca / 117 g/m² de K), ya que se logra un aumento el rendimiento e índice de cosecha de la planta, si bien no se logra reducir los costos de producción si se logra un aumento en el rendimiento.

VI. LITERATURA CITADA

Armenta-Bojórquez, A. D., G.A. Baca Castillo., G. Alcántar González., J. Kohashi Shibata., J. G. Valenzuela Ureta., A. Martínez Garza. 2001. Relaciones de nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental de tomate. *Revista Chapingo Horticultura*, vol. 7, no. 1, p. 61–75.

Alcántar González Gabriel., Libia I. Trejo Téllez. 2007. *Nutrición de Cultivos*. Editorial Mundi Prensa. Primera Edición. México. Pág. 131.

Amador, Martínez. Jorge Alberto.; Álvarez, Herrera. Javier Giovanni.; Balaguera, López. Helber Enrique. 2008. Efecto del calcio y láminas de riego en la producción y calidad del repollo (*Brassica oleracea* L.), rev. *Udcaactual*. *Divulg. Cient.* vol.11 nº.2 Bogotá July/Dec, pp. 153-162.

Asociación de agrónomos indígenas el cañar. 2004. *Proceso de fertirrigación en el cultivo de tomate en invernadero*. Editorial Abya Yala. Segunda edición. Ecuador. Pág. 63.

Amtmann A, M R Blatt. 2009. Regulation of macronutrient transport. *New Phytol.* 181:35–52.

Anzorena, J. 1994. *Sustratos. Propiedades y caracterización*. España: Mundi-Prensa. 172p.

Barrón Pérez Antonieta., Emma Lorena Sifuentes Ocegueda y José Manuel Hernández Trujillo. 2002. *Apertura Económica en las frutas y hortalizas de exportación en México. Un acercamiento al estudio de la segmentación de los*

mercados de fuerza de trabajo. Primera edición. Universidad Autónoma de Nayarit. México. Pág.-85.

Bar-Yosef, b.: "Advances in fertigation", *Adv.Agron*, 65: 1-77, 1999.

Blanco-Macías, F. Lara-Herrera, A.; Valdez-Cepeda, R. D.; Cortés-Bañuelos, J. O.; Luna-Flores, M.; Salas-Luevano, M. A. 2006. Interacciones nutrimentales y normas de la técnica de nutrimento compuesto en nopal (*Opuntia ficus-indica* L. Miller). Revista Chapingo. Serie Horticultura, julio-diciembre, año /vol. 12, número 002. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo México. Pág. 166.

Blacard Dominique., H. Laterrot., G. Marchoux., T. Candresse. 2009. Enfermedades del tomate. Editorial Quae. España. Pág. 7.

Bolaños Herrera Alfredo. 2001. Introducción a la Olericultura. Primera Edición. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José Costa rica. Pp. 70-76.

Bugarín, M., R.; Galvis, A.; Sánchez, P.; García, D. 2002. Demanda del potasio del tomate tipo saladette. *Terra* 20(4): 391-399.

Castellanos. J.Z., J.X. Uvalle Bueno., A. Aguilar Santelises. 2000. Manual Segunda Edición. Colección INCAPA. México. Pp.- 72-166.

Clostre Gabriel y Mery Suni. 2007. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio del medio de cultivo en el rendimiento y valor nutritivo de *Lemna gibba* L. (Lemnaceae) *Rev. Perú biol.* v.13 n.3 Lima jul. Lima Perú. Pp.- 233.

Duarte. Díaz. Carmen. E, Carmen. Rodríguez., Gladys Sotomayor., 2003. Efecto de dos tipos de fertilizantes líquidos en la fertirrigación del tomate. *Revistas Ciencias Técnicas Agropecuarias*, año/vol. 12 número 003. Universidad Agraria de la Habana Cuba. La Habana Cuba. Pág. 6.

Duarte Díaz, Carmen; Ajete Gil, Miriel; González Robaina, Felicita; Bonet Pérez, Camilo; Sierra Castellanos, Luís O. Dosificación de fertilizante para el fertirriego del tomate protegido en Ciego de Ávila Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 19, núm. 3, 2010, pp. 12-16 Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez La Habana, Cuba. Pp. 13- 14.

Dumas. Y. 2005. INRA. Centre de Recherches d'Avignon, France. www. Avignon.Inra.fr.

Etchevers Barra, Jorge D. (1999). Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. Terra Latinoamericana, julio-septiembre, año/vol. 17, número 003. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo México. Pág. 217.

Fageria, V.D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. Journal of Plant Nutrition, 24(8):1269-1290.

FAO. 2002. Los fertilizantes y su uso. Cuarta Edición. Roma. Pp.- 6-49.

Flórez Serrano Javier. 2009. Agricultura Ecológica. Editorial Mundi prensa, España. Pp.- 64.

Fraume R, Néstor Julio., 2006. Abecedario Ecológico la más completa guía de términos ambientales. Editorial San Pablo. Colombia. Pág.- 144.

Fontanetto H., Bianchini A. 2010. Análisis de suelos, La base para fertilizar adecuadamente los cultivos forrajeros. Producir XXI, Bs. As., 19(230):64-67. Pág.2.

FAO. 1992. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades a fines. Santiago de Chile. Pág. 266.

Geraut. F., D. Chirinos., M. Marín., D. Chirinos. 1995. Rev. Fac. Agron. (LUZ): 12; 15 – 23. Maracaibo Venezuela.

Galvis, S. A., J. Etchevers y J. Rodríguez: A system approach for determining NP fertiltzer recommendations for annual crops, II Nutrient demand. In: 15 th World Congress of Soil Science, 1994.

http://www.csr.servicios.es/notas_informativas/descargas/los_analisis_foliares.pdf. 02. Consultado 02-01-2013. 12:57 p.m.

HO, L. C.; Adams, P. 1995. Nutrient uptake and distribution in relation to crop quality. Acta hort. 396: 33-43.

INIAP. 1993. Manual del cultivo de café. Estación experimental tropical pichillngue. Ecuador. Pág 38.

IICA. 2004. Cultivo y comercialización del tomate de mesa en túneles. Editorial EDITARTE. Primera Edición. Managua. Pág. 13.

Kass, Donald C. L. 1998. Fertilidad de suelos. Editorial EUNED. Primera Edición. San José Costa Rica. Pág.18.

Lazcano Ferrat Ignacio. 1998. Informaciones agronómicas. Instituto de la potasa y el fosforo Potash and phosphate institute. Edición para México y Centro América. Vol.3 núm.3, México. Pág. 12.

Lazcano-Ferrat, I. 2006. El potasio y el concepto de la fertilización balanceada. Extracto de la ponencia presentada en la conferencia regional para México y el Caribe de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. Inpofos-PPI, México. 5 p.

Lemaire. F., André. D., Louis-Maire. R., Sylvain. C., Philippe. M., 2005. Cultivos en macetas y contenedores, Editorial Mundi Prensa. 2^{da} Edición. España. Pág.25.

León. Héctor M. Gallegos., y Mario Arosemena Dutari. 1980. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola, Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Culiacán Sinaloa, México. Pág.-11.

Loomis, R.S. & D.J. Connor. 1992. Crop Ecology: Productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Maldonado T.R. 2002. Diagnostico nutrimental para la producción de aguacate has. Informe de investigación. UACH. Texcoco, México. Pág 167.

Moreno Reséndez A, 2007. Elementos Nutritivos. Asimilación, funciones, toxicidad e indispensabilidad en los suelos. Primera Edición. Libros en Red. Pp.-8.

Moreno Casco Joaquín., Raúl Moral Herrero. 2007. Compostaje. Editorial Mundi prensa. Madrid España. Pág.- 362

Mallarino Antonio P. 2005. Manejo de la Fertilización con Fósforo y Potasio para Maíz y Soja en el Centro-Oeste de los Estados Unidos. Department of Agronomy, Iowa State University Ames, IA 50011, EE.UU. Pág. 4.

Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. 2009. Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. España. Pp.- 27-37

Mullholland, B. J.; Fussell, M.; Edmondson, R. N.; Bashan, J.; McKee, J. M. T. 2001. Effect of vpd, K nutrition and root-zone temperature on leaf area development accumulation of Ca and K yield on tomato. J. of Horticultural Science & Biotechnology 76(5): 641-647.

Marschner, H. 2002. Mineral Nutrition of higher plants. 2da Ed. Academic Press. London. Pp. - 89.

Navarro. Blaya Simón., Navarro García Ginés 2003. Química Agrícola, 2^{da} edición, Editorial Mundi Prensa, España. Pp.- 161-167.

Nuez Viñals Fernando.1995. El cultivo del tomate. Primera Edición. Editorial Mundi-prensa. España. Pág 52.

Navarro, L.; Rodríguez, T.; Rodríguez, I. 2002. Influencia del calcio, nitrógeno y del magnesio, sobre la producción de (*Cratylia argentea*) en las sabanas bien drenadas de los llanos orientales de Venezuela. Rev. Científica. Suplemento. 12:534-538.

Oliveira .Prendes. J.A., E. Afif. Khouri., M. Mayor. López. 2006. Análisis del Suelo y Plantas y Recomendaciones de Abonado. Universidad de Oviedo. España. Pp. 12-38.

Ospina Patiño Bernardo y Ceballos Hernán., 2002. La yuca en el tercer milenio, sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización.

Parra. M. A., R. Fernández- Escobar., C. Navarro., O. Arquero. 2002. Los Suelo y la Fertilización del Olivar Cultivado en Zonas Calcáreas. Editorial Mundi Prensa, Madrid España. Pp. 48-49.

Parra, Terraza Saúl.; Manuel Villareal, Romero.; Pedro, Sánchez Peña.; José Luis, Corrales Madrid.; Sergio, Hernández Verdugo. 2008. Efecto de calcio y potencial osmótico de la solución nutritiva en la pudrición apical, composición mineral y rendimiento de tomate. Interciencia, vol. 33, núm. 6, julio, 2008. Pp. 449-456, Asociación Interciencia Venezuela.

Preciado Rangel. P., Gustavo A. Baca Castillo., J. Luis Tirado Torres., Josué Kohashi-Shibata., Leonardo Tijerina Chávez y Ángel Martínez Garza. 2002. Nitrógeno y Potasio en la producción de plántulas de melón. Terra 20: 267-276. Montecillo, México. Pág. 268- 271.

Pujos, A. y P. Morard. 1997. Effects of potassium deficiency on tomato growth and mineral nutrition at the early production stage. Plant soil 189: 189-196.

Robles. Sánchez Raúl. 1991. Producción de oleaginosas y textiles. Editorial Limusa. Tercera Edición. México. Pág. 152.

Rodríguez Dimas Norma., P. Cano Ríos., U. Figueroa Miramontes., E. Fabela Chávez., A. Moreno Reséndez., C. Márquez Hernández., E. Ochoa Martínez., P. Preciado Rangel. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. Terra Latinoamericana, vol. 27, núm. 4, Octubre-diciembre, pp. 319-327.

Rodríguez. Rodríguez. R., Tabares. Rodríguez. J. M., Medina. San Juna. J.A. 2001. El cultivo moderno del tomate. Editorial Mundi-Prensa. Segunda Edición. España. Pág. 13.

Rincón Sánchez Luis. 2003. La fertirrigación del tomate y del pimiento grueso. Vida rural, ISSN 1133-8938, N° 164, 2003 , Pág. 38.

Santiago J., M. Mendoza., F. Borrego. 1998. Evaluación de Tomate (*Lycopersicum esculentum*, MILL) En Invernadero: Criterios Fenológicos y Fisiológicos. Agronomía Mesoamericana 9(1): 59-65.

Soil Improvement Committee California Fertilizer Association. 2004. Manual de Fertilizante para Horticultura. Primera Edición. Editorial Limusa S.A. de C.V. México. Pp.- 37.

Sancho V. Hernán, 2001. Curvas de Absorción de Nutrientes: Importancia y uso en los programas de fertilización. INFORMACIONES AGRANOMICAS No 36. Costa Rica. Apartado 5350-1000. San José, Costa Rica. Pág. 13.

Sarro, M.J.; Canahía, C.; Carpena, O. (1985). Balance iónico en savia como índice de nutrición del tomate. Nueva metodología aplicable in suto. Anal. Edaf. Y Agrobiología. Pág. 175.

Salas. Rafael. E. 2002. Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Universidad de Costa Rica, Centro de investigaciones Agronómicas, Laboratorio de suelos y foliares, Costa Rica, Pág.15.

Sanders, D.; Brownlee, C.; Harper J. 1999. Communicating with calcium. Plant Cell. 11:691-706.

Sam, E. 2000. El uso del calcio soluble para estimular el crecimiento vegetal. Comunicaciones Agrícolas. El Sistema Universitario Texas A&M. 4p.

Soler Aznar J., Soler Fayos Guillermo. 2006. Cítricos. Variedades y técnicas de cultivo. Editorial mundi-prensa. Madrid España. Pág. 21.

Thompson L. M., Troeh. F. R. 1982. Los suelos y su fertilidad. Editorial Reverte. Cuarta Edición. New York USA. Pág 396.

Taiz Lincoln y Zeiger Eduardo, 2006. Fisiología Vegetal. Editorial Universitat Jaume I. Tercera Edición. Valencia España. Pp.- 128-130.

Tisdale, S.W. t W. Nelson. 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Editorial Uteha. México, D.F. Pp. 138 – 165.

Tremblay, N. y M. Senecal. 1998. Nitrogen and potassium in nutrient solution influence seedling growth of four vegetable species. HortScience 23: 1018-1088.

Urbano. Terrón P., 1992. Tratado de Fitotecnia General. Editorial GRAFO, S.A. 2^{da} edición. España Pág. 446.

Usón Murillo A., Jaume Boxiadera Llobet., Ángela Bosch Serra., Alberto Enrique Martín. 2010. Tecnología de Suelos: estudio de casos. 1ra edición. Ediciones de la Universidad de Lleida. España. Pp.- 110-118.

Vallejo. Cabrera. F.A., E. I. Estrada. Sánchez. 2004. Producción de Hortalizas de Clima Cálido. Universidad Nacional de Colombia, Colombia, Pp.27- 52.

Volke Haller Víctor., Jorge D Etchevers B., Adán San Juan Ramírez., Tomas Silva Palomino. 1998. Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización para cultivos. Terra Latinoamericana, enero-marzo, año/vol. 16, número 001. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo México, Pág. 79.

Valencia, J. 2003. Effect of fertilizers on fruit quality of processing tomatoes. Acta Hort. 613: 89-93.

Wild, A. 1989. Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas Según
Russell. Editorial Mundi Prensa. Madrid España. Pp.- 73-83.