



COLEGIO DE POSGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO
POSGRADO EN EDAFOLOGÍA**

**EVALUACIÓN DE TRES ESTRATEGIAS DE MANEJO DE LA SOLUCIÓN
NUTRITIVA EN EL CULTIVO DE TOMATE BAJO CONDICIONES DE
INVERNADERO EN SUELO**

JUAN LUIS MERA HERNÁNDEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2015

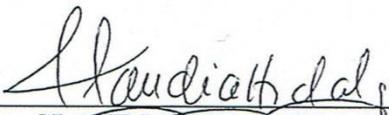
La presente tesis titulada: **EVALUACIÓN DE TRES ESTRATEGIAS DE MANEJO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN EL CULTIVO DE TOMATE BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN SUELO** realizada por el alumno: **JUAN LUIS MERA HERNÁNDEZ** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DRA. CLAUDIA HIDALGO MORENO

ASESOR



DR. JORGE D. ETCHEVERS BARRA

ASESOR

DR. JAVIER Z. CASTELLANOS RAMOS

ASESOR



M.C. SALVADOR VILLALOBOS REYES

Montecillo, Texcoco, Estado de México, abril 2015

EVALUACIÓN DE TRES ESTRATEGIAS DE MANEJO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN EL CULTIVO DE TOMATE BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN SUELO

JUAN LUIS MERA HERNÁNDEZ, M.C.
COLEGIO DE POSTGRADUADOS, 2015

RESUMEN

La producción de hortalizas bajo ambientes protegidos en México representa una de las actividades agrícolas de mayor importancia en la actualidad. Permite la producción de alimentos de consumo nacional y de exportación. El tomate (*Solanum esculentum* L.) es uno de los principales cultivos producidos bajo este sistema. El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta del cultivo de tomate a tres estrategias de manejo de la solución nutritiva, basadas en tres enfoques de fertilización sobre parámetros de rendimiento, calidad postcosecha del fruto y parámetros de fertilidad de suelo. El experimento se realizó durante el ciclo 2012-2013 y 2013-2014 en las instalaciones del Departamento de Horticultura Protegida del Centro de Investigación Regional Centro (CIRCE) del INIFAP. Los tratamientos consistieron en la combinación de tres soluciones nutritivas: una solución nutritiva completa, solución nutritiva modificada en función del requerimiento del cultivo por etapa y solución nutritiva complementaria a residuos orgánicos incorporados previamente, con cuatro variedades de tomate (dos tipo bola y dos tipo saladette). Durante el desarrollo del cultivo se evaluaron características de la planta, calidad de fruto y suelo. Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los resultados se analizaron con el programa estadístico SAS.

Los resultados obtenidos indican que la aplicación de diferentes estrategias de manejo no generó diferencias significativas en el rendimiento, no así en la acumulación de nutrientes en el suelo. Se demuestra que en el manejo en suelo la planta absorbe lo necesario para cubrir su requerimiento interno y el resto se almacena en él, incrementándose las concentraciones de nutrimentos y la CE. La optimización de la nutrición de los cultivos es vital para lograr rendimientos y calidad de los productos hortícolas. Por lo anterior se concluye que al realizar un manejo de la nutrición con base en el monitoreo nutrimental de extracto de pasta de saturación y el extracto celular de pecíolo es posible reducir la cantidad de fertilizantes aplicados, los costos de producción y la contaminación por la sobre fertilización del suelo y ecosistema.

La aplicación de diferentes estrategias de manejo de la fertilización, prácticamente no tuvo efectos sobre la mayoría de los parámetros de calidad del fruto y donde se presentó un efecto significativo, estos valores se mantuvieron dentro las características adecuadas de calidad del fruto y demanda en el mercado. Esto es de gran relevancia, pues significó una reducción muy importante en el uso de fertilizantes. Este trabajo abre posibilidades para reducir el suministro de fertilizantes sin deterioro de la calidad del fruto en relación a sus variables más significativas como: firmeza, grados °Brix, acidez titulable y relación entre acidez titulable y sólidos totales. La reducción de las dosis de fertilizante sin deterioro del rendimiento ni de la calidad del fruto, significa también la posibilidad de reducir riesgos de contaminación de los mantos acuíferos. Por otro lado, es posible combinar los beneficios de la aplicación de enmiendas orgánicas y complementar los requerimientos con fertilizantes químicos obteniendo resultados similares en rendimiento y calidad de fruto

Palabras clave: *Solanum esculentum* L., solución nutritiva, calidad de fruto, invernadero, suelo.

THE EVALUATION OF THREE SOIL NUTRITION SOLUTION MANAGEMENT STRATEGIES UNDER GREEN HOUSE CONDITIONS

JUAN LUIS MERA HERNÁNDEZ, M.C.

COLEGIO DE POSTGRADUADOS, 2015

SUMMARY

Vegetable production, under protected environments, is today one of the most important agricultural activities in Mexico. It allows the production of foods for national consumption and export. Tomato (*Solanum esculentum* L.) is one of the primary crops produced under such systems. The objective of this investigation is to evaluate tomato crop response to three different nutrient solution management strategies, based on three different approaches of fertilization aimed at yield parameters, fruit postharvest quality, and soil fertility parameters. The experiment was conducted during the 2012-2013 and 2013-2015 cycles at the installations of the Department of Protected Horticulture of the Central Region Investigation Center (CIRCE, acronym according to the Spanish spelling) of INIFAP. The treatments consisted in the combination of three nutrient solutions: a complete nutrient solution, an adjusted solution according to the requirements of the stage of the crop and a complementary solution for organic residues previously incorporated, with four varieties of tomato (two round-type and two saladette types). During the development of the crop, plant characteristics, fruit and soil quality were evaluated. A randomized block design with four replications was used. The results were analyzed by the statistical application SAS.

The results indicate that the application of different management strategies generate no significant differences in yield, unlike the accumulation of nutrients in the soil. During soil management, it is demonstrated that the plant absorbs only the necessary nutrients to satisfy its internal requirements and the rest are stored in the soil, increasing nutrient concentrations and electric conductivity. The optimization of crop nutrition is vital to obtain high yields and quality of horticulture products. Therefore, it is concluded that conducting a nutritional management based on the nutrimental monitoring of paste saturation extract and petiole cell extract, it is possible to reduce the quantity of applied fertilizers, reducing production costs and contamination caused by over fertilization of the soil and ecosystem.

The deployment of different fertilization management strategies had no significant effect over most fruit quality parameters, and where a significant effect was produced, these values were within the appropriate characteristics of fruit quality and correspond to market demands. This is of great significance, as it resulted in an important reduction of fertilizer use. This experiment opens the door to new possibilities to reduce fertilization supply without deteriorating the quality of the fruit in relation to its most significant variables, such as: firmness, brix degrees, titratable acidity and the relationship between titratable acidity and total solids. The reduction of fertilization dosage without yield or fruit quality deterioration also results in reduced aquifer contamination risks. On the other hand, it is possible to combine the benefits of organic amendment application and complement the requirements with chemical fertilizers obtaining similar results in yield and fruit quality.

Keywords: *Solanum esculentum* L., nutrient solution, fruit quality, greenhouse, soil

ÍNDICE DE CUADROS

Capítulo 1	
Cuadro 1.1.	Requerimientos nutricionales totales para tomate en invernadero..... 4
Cuadro 1.2.	Consumo neto y aportaciones de nutrimentos para un rendimiento de tomate de invernadero de 34.1 kg m ⁻² en suelo y 31.1 kg m ⁻² en sustrato durante un ciclo de 255 días en dos sistemas de producción (Ojodeagua <i>et al.</i> , 2008)..... 5
Cuadro 1.3.	Composición química de la solución universal de Steiner 8
Capítulo 2	
Cuadro 2.1.	Temperaturas máximas, medias y mínimas del periodo diurno (8:00 am-8:00 pm) y nocturno (8:01 pm-7:59 am) a lo largo del ciclo..... 23
Cuadro 2.2.	Humedad relativa máximas, medias y mínimas del periodo diurno (8:00 am-8:00 pm) y nocturno (8:01 pm-7:59 am) a lo largo del ciclo..... 24
Cuadro 2.3.	Déficit de presión de vapor máximo, medio y mínimo del periodo diurno (8:00 am-8:00 pm) y nocturno (8:01 pm-7:59 am) a lo largo del ciclo..... 26
Cuadro 2.4.	Análisis químico del agua de riego..... 26
Capítulo 3	
Cuadro 3.1.	Soluciones nutritivas empleadas en los dos ciclos de producción. Celaya Gto. 2012-2013 y 2013-2014..... 38
Cuadro 3.2.	Características y aportes por nutriente en soluciones nutritivas empleadas en los dos ciclos de producción..... 38
Cuadro 3.3.	Tratamientos evaluados por ciclo..... 39
Cuadro 3.4.	Características químicas y físicas del suelo en los dos ciclos de producción..... 40
Cuadro 3.5.	Composición química de los residuos empleados y aporte nutrimental al suelo durante el proceso de biofumigación..... 41
Cuadro 3.6.	Rendimientos de fruto de tomate por tratamiento. Celaya Gto. 2012-2013..... 43
Cuadro 3.7.	Rendimientos de fruto de tomate por tratamiento. Celaya Gto. 2013-2014..... 44
Cuadro 3.8.	Porcentaje de frutos de tomate por categoría. Celaya Gto. 2012-2013..... 46
Cuadro 3.9.	Porcentaje de frutos de tomate por categoría. Celaya Gto. 2013-2014..... 47
Cuadro 3.10.	Firmeza del fruto de tomate (N.mm ⁻¹) a 0, 7 y 14 días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Celaya Gto. 2012-2013..... 48
Cuadro 3.11.	Firmeza del fruto de tomate, (N.mm-1) a 0, 7 y 14 días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Celaya Gto. 2013-2014..... 49
Cuadro 3.12.	pH del fruto de tomate, a 0, 7 y 14 días después de cosecha en tres tratamientos de fertilización y cuatro variedades. Celaya Gto. 2012-2013..... 50
Cuadro 3.13.	pH del fruto de tomate a 0, 7 y 14 días después de cosecha en tres tratamientos de fertilización y cuatro variedades. Celaya Gto. 2013-2014..... 51
Cuadro 3.14.	Sólidos solubles totales en frutos de tomate a 0, 7 y 14 días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Celaya Gto. 2012-2013..... 53
Cuadro 3.15.	Sólidos solubles totales en frutos de tomate a 0, 7 y 14 días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Celaya Gto. 2013-2014..... 54
Cuadro 3.16.	Acidez titulable en frutos de tomate a los 0, 7 y días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Celaya Gto. 2012-2013..... 55
Cuadro 3.17.	Acidez titulable en frutos de tomate a los 0, 7 y días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Celaya Gto. 2013-2014..... 56
Cuadro 3.18.	Índice de sabor de frutos de tomate a los 0, 7 y 14 días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Celaya Gto. 2012-2013..... 57
Cuadro 3.19.	Índice de sabor de frutos de tomate a los 0, 7 y 14 días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Celaya Gto. 2013-2014..... 58
Capítulo 4	
Cuadro 4.1.	Soluciones nutritivas empleadas durante los dos ciclos de producción, 2012-2013 y 2013-2014..... 70
Cuadro 4.2.	Aportes por nutriente en soluciones nutritivas empleadas durante los dos ciclos de producción, 2012-2013 y 2013-2014..... 71
Cuadro 4.3.	Características químicas y físicas de suelo de los dos ciclos de producción..... 72

Cuadro 4.4.	Composición química de los residuos empleados y aporte nutrimental al suelo durante el proceso de biofumigación.....	73
Cuadro 4.5.	Concentración nutrimental por tratamiento los 50 DDT. Celaya Gto. 2012-2013.....	81
Cuadro 4.6.	Concentración nutrimental por tratamiento a los 100 DDT. Celaya Gto. 2012-2013.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura. 1.1.	Crecimiento anual de la horticultura protegida en México. Datos basados en (Castellanos- Borbón, 2009) (SIAP, 2013).....	4
--------------	--	---

Capítulo 2

Figura. 2.1.	Instalaciones del CIRCE-INIFAP. Celaya, Guanajuato.....	21
Figura. 2.2.	Detalle del sistema de riego empleado para cada tratamiento.....	22
Figura. 2.3.	Comportamiento de la temperatura a lo largo del día.....	23
Figura. 2.4.	Comportamiento de la humedad relativa a lo largo del día.....	24
Figura. 2.5.	Comportamiento del déficit de presión de vapor a lo largo del día.....	25

Capítulo 4

Figura. 4.1.	Concentración de N-NO ₃ ⁻ en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2012-2013.....	74
Figura. 4.2.	Concentración de N-NO ₃ ⁻ en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2013-2014.....	74
Figura. 4.3.	Concentración de fosfatos en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2012-2013.....	76
Figura. 4.4.	Concentración de fosfatos en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2013-2014.....	77
Figura. 4.5.	Concentración potasio en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2012-2013.....	78
Figura. 4.6.	Concentración de potasio en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2013-2014.....	78
Figura. 4.7.	Comportamiento del pH en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2012-2013.....	79
Figura. 4.8.	Comportamiento del pH en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2013-2014.....	79
Figura. 4.9.	Comportamiento de la CE en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2012-2013.....	80
Figura. 4.10.	Comportamiento de la CE en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2013-2014.....	80

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a DIOS, por haberme permitido pertenecer a una familia, por brindarme salud y ayudarme a culminar una meta más en mi vida.
- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Por el financiamiento otorgado para realizar mis estudios de Maestría.
- AL colegio de Postgraduados, por darme la oportunidad de pertenecerá dicha institución, pero sobre todo al personal académico del postgrado de edafología, por su valiosa aportación en la formación académica y profesional durante mi estancia.
- Al Dr. Jorge D. Etchevers Barra por su valiosa dirección en este trabajo, por brindarme sus conocimientos, tiempo, apoyo y amistad, además por su ejemplar desempeño como profesional de las ciencias agrícolas.
- Al Dr. Javier Z. Castellanos por el apoyo incondicional brindado a lo largo de mi desarrollo profesional, así como su amistad.
- A la Dra. Claudia Hidalgo Moreno por la dedicación y espacio otorgado para la revisión de este trabajo, así como sus valiosas sugerencias y observaciones.
- Al M. C. Salvador Villalobos por su apoyo en el desarrollo de este trabajo, así mismo por todos sus conocimientos trasmitidos
- Al INIFAP campus bajo por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo de investigación.
- A Fundación produce Guanajuato por el apoyo brindado, para la realización de este trabajo

DEDICATORIAS

- A mi madre por darme la vida, mostrarme su cariño y amor e inculcarme los valores morales y la confianza en mí mismo para alcanzar las metas propuestas valorando su esfuerzo y sacrificio.
- A mi esposa por haberme apoyado en todo momento, por su confianza, paciencia y por la motivación constante que me ha permitido consolidar esta etapa de mi vida.
- A mis hijas Danna Paola y Sofía Yamileth, por ser el motor que impulsa a seguir adelante, por ser los ángeles más hermosos que tengo en la vida.
- A mis abuelos por el apoyo incondicional y la confianza absoluta, por todos sus consejos para afrontar todos los retos de la vida.
- A mis hermanos por su compañía mostrándome la felicidad que encierra el vivir cada día.
- A serafín Mera por su apoyo incondicional en mi formación académica así, como en desarrollo como profesionista y como persona.
- A mis amigos, profesores y colegas por su amistad y respecto, al compartir sus conocimientos y experiencias que enriquecen día con día el manejo de la agricultura.

CONTENIDO

RESUMEN.....	i
SUMMARY.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIAS.....	vii
CONTENIDO.....	viii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
OBJETIVOS.....	2
HIPÓTESIS GENERAL.....	2
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
BIBLIOGRAFÍA.....	13
CAPÍTULO 2 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	21
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL INVERNADERO.....	21
DATOS CLIMATOLÓGICOS.....	22
DESCRIPCIÓN DE LAS PRÁCTICAS CULTURALES.....	27
VARIABLES EVALUADAS.....	30
BIBLIOGRAFÍA.....	32
CAPÍTULO 3 ESTRATEGIAS DE MANEJO NUTRICIONAL DEL TOMATE: RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FRUTO.....	34
RESUMEN.....	34
SUMARY.....	35
INTRODUCCIÓN.....	35
MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
CONCLUSIÓN.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	59
CAPITULO 4 ESTRATEGIAS DE MANEJO NUTRICIONAL DEL TOMATE EN INVERNADERO: EFECTO SOBRE LA CALIDAD QUÍMICA DEL SUELO.....	66
RESUMEN.....	66
SUMARY.....	67
INTRODUCCIÓN.....	68
MATERIALES Y MÉTODOS.....	69
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	74
CONCLUSIÓN.....	82
BIBLIOGRAFÍA.....	83
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES.....	86

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

El tomate (*Solanum esculentum* L.) es uno de los principales cultivos hortícolas en México y de gran consumo por parte de la población, siendo el más cultivado en sistemas hidropónicos e invernadero. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), indica que a nivel mundial los principales países productores de tomate son: China, Estados Unidos, Turquía e India. México por el volumen de producción (2 936 733 Mg) se ubicó en el décimo lugar en 2008 (FAOSTAT, 2010; datos actualizados al 2 de septiembre del 2010). La mayor parte de la tecnología comercial sobre la nutrición del tomate en invernadero se ha importado de España y Holanda. México es un país con gran diversidad de condiciones agro climatológicas, sociales y económicas, factores que hacen difícil encontrar un sistema único de producción. Esto hace necesario implementar tecnologías de vanguardia que permitan elevar el rendimiento y la calidad del producto, proteger al ambiente disminuyendo el uso de agroquímicos, hacer un manejo eficiente de fertilizantes, optimización de los recursos naturales (agua), combinar la fertilización orgánica y mineral (Rinaldi *et al.*, 2007). Se estima que 80 % de la producción hortícola bajo cubiertas plásticas se lleva a cabo directamente en suelo (Castellanos, 2004). En esta condición los productores de tomate de invernadero en México aplican mayor cantidad de nutrientes que la que el cultivo puede consumir desperdiciándose una gran cantidad de éstos (Villareal *et al.*, 2002, Arellano y Gutiérrez, 2006; Ojodeagua *et al.*, 2008; Castellanos y Ojodeagua, 2009; Alconada *et al.*, 2011). Leyva *et al.* (2005) cita en su revisión que en el Valle de Culiacán en el noroeste de México se aplica hasta el doble de la dosis recomendada de N (280 kg de N ha⁻¹) para incrementar el rendimiento por unidad de superficie, lo que eleva los costos de producción y contamina con nitratos a los mantos acuíferos (Castellanos y Peña-Cabriales. 1990). Varios estudios realizados en las áreas costeras del Golfo de California (GC) han cuantificado la cantidad de N y P que se exportan desde las partes altas de las cuencas de los ríos de Sonora y Sinaloa.

Con estos antecedentes en este trabajo se propone evaluar el efecto de tres estrategias de manejo nutricional del tomate bola y saladette cultivados directamente en suelo, en invernadero. Se emplearon tres soluciones nutritivas: 1) solución nutritiva Steiner completa (SNSC), 2) manejo racional de la nutrición (SNR), y 3) Biofumigación + manejo racional de la nutrición (SNCB). En

un primer artículo se midió el efecto de estas estrategias sobre el rendimiento y calidad del fruto (Calibre, firmeza, pH, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) e índice de sabor (SST/AT)). En un segundo artículo se evaluó el efecto de estas tres estrategias de manejo nutricional sobre [N-NO₃⁻, H₂PO₄⁻, K⁺, el pH y CE] de la solución de suelo.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar tres estrategias de manejo nutricional de dos híbridos de tomate (bola y saladette) cultivados directamente en suelo en condiciones de invernadero.

Objetivos específicos

Evaluar el efecto de: 1) solución nutritiva Steiner completa (SNSC), 2) manejo racional de la nutrición (SNR), y 3) biofumigación + manejo racional de la nutrición (SNCB) en el rendimiento, calibre de fruto, firmeza de fruto, pH, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), índice de sabor (SST/AT).

Evaluar el efecto de: 1) solución nutritiva Steiner completa (SNSC), 2) manejo racional de la nutrición (SNR), y 3) biofumigación + manejo racional de la nutrición (SNCB) sobre los contenidos de N-NO₃⁻, H₂PO₄⁻, K⁺, el pH y CE presentes en la solución de suelo durante y después de las aplicaciones.

Hipótesis general

La condición nutricional del tomate (bola y saladette) es afectada por las estrategias de fertilización empleadas.

Hipótesis específicas

El uso de diferentes soluciones nutritivas 1) solución nutritiva Steiner completa (SNSC), 2) manejo racional de la nutrición (SNR), y 3) biofumigación + manejo racional de la nutrición (SNCB) tiene efecto sobre el rendimiento, calibre de fruto, firmeza de fruto, pH, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) e índice de sabor (SST/AT).

El uso de diferentes soluciones nutritivas 1) solución nutritiva Steiner completa (SNSC), 2) manejo racional de la nutrición (SNR), y 3) biofumigación + manejo racional de la nutrición

(SNCB) tiene efecto sobre los contenidos de N-NO_3^- , H_2PO_4^- , K^+ , el pH y CE de la solución de suelo.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En México existen regiones importantes que producen hortalizas a cielo abierto. Este es el caso de la zonas Noroeste (Sinaloa, Sonora y Baja California), Costa del Pacífico (Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca), Zona Centro-Norte (San Luis Potosí y Coahuila), Huasteca (Tamaulipas, Veracruz, San Luis Potosí e Hidalgo) lo que permite el abasto del mercado interno durante la mayor parte del año y un cuantioso volumen que se dedica a la exportación. Sin embargo, la necesidad de incrementar la producción hortícola en un contexto de escasa superficie cultivable, climas adversos y agotamiento del recurso agua, ha llevado a considerar como opción tecnológica la producción intensiva en invernaderos (Sánchez, 2004). La horticultura protegida es una de las actividades agrícolas con mayor crecimiento en México en los últimos años, se llama así porque los cultivos se desarrollan controlando los factores externos, como la luz, temperatura, el agua y los fertilizantes, lo que permite mantener una producción durante todo el año. En México existen 19,985 unidades de cultivo protegido de los cuales el 66 % son invernaderos, 11 % de macro túnel, 10 % de casa sombra y 13 % de otros (SIAP, 2013). La industria de la horticultura protegida en México ha venido creciendo muy rápidamente (Figura. 1.1.) aunque no se ha desarrollado aun como en países europeos, entre otras razones debido a la falta de tecnologías de manejo y a la falta de técnicos preparados que permitan lograr un crecimiento sostenido de largo plazo en esta industria.

En el año 2012 la exportación de tomate mexicano fue del 58.9 % de la producción nacional, lo que representó el 24.6 % (1 341 840) del porcentaje mundial de tomate en mercado. Ello significó que México ocupara el primer lugar a nivel mundial, en ese año, en exportación de tomate (SIAP, 2012).

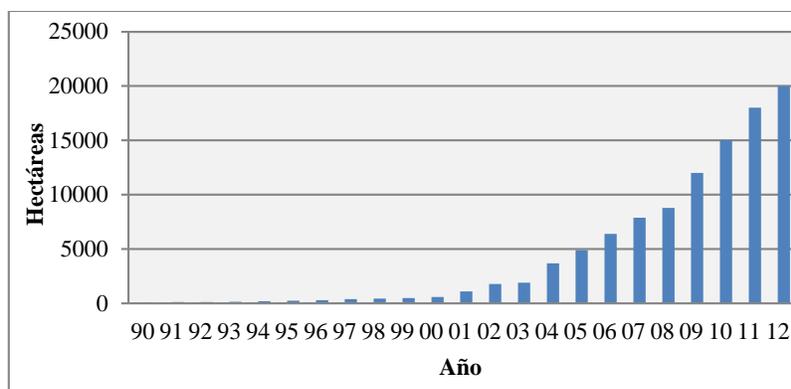


Figura. 1.1. Crecimiento anual de la horticultura protegida en México (Castellanos-Borbón,2009), (SIAP, 2013)

Manejo nutricional de tomate en agricultura protegida

Los sistemas de producción varían en cuanto a variedades, sustratos de crecimiento, dosis de nutrimentos, técnicas de control de plagas y enfermedades, entre otros factores. Por otra parte, la creciente demanda de productos agrícolas ha obligado a los productores de hortalizas a hacer un uso eficiente de los recursos e insumos. Un buen manejo de la nutrición mineral es fundamental pues determina en gran medida la capacidad productiva de la planta de tomate (Snyder, 2006). Rincón (2002) determinó que se necesitan 3 kg de N, 1 kg de P₂O₅, 5 kg de K₂O, 2.5 kg de Ca y 1 kg de Mg, por tonelada de tomate producido (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1. Requerimientos nutricionales totales para tomate en invernadero

Rendimiento	Absorción según rendimiento					Absorción para 1 Mg					Fuente
	N	P	K	Mg	Ca	N	P	K	Mg	Ca	
Mgha ⁻¹	Kg ha ⁻¹					Kg Mg ⁻¹					
115.4	211	30	264	40	195	1.8	0.3	2.3	0.3	1.7	Fayad <i>et al.</i> 2002
100	200	44	500			2	0.4	5			Molina 2006
195	450	65	710			2.3	0.3	3.6			Scaife y Bar- Yosef 1995
180	562	110	886	72	139	3.1	0.6	4.9	0.4	0.8	Haifa Nutri- Net 2008
80	250	34	420	40	220	3.1	0.4	5.3	0.5	2.8	FAO sf
57	300	122	360			5.2	2.1	6.3			Molina 2006
100	600	88	830			6	0.9	8.3			Molina 2006
59	490	112	508			8.3	2.1	8.6			Alcántar <i>et al.</i> , 1999

Fertilización química

A nivel nacional Páez et al. (2007) señalan que las dosis medias de macroelementos a nivel nacional son de 275 kg ha⁻¹ de N, 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 340 kg ha⁻¹ de K₂O. Por su parte Venegas

(1996) indica que en Sinaloa se aplican 340 kg ha⁻¹ de N, 275 kg ha⁻¹ de P y 500 kg ha⁻¹ de potasio, lo que evidencia un alto riesgo de contaminación por estos elementos, con su consecuente impacto ambiental. Villarreal *et al.* (2006) mencionan que las dosis de fertilizantes que se aplican, por lo general, están por encima de los requerimientos del cultivo. Es el caso del N cuyo aporte fluctúa entre 350 y 400 kg·ha⁻¹ debido a que los productores consideran que este manejo permite incrementar las características de calidad de fruto. El aporte de nutrimentos propuesto por Ojodeagua *et al.*, (2008) para el comparativo de tomate plantado en suelo y en sustrato se obtuvo un rendimiento en invernadero de 34.1 kg m⁻² en suelo y 31.1 kg m⁻², respectivamente, durante un ciclo de 255 días se presenta en el Cuadro 1.2. De acuerdo con este autor, la producción de tomate en suelo bajo condiciones protegidas es similar a la obtenida en tezontle, además permite un ahorro del 50 % de fertilizante y 70 % de agua. Villareal *et al.* (2002) concluyeron que el rendimiento de fruto con una dosis de 250 kg ha⁻¹ de N fue similar al obtenido con 450 kg ha⁻¹ de N, sin afectar tamaño, firmeza, pérdida de peso y sabor. Adicionalmente, sus resultados demuestran que es factible disminuir la fertilización fosfórica y potásica sin afectar el rendimiento y la calidad postcosecha del fruto de tomate.

Cuadro 1. 2. Consumo neto y aportaciones de nutrimentos para un rendimiento de tomate de invernadero de 34.1 kg m⁻² en suelo y 31.1 kg m⁻² en sustrato durante un ciclo de 255 días en dos sistemas de producción (Ojodeagua *et al.*, 2008)

Nutrimento	Consumo neto	Suelo	Sustrato
		Kg ha ⁻¹	
N	716	920	1748
P ₂ O ₅	234	342	452
K ₂ O	1496	1520	3636
Ca	782	1050	2170
Mg	136	290	731

Fertilización orgánica

La producción orgánica de alimentos es una alternativa para los consumidores que prefieren alimentos libres de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, inocuos y con un alto valor nutrimental (Márquez *et al.*, 2008). En los últimos años, la aplicación de compost al suelo ha conseguido una importancia creciente, representa hoy en día una posible estrategia para eliminar desechos orgánicos (Elia *et al.*, 2007) e incrementar radicalmente la fertilidad del suelo en un corto plazo. El uso de material orgánico mejora la fertilidad, del suelo, mejora las características físicas, químicas y biológicas, aumenta la retención de agua, la agregación y la porosidad de la tierra, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad microbiana del suelo (Terron, 1992). La producción intensiva de hortalizas con aplicación de enmiendas orgánicas, es una práctica que se ha extendido a escala mundial (Rodríguez *et al.*, 2009). Manjarrez *et al.*, 1999 proponen el uso de la vermicomposta como sustrato ya que permite satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos en invernadero y reducir significativamente el uso de fertilizantes sintéticos. Debido a los problemas ecológicos y económicos provocados por el uso intensivo e inadecuado de los fertilizantes minerales sintéticos, la agricultura actual, en los últimos años está encaminada a lograr una agricultura sostenible sobre la base de obtener altos rendimientos con aplicación de bajos insumos de estos productos y ha revitalizado la idea de hacer uso de productos de origen orgánico (Terry, 2001).

Marinari *et al.* (2007) presentan los cambios químicos y bioquímicos del tomate como resultado del suministro de nutrientes a partir de residuos orgánicos (vermicompost y estiércol) y fertilización química (nitrato de amonio). De acuerdo con estos autores los abonos orgánicos incrementan la biomasa microbiana del suelo. Tuzel *et al.*, (2003) reportan rendimientos de 90 t ha⁻¹ con la aplicación de gallinaza en tomate cultivado orgánicamente en condiciones de invernadero. Sin embargo, Rodríguez *et al.* (2009) indican que ellos no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la fertilización convencional y la orgánica de tomate en condiciones de invernadero. Ferreira *et al.* (2006) estudiaron el efecto de la calidad de tomate en la función de dosis de nitrógeno y estiércol bovino. Los resultados de estos investigadores indicaron que en la ausencia y presencia del estiércol el pH, los sólidos solubles totales y la acidez titulable de tomate se mantuvieron sin cambios al aumentar las dosis de nitrógeno. En estudios con tomate Berúmen *et al.* (2001) encontraron que la mayor producción resultó con el tratamiento de 40 ton ha⁻¹ de estiércol sin acolchado, el cual superó la dosis 100-60 (N-P₂O₅), lo que refleja la bondad del uso de estiércol. Así mismo, Salazar-Sosa *et al.* (2004) al evaluar dosis de estiércol bovino de 0 a 160 ton ha⁻¹ en un

cultivo de tomate observaron que las 120 y 160 ton ha⁻¹ incrementaron la conductividad eléctrica (CE) del suelo de 2.58 a 4.9 dS m⁻¹. Adicionalmente, la aplicación de 160 t ha⁻¹ condujo a un descenso en rendimiento de aprox. 21% en comparación con el testigo sin estiércol. En tomate al evaluar el uso de tres abonos orgánicos (gallinaza, lombricomposta y estiércol de bovino) el mejor rendimiento se obtuvo con la incorporación de estiércol de bovino en un sistema hidropónico alternativo utilizando como testigo la solución nutritiva Steiner (Cuervo, 2010). Lo anterior corrobora los beneficios de la incorporación de residuos orgánicos sobre el rendimiento, calidad de los frutos y la arquitectura de la planta de tomate.

Por otro lado, es importante determinar la calidad sanitaria del fruto cosechado, en la etapa posterior a la aplicación del estiércol, para evitar contaminación con patógenos. Estudios realizados recientemente establecen que el estiércol que proviene del ganado vacuno, muestra una menor condición como fertilizante, además, es el que presenta el menor riesgo desde el punto de vista de salud pública. Por el contrario, los estiércoles de cerdo y aves representan un alto potencial de riesgo para la salud por relacionarse con altas cargas de microorganismos fecales, lo que pudiera incrementar la incidencia de patógenos en el suelo (Espinosa *et al.*, 2009). Sin embargo, también se ha señalado que una vez que estos materiales se incorporan al suelo y se descomponen, el mismo proceso puede eliminar normalmente los patógenos humanos.

Solución nutritiva

La demanda nutrimental de un cultivo es la cantidad de nutrientes que se requieren para satisfacer sus funciones metabólicas durante su ciclo de crecimiento y desarrollo, la cual se calcula con base en el rendimiento y el valor del requerimiento interno (RI) del nutriente en cuestión (Rodríguez, 1990). El RI se refiere a la concentración óptima en la biomasa aérea total en el momento de la cosecha en los cultivos no senescentes y la concentración óptima cuando se alcanza la máxima acumulación de materia seca en los cultivos senescentes. Se denomina solución nutritiva a la combinación de agua con sales minerales que aportan uno o más nutrientes para las plantas, los nutrientes esenciales se adicionan en forma iónica, así como algunos compuestos como quelatos de hierro (Steiner, 1968). La cantidad total de iones disueltos en la solución nutritiva ejerce una fuerza llamada presión osmótica. Una medida indirecta de la presión osmótica es la conductividad eléctrica. El potencial osmótico se obtiene mediante la expresión $(CE) \times (-0.0036)$ y se expresa en mega pascales (MPa). Al disminuir el valor del potencial osmótico (por el aumento de

la concentración de nutrimentos) se disminuye la energía libre del agua, lo que afecta la absorción nutrimental, principalmente de N, P, K, Mg (Bautista, 2010).

A lo largo del tiempo se han realizado diferentes formulaciones de soluciones nutritivas, una de las primeras fue propuesta por Knop en Alemania a base de KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KH_2PO_4 , MgSO_4 y una sal de hierro (Taiz y Zeiger, 2007). La concentración iónica total de la solución universal de Steiner asciende a 30 mmol L^{-1} , que en términos de potencial osmótico corresponde a -0.072 MPa ($20 \text{ }^\circ\text{C}$) y presenta un pH de 6.5 ± 0.1 . A la solución de Steiner se le denomina universal en el sentido de que guarda una relación entre aniones y cationes, a diferentes formulaciones y aún al variar la presión osmótica y el pH (Steiner, 1984) (Cuadro 1.3.).

Cuadro 1.3. Composición química de la solución universal de Steiner

K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}
Cmol L^{-1}					
7	9	4	12	1	7

(Steiner, 1968)

Resh (1987) y Schwars (1975) establecieron que no existe una formulación única dado que las concentraciones óptimas de los elementos dependen de varios factores: especie y variedad vegetal, estado de desarrollo de la planta, parte de la planta que será cosechada, estación del año, clima y calidad del agua. Por lo cual se hace necesario modificar las concentraciones iónicas de la solución nutritiva bajo el enfoque de racionalidad. Por otra parte, es frecuente que para la agricultura protegida desarrollada en suelo se recomienden soluciones nutritivas generadas para cultivos en medios inertes. Así, con frecuencia, se aplican fertilizantes inorgánicos y abonos orgánicos de manera continua sin considerar la riqueza y potencialidad productiva del suelo, ni las consecuencias en el ambiente.

Biofumigación y Biosolarización

El concepto "Biological fumigation" fue utilizado por Kirkegaard *et al.* (1993) y apareció por primera vez en una revista internacional descrito por Angus *et al.* (1994). Bello y Tello (1998)

definen la biofumigación como “el control de los patógenos de las plantas por la acción de sustancias volátiles producidas en la biodegradación de la materia orgánica”. Los fumigantes son sustancias volátiles que resultan de la biodegradación de las enmiendas orgánicas y residuos agroindustriales (Bello *et al.*, 1999). La biofumigación no solamente se emplea como control biológico, también puede mejorar el rendimiento de los cultivos al incorporar restos vegetales en el suelo (Zanon, 2009). Se ha reportado que esta técnica permite incrementar la fertilidad y mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo de tal manera que hacen un medio favorable para el desarrollo del cultivo (Franco *et al.*, 2002). Los gases generados en la biofumigación permiten controlar bacterias, hongos, nematodos y malas hierbas, por lo que esta técnica podría ser una alternativa a la aplicación de bromuro de metilo como medio de control de plagas y enfermedades. Además de ser económica y socialmente viable la biofumigación no tiene impacto sobre el medio ambiente.

La biosolarización se define así como la práctica que combina la solarización del suelo con la incorporación de material orgánico fresco. En esta técnica como resultado del incremento de la temperatura y la generación de compuestos volátiles se generan biosidas que controlan los patógenos del suelo (Gamliel *et al.*, 2000). Por su parte Arriaga *et al.* (2011) establecen que la biosolarización es más efectiva que la solarización en el control de *Phytophthora capsici* debido a que la incorporación de estiércol fresco permite la liberación de agentes biosidas como el ion amonio. Sin embargo también establecen que el uso de estiércol fresco contribuye en mayor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con el estiércol semicompostado.

Herramientas de diagnóstico del estado nutrimental

El monitoreo nutricional del cultivo en invernadero es importante para maximizar los rendimientos. Existen diferentes herramientas de diagnóstico nutrimental. (1) El análisis de extracto celular en particular de pecíolo (ECP) nos permite conocer el ritmo de nutrición como índice de la respuesta de la planta a los nutrimentos contenidos en la solución de suelo. Es una evaluación rápida que permite efectuar correcciones y optimizar la nutrición durante el ciclo del cultivo (Mendieta, 2011). (2) El análisis de tejido vegetal permite determinar los contenidos totales o fracciones de éstos (Jones *et al.*, 1991; Andriolo *et al.*, 2002), se emplea para evaluar el estado nutrimental de las plantas e indirectamente la disponibilidad de los nutrimentos en el suelo,

fundamentado en la correlación que existe entre la concentración en un órgano específico (hoja) y el rendimiento (Mendieta, 2011). (3) El análisis del suelo para determinar su fertilidad. La extracción de la solución de suelo se realiza mediante extractores también conocidos como tubos de acceso. Es un método no destructivo tanto para la estructura de suelo como para el sistema radicular que permite obtener muestras de solución de suelo en condiciones de sub-saturación.

Extracto celular de pecíolo (ECP)

El extracto celular de pecíolo (EPC) está compuesto por líquido apoplásmico, savia, citosol y líquido vacuolar (Gaviola y Lipinski, 2002). Es una técnica que se usa como indicador del abasto nutrimental de la planta frente a las constantes fluctuaciones del suministro de nutrientes principalmente a través de las soluciones nutritivas (Tapia *et al.*, 2010, Noh *et al.*, 2010, Leyva *et al.*, 2005, Castellanos *et al.* 2000). Es una medida del factor intensidad de los nutrientes presentes en la solución de suelo, en contraste con el factor capacidad que mide el potencial de reabastecer a la solución de suelo durante largos periodos de tiempo. El análisis de extracto celular de pecíolos (ECP) es una buena herramienta para diagnosticar, con anticipación a la cosecha, el estado nutricional de los cultivos (Padilla, 2007). También permite revisar el estado nutrimental del cultivo en diferentes etapas de su desarrollo para identificar e intentar mantener los niveles nutrimentales dentro de los intervalos de concentración de iones asociados a la máxima productividad del cultivo y que no afecten su rendimiento potencial.

Las plantas presentan desarrollo óptimo a un nivel alto (1000-1300 mg L⁻¹) de nitratos en el pecíolo. Niveles bajos de nitratos en pecíolo (< 850 mg L⁻¹) indica carencia de nitrógeno (Hartz y Hochmuth, 1996). En tejido vegetal la concentración de nitratos es un indicador del nivel de suficiencia de nitrógeno en la planta (Geraldson y Tyler, 1990). Leyva *et al.*, (2005) registraron altas concentraciones de nitratos en los pecíolos de las plantas de tomate fertilizadas con N, en respuesta a las dosis crecientes de nitratos aplicadas al suelo. La concentración de N-NO₃ en el extracto celular de pecíolo (EPC) y tallo se correlaciona con el rendimiento del cultivo. Castellanos *et al.*, (2000) reportaron que el análisis de nitratos en el extracto celular de pecíolo (ECP) es una herramienta útil para determinar la cantidad de nitrógeno en hortalizas.

Extracto de pasta saturada

Popularizado a partir de la publicación del USSL Staff (1954) se ha convertido en el procedimiento preferido del esquema de diagnóstico de los aspectos cuantitativos y cualitativos de la salinidad edáfica (Rhoades, 1984). El objetivo del extracto es semejar con la mayor representatividad las condiciones del ambiente radical. Este método es el más usual en laboratorio para determinar la salinidad del suelo. El término “pasta saturada” se usa en éste método para designar el extracto acuoso que se obtiene por filtración al vacío de una pasta de suelo saturado con agua destilada. La pasta saturada es una solución acuosa que da información sobre muchas propiedades del suelo como la composición de las sales solubles, la cantidad de cationes y aniones presentes en la solución del suelo, aspectos íntimamente relacionados con la respuesta de los cultivos a la salinidad. La solución extraída de la pasta saturada es variable según el tipo de suelo, la riqueza de elementos nutritivos (fertilización) la estación y el grado de humedad del suelo. De ahí la importancia de monitorear la concentración de cada nutriente (Mendieta, 2011).

Análisis foliar

El análisis foliar o de tejidos vegetales es una herramienta esencial para el diagnóstico nutricional. Consiste en medir el contenido total de los nutrientes presentes en las hojas o parte de la planta, a través de procedimientos químicos específicos. El uso del análisis foliar se basa en el hecho de que existe una relación entre el crecimiento de la planta y el contenido nutricional de la materia seca o fresca (Garante y Bonilla, 2001). Por otro lado Jones *et al.* (1991) concluyeron que el estado nutricional de una planta se refleja mejor por el contenido de nutrientes de las hojas que a diferencia de otros órganos. Jones *et al.* (1991) establecieron que existen tres pasos para realizar el análisis foliar: (1) toma de muestra, (2) preparación de la muestra y (3) análisis.

Parámetros de calidad

Se define así al conjunto de parámetros que expresan la calidad del fruto de tomate. En general para determinar la calidad del fruto de tomate se considera la firmeza, los sólidos solubles, la acidez titulable equivalente de ácido cítrico, el pH. En cuanto al sabor son importantes los azúcares donde predominan glucosa y fructosa que constituyen aproximadamente el 60% de los sólidos solubles. También se evalúan los ácidos orgánicos (mayormente cítrico y en menor medida málico), los aminoácidos, lípidos y minerales (Peiris *et al.*, 1998). La calidad óptima para el consumo de tomate

fresco se obtiene cuando los frutos maduran en la planta, alcanzándose de este modo el máximo sabor (Kader *et al.*, 1977). Sin embargo debido al proceso de comercialización el fruto normalmente se cosecha en un grado de coloración 3 (escala USDA, 1975). La calidad del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es afectada por variaciones genotípicas, condiciones climáticas, y el sistema de producción empleado (San Martín *et al.* 2012).

Firmeza

Este parámetro mide la resistencia a la penetración de los tejidos del fruto. Es importante ya que está relacionada con la sanidad del fruto, concentración de azúcares, pH, sabor y aroma del fruto. Este parámetro se puede evaluar por diversos métodos (Riquelme, 1995; Cantwell *et al.*, 2006)

Con el transcurso del tiempo, el fruto pierde firmeza debido a cambios físicos y químicos asociados con la degradación de la pared celular y la solubilización de las pectinas por las enzimas pectinesterasa (PE), poligalacturonasa (PG) y pectatoliasa (PL) (Marín-Rodríguez *et al.*, 2002; White, 2002). Este parámetro es de vital importancia para su comercialización ya que el mantener una firmeza consistente genera la apariencia que el público consumidor desea obtener al comprar el producto.

La firmeza de los frutos de tomate es uno de los componentes más importantes para el procesamiento y empaquetado de frutos frescos. Es afectada de manera importante por diversos factores ambientales como la nutrición y exceso de nitratos, cantidad de agua y contenido de calcio en el fruto (Taylor *et al.*, 2002). La firmeza del fruto del tomate también se ve afectada por la transpiración, la cual ocasiona que este pierda agua y al no tener una fuente de suministro (planta madre) pierde turgencia y firmeza (Arias *et al.*, 2000; Villarreal *et al.*, 2002).

pH

Se refiere a la medición de la concentración de iones H^+ en una solución acuosa. Para el caso de tomate se consideran valores óptimos de pH los inferiores a 4.4 y el contenido de azúcares debe ser superior a 4.0- 4.5 °Brix (Nisen *et al.*, 1990). La variación en el pH del fruto de tomate está relacionada con los procesos de maduración y senescencia del mismo.

Sólidos totales solubles

Se refiere a la cantidad de azúcares presentes en el fruto y se reportan los resultados en grados °Brix. Presentando valores óptimos entre 4.5 y 5.5 °Brix. En el caso de tomate presentan gran variación en función del cultivar, nutrición de la planta, estrés hídrico, factores ambientales y de manejo agronómico etc. (Nuez, 1995; González et al. 2004).

Acidez titulable

El ácido predominante en el fruto de tomate es el ácido cítrico, seguido del málico, los cuales se encuentran en la cavidad locular y en baja proporción en el mesocarpio externo (Nuez, 1995). Los ácidos orgánicos son considerados como una reserva energética que posteriormente pueden ser transformados en azúcares. La acidez titulable permite determinar el grado de acidez del tomate. Este parámetro es de vital importancia para la industria de proceso. Se determina por el método descrito por la AOAC (1990) y los resultados se expresaron en porcentaje.

Índice de sabor

Considera la relación entre los sólidos solubles totales y la acidez titulable (SST/AT) se observa que al aumentar los sólidos solubles totales con el proceso de maduración. Se presenta la reducción de la acidez lo que se traduce en la aparición de las características organolépticas requeridas por el consumidor.

BIBLIOGRAFÍA

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official methods of analysis (15th ed.). Washington, DC. USA. pp 1141.

Andriolo J.L., M. Witter, T. Ross, R.S. Godoi. 2003. Crescimento e desenvolvimento do tomateiro cultivado em substrato com reutilização da solução nutritiva drenada. Horticultura Brasileira 21: 489-493.

Angus, J.F, P.A. Gardner, J.A. Kirkegaard y J.M. Desmarchelier. 1994. Biofumigation: Isothiocyanates released from Brassica roots inhibit growth of the take-all fungus. Plant and Soil 162: 107-112.

Alcántar, G, M. Villarreal y A. Aguilar. 1999. Tomato growth (*Lycopersicon esculentum* Mill), and nutrient utilization in response to varying fertigation programs. Proc. Int. Sym. Growing Media and Hydroponics. Acta Horticulturae 481:385-391.

Alconada M., M. Cuellas, P. Poncetta, S. Barragan, E. Inda y A. Mitidieri. 2011. Fertirrigacion en el cultivo de tomate protegido:1 – Nutricion nitrogenada. Efectos en el suelo y en la producción. Horticultura argentina 30 (72):1-13.

Arias, R., T.C. Lee, D. Specca, H. Janes. 2000. Quality comparison of hydroponic tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) ripened on and off vine. Journal of Food Science 65(3):545-548.

Arriaga H., Z.M. Núñez-Zofio, S. Larregla, P. Merino. 2011. Gaseous emissions from soil biodisinfestation by animal manure on a greenhouse pepper crop.

Arellano-Gil, M., M.A. Gutiérrez-Coronado. 2006. Rendimiento y calidad postcosecha de tomate bajo diferentes esquemas de fertilización al suelo". Revista Chapingo serie horticultura, num. enero-junio, pp. 113-118.

Bautista-Cruz., M.T. 2010. Potencial osmótico en la absorción nutrimental y calidad de fruto en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). Tesis de maestría en ciencias. Colegio de posgraduados. Montecillo, Estado de México.

Bello, A., J.A. López-Pérez, L. Díaz-Viruliche, R. Sanz y M. Arias. 1999. Bio-fumigation and local resources as methyl bromide alternatives. Abstracts 3rd International Workshop "Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries, 7-10, December, Heraclion, Creta, Grecia, 170 pp.

Bello A. y J. Tello. 1998. El bromuro de metilo se suprime como fumigante del suelo. Phytoma-España, ISSN: 1131-8988,101:10-21.

Berúmen-Padilla, S., J.L. Monarrez-Rodríguez y R. Figueroa-Viramontes. 2001. Efecto del abono orgánico en el desarrollo y producción del tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo condiciones de acolchado plástico y fertirrigación. Agrofaz 1: 16-24.

Cantwell, M. S. Stoddard, M. Lestrangle, J. Mickler, R. Mullen, X. Nie, E. Gutierrez, H. Ermen, G. Argeta. 2006. Report to the California tomato commission. Tomato variety trials: postharvest evaluations for 2005. UCCE fresh market statewide report 2005 postharvest 14 pp.

Castellanos R., J.Z., J.X. Uvalle B. y A. Aguilar S. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2da edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Celaya, Guanajuato, México.

Castellanos, J.Z. 2004. Manual de Producción Hortícola en Invernadero 2da. Edición. INTAGRI, México.

Castellanos-Ramos J. Z.; J.L. Ojodeagua. 2009. Manejo de la fertirrigación de tomate en suelo. In: Castellanos (coord.).Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri, México. pp. 203.

Castellanos-Ramos, J.Z. y J.J. Peña-Cabriales. 1990. Los Nitratos provenientes de la Agricultura: Una Fuente de Contaminación de los Acuíferos. Terra. 8(1): 113-126.

Cuervo-Osorio., V.D. 2010. Abonos orgánicos como insumo de nutrición vegetal en un sistema hidropónico alternativo. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de posgraduados. Montecillo, Estado de México.

Elia, A., G. Conversa, G. Trotta and M. Rinaldi. 2007. Organic fertilization on soil water content, yield and quality of processing tomato. Acta Hort. (ISHS) 758:339-344.

Espinoza, Y., M.J. Hernández, T. V. Barrera y N.E. Obispo. 2009. Efecto de la alimentación animal sobre la calidad microbiológica de estiércoles usados como fertilizantes. Zootecnia Tropical, 27(2):151-161. ISSN 0798-7269.

FAO. S. F. 2002.El cultivo protegido en clima mediterráneo. Estudio Producción y Protección Vegetal 90. FAO. Roma, Italia. ISBN 92-5-302719-3, 320 p.

FAOSTAT. 2010. Dirección de estadística. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/567/desktop/Default.aspx?PageID=567#ancor>

Fayad, J.A., P.C.R. Fontes, A.A. Cardoso, F. L. Finger y F.A. Ferreira. 2000. Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. Horticultura Brasileira 20(1):90-94.

Ferreira M.M.M., G. B. Ferreira, P.C. R. Fontes y J.P. Dantas. 2006. La calidad del tomate en la función de dosis de nitrógeno y del estercolar orgánico en dos estaciones. La horticultura 24 brasileña: 141-145.

Franco-Navarro F., I. Cid del Prado-Vera, E. Zavaleta-Mejía y P. Sánchez-García. 2002. Aplicación de enmiendas orgánicas para el manejo de *Nacobbus aberrans* en tomate. Nematropica 32:113-124.

Hartz T.K. y G.J. Hochmuth. 1996. Fertility management of dripirrigated vegetables. HortTechnology 6(3):186-172.

Gamliel, A., M. Austeraweil, G. Kritzman. 2000. Non-chemical approach to soilborne pest management e organic amendments. Crop Prot. 19:847-853.

Garante, A. y I. Bonilla. 2001. Nutrición mineral y producción vegetal En: Azcón B., J. y Talón (Coordinadores) Fundamentos de fisiología vegetal ed. Mc Graw-Hill y Interamericana de España S.A. U. y Edicions Universitat de Barcelona Madrid España 113-130.

Geraldson C.M. y K.B. Tyler. 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing vegetable crops. In: Soil Testing and Plant Analysis. R L Westerman (ed). Soil Sci. Soc. America. Madison, Wis. PP.: 544-562.

Gaviola S. y V.M. Lipinski. 2002. Diagnóstico rápido de nitrato en ajo cv. Fuego inta con riego por goteo. Ciencia del Suelo 20 (1) 2002.

Godoy-Hernández, H., J.Z. Castellanos-Ramos, G. Alcántar-González, M. Sandoval-Villa y J.J. Muñoz-Ramos. 2009. Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. Terra Latinoamericana, 27:1-9.

González, A., M.C. Salas y M. Urrestarazu. 2004. Producción y calidad del cultivo en el cultivo de tomate cherry. In: tratado del cultivo sin suelo. M. Urrestarazu (Coord.) 3 a. Edición. edit. Mundi prensa. Madrid España pp. 703-748.

Jones, J.B. Jr; B. Wolf and A. Mills. 1991. Plant Analysis handbook. Methods of plant Analysis and interpretation. Micro –Macro Publishing Athens, GA, USA.Science, vol. 109.

Kader, A., M. Stevens, M. Albrigh-tholton, L. Morris, M. Algazi. 1977. Effect of fruit ripeness when picked on flavor and composition in fresh market tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 102:724-731.

Kirkegaard, J.A., J.F. Angus, P.A. Gardner, H.P. Cresswell .1993. Benefits of brassica break crops in the Southeast wheat belt. *Proc. 7th Aust. Agron. Cons. Adelaide*, 19-24 Sept., 282-285.

Leyva-Ruelas G., P. Sánchez-García, G. Alcántar- González, J.G Valenzuela-Ureta, F. Gavi-Reyes F., A. Martínez-Garza. 2005. Contenido de nitratos en extractos celulares de pecíolos y frutos de tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:145-150

Manjarrez-Martínez, M.J., R. Ferrara-Cerrato, M.C. González-Chávez. 1999. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. *Terra* 17: 9-15.

Marín-Rodríguez, M.C., J. Orchard, and G.B. Seymour. 2002. Pectate lyases, cell wall degradation and fruit softening. *J. Exp. Bot.* 53: 2115-2119.

Marinari, S., G. Masciandaro, B. Ceccanti & S. Grego. 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology.* 72: 9-17.

Márquez-Hernández C., P. Cano-Ríos, N. Rodríguez-Dimas. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agricultura técnica en México.* No. 1 pp. 69-74.

Mendieta-Muños, L.A. 2011. Distribución espacial de nutrimentos en la solución del suelo para la producción intensiva de fresa. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de posgraduados. Montecillo, Estado de México.

Molina, E. 2006. Principios generales de la fertirrigación en la nutrición de plantas. In *Seminario Fertirrigación de Cultivos. Memoria.* San José, Costa Rica. pp. 51- 64.

Nisen, A., M. Grafiasdellis, R. Jiménez, G. Lamalfa, G.PS. Martínez, A. Monterio, H. Verlodt, O. Villele, C.H. Zabaltitz, I.U. Denis y W.O. Baudoin. 1990. Protected cultivation in the Mediterranean climate. *FAO. Plant production and protection peper num. 90* Rome, Italy.

Noh-Medina, J., L. Borges-Gómez L. y M. Soria-Fregoso. 2010. Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(2): 219-218.

Nuez F. 1995. El cultivo de tomate. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España 793 p.

Ojodeagua-Arredondo, J.L., J.Z. Castellanos-Ramos, J.J. Muñoz-Ramos, G. Alcántar-González, L. Tijerina-Chávez, P. Vargas Tapia, S. Enríquez-Reyes. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 367-374.

Padilla, W. 2007. Interpretación de los Análisis elaborados por AGROBIOLAB Cía. Ltda. Disponible en <http://www.clinica-agricola.com/>.

Peiris, K., G. Dull, R. Leffler y S. Kays. 1998. Near infrared spectrometric technique for nondestructive determination of soluble solids content in processing tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123:1089-1093,

Reséndiz, G. R., Fernández, A. C. R., & Jiménez, M. F. S. 2007. La contaminación por nitrógeno y fósforo en Sinaloa: flujos, fuentes, efectos y opciones de manejo. Universidad Autónoma de México. 304 pp.

Riquelme, F. 1995. Postcosecha. In: El cultivo de tomate. Nuez F. (Ed) edit. Mundi Prensa. Madrid, España 793 p.

Rinaldi M., G. Convertini y A. Elia. 2007. Organic and mineral nitrogen fertilization for processing tomato in Southern Italy. *Acta Horticulture*. 785: 241-248.

Rincón, S.L. 2002. Bases de la fertilización para solanáceas y cucurbitáceas cultivada en invernadero bajo planteamiento de producción integrada. 12 Symposium Internacional. Ecología y producción integrada en cultivos hortícolas en invernadero. *PYTOMA*. 135: 34-4.

Rodríguez, J. 1990. Fertilización de cultivos. Un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Rodríguez, N., P. Cano, U. Figueroa, E. Favela, A. Moreno, C. Márquez, E. Ochoa, P. Preciado. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra latinoamericana*, 27(4): 319-327.

Rhoades, J.D. 1984. Principles and methods of monitoring soil salinity, in soil salinity under irrigation, edits. **Shainberg s. y Shalevent J.** Chap 5 Ecological studies 51. Spinger pp. 130-142.

Resch, H. M. 1987. Cultivos hidropónicos. Edición Española. Artes gráficas Palermo. España 318 p.

Salazar-Sosa, E, C. Vázquez-Vázquez, J.A. Leos-Rodríguez, M. Mrtis-Hernández, J.A. Montemayor-Trejo, R. Figueroa-Viramontes, J.D. López-Martínez. 2004. Mineralización del estiércol bovino y su impacto en la calidad del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicum sculentum* Mill) bajo riego sub-superficial, *Python Rev. Inter. Bot. Exp.* 73: 259-273.

San Martin-Hernández C., V.M. Ordaz-Chaparro, P. Sánchez-García, B. Colinas-León, L. Borges-Gómez. 2012. Calidad de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46: 243-254.

Sánchez, F. 2004. Descripción de paquetes tecnológicos de producción comercial de jitomate en hidroponía bajo invernadero. In Salazar R; Navas G; Rojano A. (Eds.). III Curso Internacional de Invernaderos. Guadalajara, México. PUIMECI. 38 p.

Scaife, A. y B. Bar-Yosef. 1995. Nutrient and fertilizer management in old grown vegetables. International Potash Institute. Basilea, Suiza. 104 p.

SIAP. 2012. Boletín semanal del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la SAGARPA. Julio. No. 2 México.

Shwarz, M. 1975. Guide to commercial hydroponics. Israel universities Press. Jerusalén, Israel. 136 p.

Snyder, R.G. 2006. Guía del cultivo del tomate en invernaderos. Mississippi, US. Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Mississippi. USA. Publicación N° 2419. 24 p.

Steiner, A.A. 1968. Soilless culture. Proceedings of the 6th. Colloquium of the Internacional Potash Institute. pp. 324-341.

Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. In: Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. Wageningen. The Netherlands, pp. 633-650.

Tapia-Vargas, L.M., H.R. Rico-Ponce, A. Larios-Guzmán, I. Vidales-Fernández, M.E. Pedraza-Santos. 2010. Manejo nutrimental en relación con la calidad de fruto y estado nutricional del melón cantaloupe. Revista Chapingo Serie Horticultura 16(1): 49-55.

Taiz, L. y E. Zeiger. 2007. Plant Physiology, 4th Edition ISBN-10: 0878938567.

Terron, U., P. 1992. Tratado de fitotecnia general (2ª ed.). Mundi-prensa. ISBN 9788471143860.

Terry, E., M. Núñez, M.A. Pino y N. Medina. 2001. Efectividad de la combinación Biofertilizantes-Análogo de brasinoesteroides en la nutrición del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Cultivos Tropicales 22(2): 59-65.

Taylor, M.D., S.J. Locascio y M.R. Alligood. 2002. Incidence of blossom-end rot and fruit firmness of tomato affected by irrigation quantity and calcium source. Proc. Fla. State Hort. Soc. 115:211-214.

Tuzel Y., B. Yagmur y M. Gumus. 2003. Organic tomato production under greenhouse conditions. Acta Hort (ISHS) 614: 775 -780.

Villarreal L, M., R.S. García, T. Osuna, A.D. Armenta. 2002). Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad poscosecha de tomate en fertirriego. Terra 20(3):311-320.

Villarreal-Romero M., S. Hernández-Verdugo, P. Sánchez-Peña, R.S. García-Estrada, T. Osuna-Enciso, S. Parra-Terrazas, A.D. Armenta-Bojórquez. 2006. Efecto de cobertura del suelo con leguminosas en rendimiento y calidad del tomate. Terra Latinoamericana. 24: 549-556

White, P.J. 2002. Recent advances in fruit development and ripening: an overview. J. Exp. Bot. 53(377): 1995-2000.

Zanón-Alonso, M.J. 2009. Efecto de la biofumigación y biosolarización en el control de agentes fitopatógenos. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.

CAPÍTULO 2

UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

El presente experimento se realizó en el área de Horticultura Protegida del Centro de Investigación Regional Centro (CIRCE), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el Km. 6.5 de la carretera Celaya - San Miguel de Allende, Gto. (Figura. 2.1.). Su localización geográfica se encuentra a los 20° 15' Longitud Norte y 101° 39' de Longitud Oeste, y tiene una altitud de 1650 m sobre el nivel del mar, presenta una temperatura media de 25 °C y precipitación media anual de 797 mm.



**Figura. 2.1. Instalaciones del CIRCE-INIFAP.
Celaya, Guanajuato.**

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL INVERNADERO

El experimento se estableció en un invernadero tipo multitúnel modelo INVERCA C, semi-tecnificado, con seis naves y una superficie de 1870 m². La estructura es de hierro galvanizado rectangular de 8 x 5 cm, paredes verticales y techo de medio punto, presenta una cubierta plástica de 800 galgas y tutores de alambre galvanizado. El invernadero estaba equipado con sistema automático para control de la ventilación y calefacción.

El manejo de la solución nutritiva se realizó de forma independiente, para lo cual se estableció un sistema de riego autónomo para cada tratamiento; esto permitió controlar el suministro de la solución nutritiva acorde al desarrollo del cultivo para un mejor control de los tratamientos a establecer. Las líneas de riego consistieron en cintilla de riego con goteros integrados con un gasto de cuatro (L h⁻¹). como se muestra en la (Figura. 2.2.).

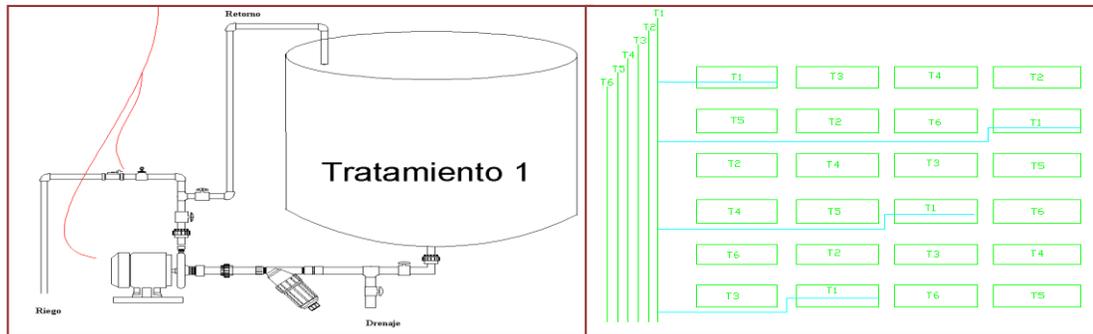


Figura 2.2. Detalle del sistema de riego empleado para cada tratamiento

DATOS CLIMATOLÓGICOS

Los datos climatológicos se obtuvieron en base al ciclo del día y la noche. Se consideró como diurno el periodo comprendido de las 8 am. a 8 pm, que corresponde a las horas de mayor radiación solar. Por otro lado, el periodo nocturno correspondió al resto de las horas del día. La media del día se obtuvo de los registros desarrollados durante el transcurso de todo el día. Mientras la máxima y mínima corresponden a las observaciones extremas registradas en el mismo periodo de registro.

Temperatura

El registro se realizó cada 30 minutos en escala Celsius (°C).

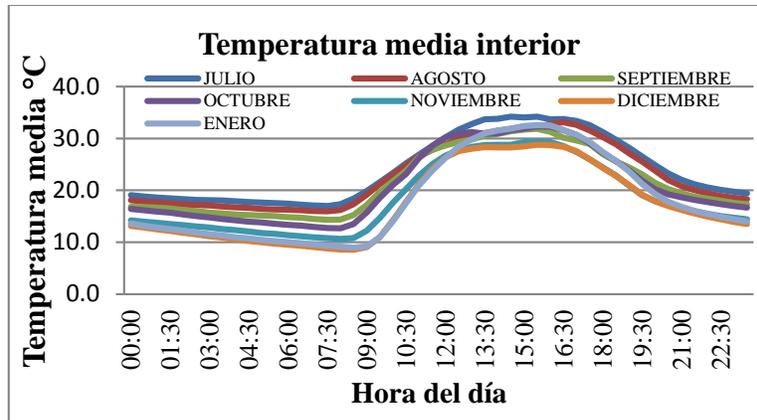


Figura. 2.3. Comportamiento de la temperatura a lo largo del día

Cuadro 2.1. Temperaturas máximas, medias y mínimas del periodo diurno (8:00 am-8:00 pm) y nocturno (8:01 pm-7:59 am) a lo largo del ciclo

mes	Diurno			Nocturno		
	Max	Med	Min	Max	Med	Min
C°						
Julio	40.0	29.3	16.7	27.3	18.8	14.3
Agosto	39.4	28.1	13.6	28.4	17.7	12.2
Septiembre	35.7	26.5	12.6	22.0	16.4	11.4
Octubre	36.6	26.6	9.8	22.0	15.4	8.2
Noviembre	36.6	23.7	7.8	20.1	13.3	7.8
Diciembre	38.3	22.8	5.4	19.8	12.0	5.4
Enero	42.9	24.6	6.2	20.1	12.4	6.2

Humedad relativa

El registro se realizó cada 30 minutos y se midió en porcentaje.

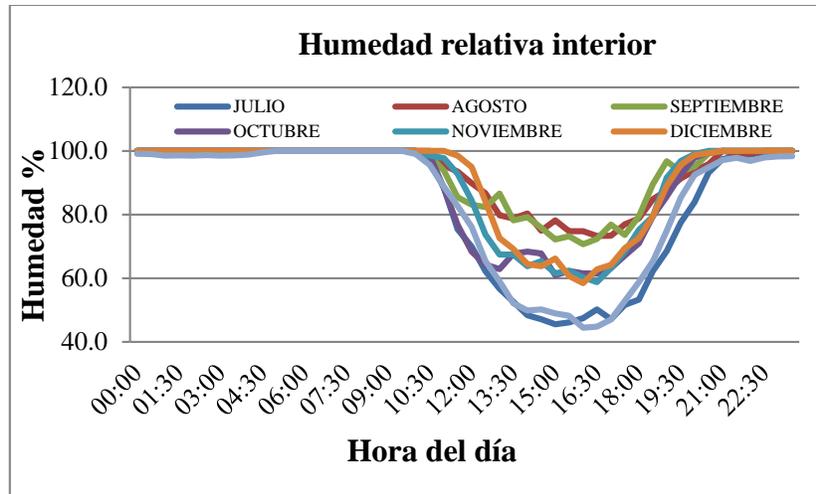


Figura. 2.4. Comportamiento de la humedad relativa a lo largo del día

Cuadro 2.2. Humedad relativa máximas, medias y mínimas del periodo diurno (8:00 am-8:00 pm) y nocturno (8:01 pm-7:59 am) a lo largo del ciclo

Mes	Diurno			Nocturno		
	Max	Med	Min	Max	Med	Min
%						
Julio	100.0	67.7	18.3	100.0	99.4	55.9
Agosto	100.0	86.1	20.9	100.0	99.8	62.1
Septiembre	100.0	85.7	37.9	100.0	100.0	89.5
Octubre	100.0	77.8	10.2	100.0	100.0	86.4
Noviembre	100.0	80.3	17.1	100.0	100.0	100.0
Diciembre	100.0	81.9	24.4	100.0	100.0	81.4
Enero	100.0	70.1	2.4	100.0	98.7	30.5

Déficit de presión de vapor

Se calculó a partir de la temperatura ambiente y la humedad relativa expresada en Kpa con la siguiente ecuación:

$$DVP = es (1 - HR/100)$$

Donde:

$$es = \exp [(16.78 * Ta - 116.9) / (Ta + 237.3)]$$

DVP = Déficit de presión de vapor (kpa).

HR = Humedad relativa (%).

Ta = Temperatura ambiente (°C)

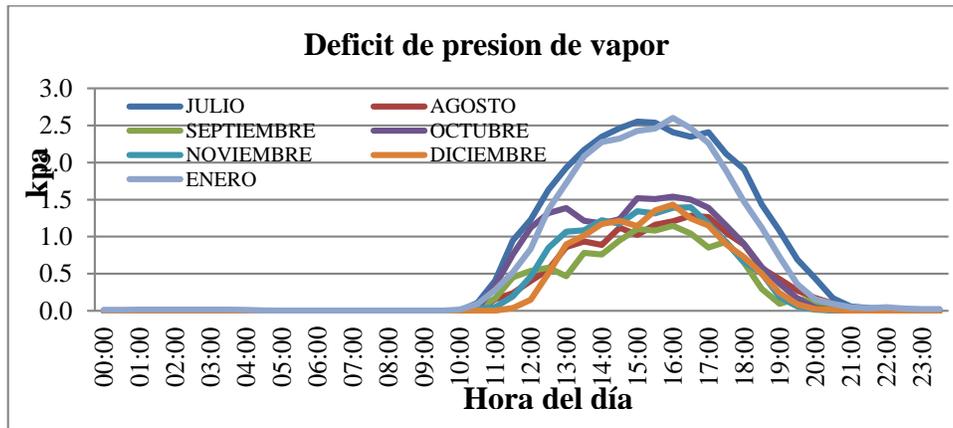


Figura. 2.5. Comportamiento del déficit de presión de vapor a lo largo del día

Cuadro 2.3. Déficit de presión de vapor máximo, medio y mínimo del periodo diurno (8:00 am-8:00 pm) y nocturno (8:01 pm-7:59 am) a lo largo del ciclo

Mes	Diurna			Nocturno		
	Max	Med	Min	Max	Med	Min
	kpa					
Julio	4.1	1.4	0.0	1.1	0.0	0.0
Agosto	3.7	0.6	0.0	0.9	0.0	0.0
Septiembre	2.6	0.5	0.0	0.2	0.0	0.0
Octubre	3.3	0.8	0.0	0.3	0.0	0.0
Noviembre	2.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Diciembre	2.5	0.6	0.0	0.3	0.0	0.0
Enero	6.5	1.2	0.0	1.2	0.0	0.0

Características químicas del agua de riego

Es de suma importancia conocer la calidad y cantidades de especies iónicas aportadas por el agua con la que se elabora la solución nutritiva. Por lo cual se realizó un análisis de agua de pozo usada para cubrir el suministro hídrico del invernadero donde se realizó el experimento. A continuación se presenta las concentraciones del agua que presento un pH de 7.4 y una CE de 0.48 dS m⁻¹ (Cuadro 7).

Cuadro 2.4. Análisis químico del agua de riego

Aniones	<i>Cmol L⁻¹</i>	Cationes	<i>Cmol L⁻¹</i>
N-NO ₃ ⁻	0	NH ₄ ⁺	0
H ₂ PO ₄ ⁻	0	K ⁺	0.24
SO ₄ ²⁻	1.06	Ca ²⁺	1.59
HCO ₃ ⁻	3.19	Mg ²⁺	1.53
Cl ⁻	1.0	Na ⁺	3.3
		RAS	2.64

DESCRIPCIÓN DE LAS PRÁCTICAS CULTURALES

Preparación del terreno

Como primer paso se realizó el acondicionamiento del invernadero retirando los residuos del ciclo anterior para posteriormente realizar la preparación del terreno. Una vez realizada la remoción del suelo se trazaron las camas de cultivo a una distancia de 1.8 m entre centros de surco. Para el tratamiento solución modificada + biofumigación se incorporaron los residuos orgánicos a las líneas a razón de 5 kg m⁻² de estiércol bovino + 2.5 kg m⁻² de residuo de brócoli, basado en las recomendaciones de Bello *et al.*(2005). Para este fin se calculó el área de la cama de siembra siendo esta de 57.6 m².

Después de homogeneizar los residuos incorporados con el suelo se instaló el riego sobre la cama utilizando dos cintillas de goteros integrados a una distancia de 20 cm entre goteros y una separación entre cintillas de 40 cm. para uniformizar la humedad sobre la cama de siembra. Previamente se verificó que no existieran fugas. Para cerciorarse del adecuado funcionamiento se colocó un plástico transparente para hermetizar el suelo y conseguir la elevación de la temperatura y la retención de los gases biosidas que se liberan durante la descomposición de los residuos orgánicos que fundamentan el uso de esta técnica para la desinfección del suelo (Gamliel *et al.*, 2000; Oka, 2010).

El plástico reduce el contenido en oxígeno en el suelo en la biodescomposición de la materia orgánica produciéndose hipoxia o anoxia lo que limita la densidad poblacional de los microorganismos patógenos (Block *et al.*, 2000). Como parte del procedimiento de biofumigación se realizó un riego pesado para saturar los primeros 40 cm del suelo. La biofumigación se concluyó el día 14 de mayo del año con una duración de 32 días durante el cual se manejó un régimen de humedad de 25 % para favorecer la descomposición de los residuos.

Desinfección del invernadero

En el piso del invernadero se colocó una cubierta de plástico tejido de color blanco, para reducir la posibilidad de transmitir enfermedades por el paso cotidiano del personal, así como para permitir la limpieza periódica al eliminar residuos de plantas que pudieran favorecer el desarrollo de patógenos. Posteriormente la infraestructura, plástico y herramientas se desinfectaron con sales cuaternarias de amonio.

Producción de plántula

Se usaron charolas de polietileno, esterilizadas previamente, para prevenir patógenos que pudieran afectar el cultivo. Las cavidades fueron llenadas con turba (peat moss) humedecida como sustrato para el desarrollo de las semillas. En cada cavidad se colocó una semilla a una profundidad de 2 a 3 mm, posteriormente se cubrió con una capa del mismo material.

Se cubrió con un plástico la charola para evitar pérdidas de humedad y al mismo tiempo conservar el calor aproximadamente a 32 °C. Trascurridos 2 o 3 días se revisó la emergencia de las plántulas y se trasladaron a una parte soleada para evitar el alargamiento de los tallos por falta de luz. Se mantuvo la humedad y la aportación nutrimental durante 30 días que trascurrieron en el semillero para garantizar una plántula de buena calidad.

Trasplante

A partir del día 35 después de la siembra se comenzó a regar para humedecer el suelo, facilitar el trasplante y reducir el estrés de la plántula por el cambio de ambiente. El trasplante fue manual y se realizó mediante la inserción del cepellón con la planta en un hoyo practicado en el suelo. Enseguida se presionó ligeramente alrededor del cepellón para facilitar el flujo hídrico. La fecha de trasplante del primer ciclo se realizó el día 20 de Junio del 2012.

Tutorado

Esta actividad se realizó para dirigir el crecimiento vertical de la parte aérea de la planta. Se inicia cuando la planta muestra problemas para erguirse por sí sola y se continúa hasta el fin de ciclo. Para ello los hilos de conducción se colocaron alrededor del tallo de la planta. Se colocaron los anillos que sujetan la rafia al pie del tallo, que se encuentra enredada a un gancho colocado en un emparrillado de acero a 4 m de altura. Esta práctica se realizó conforme avanzó el crecimiento de la planta, normalmente cada 8 días. Una vez alcanzados 2 a 2.5 m se soltó la planta para facilitar el manejo.

Desbrote

Éste consistió en la eliminación de yemas axilares que darían origen a las ramificaciones. El desbrote tiene como finalidad dirigir el desarrollo en la planta de uno o dos tallos lo que facilita el manejo. Además el desbrote concentra la producción e induce el aumento de tamaño de fruto. Esta práctica se realizó conforme a la aparición de brotes, que deben eliminarse antes de alcanzar 10 a 15

cm de longitud, para evitar daños al tallo principal y prevenir enfermedades. En las variedades de crecimiento indeterminado hay que tener cuidado durante la poda para no cortar el brote apical que contiene el punto de crecimiento.

Deshoje

Esta práctica consistió en eliminar las hojas inferiores senescentes, por debajo del último racimo que madura se realiza con fines fitosanitarios y para permitir la entrada de luz al racimo en maduración para la fijación de la pigmentación de los frutos. En la planta es importante mantener siete simpodios o 21 hojas en promedio. El corte de hoja se realizó en forma limpia y al ras del tallo principal para evitar el riesgo de patógenos. El deshoje es periódico, sin ser tan severo, eliminan dos a tres hojas por poda normalmente una vez por semana. Para la poda de hojas se puede utilizar tijeras, las cuales se deben desinfectar mediante productos con poder germicida (yodo, cloro, sales cuaternarias, etc.).

Aclareo de racimos

La poda con tijeras desinfectadas se realizó poco después de que los frutos cuajaron, con la finalidad de uniformizar el tamaño del fruto. Se dejaron de 4 a 5 frutos por racimo en el caso del tomate bola, mientras que para saladette se dejó 6 a 7 frutos por racimo. Se eliminaron de cada racimo los frutos más chicos o deformes.

Polinización

La polinización de los frutos se realizó mediante movimiento de los tensores. Esta práctica se realizó aproximadamente entre las 9 y 10 de la mañana, cuando la temperatura alcanzó 20 a 28 °C y la humedad relativa fue menor al 70 %.

Cosecha

Se inició la cosecha aproximadamente 75 días después del trasplante, una vez que el 50 % de plantas por tratamiento presentaron frutos maduros (30 % de coloración roja). Los frutos se colectaron para dar el manejo de poscosecha (clasificación, empaque y venta). Se tomaron cuatro frutos para conformar una muestra representativa de cada repetición, a partir de 10 plantas por parcela????.

VARIABLES EVALUADAS

Rendimiento

ES Constituyo el rendimiento sumariado semanalmente, obtenido de un m⁻² de superficie. Para ello se aplicó la siguiente ecuación:

$$R = \{[(\Sigma \text{ ren sem} * D P) / \text{No. plantas}] / 1000\}$$

Donde:

R = Rendimiento total por m² (kg).

Σ ren sem = Sumatoria del rendimiento semanal (g).

D P = Densidad de población de plantas.

No. Plantas = Total de plantas a considerar en la cosecha.

1000 = factor de conversión de g a kg

Porcentaje de frutos por categoría

Se refiere al porcentaje medio del fruto cosechado semanalmente. Se consideraron los siguientes tamaños: calibre chico (frutos < 4 cm de diámetro), mediano (frutos de 4 a 5 cm de diámetro), grande (frutos de 5 a 6 cm de diámetro), extra (frutos > 6 cm de diámetro) y rezaga (frutos con deformaciones, lesiones, o enfermedades). Se calculó como el peso de total de los frutos por categoría cosechados entre el peso de total de los frutos cosechados por semana por 100 de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ frutos por categoría} = (\text{peso frutos por categoría} / \text{peso total semanal}) * 100$$

Contenido nutrimental en hoja

Las muestras se colectaron a lo largo del ciclo con un intervalo de 50 días entre cada muestreo. El objetivo fue verificar el contenido nutrimental del cultivo e identificar posibles deficiencias o excesos de nutrientes. Se tomaron de dos a tres hojas recientemente maduras de cada uno de los tratamientos para obtener una muestra compuesta de entre 15 a 20 hojas. Este procedimiento se realizó con la metodología indicada por Jones *et al.* (1991). Posteriormente las hojas se lavarón con una solución de detergente libre de fósforo y agua destilada. Posteriormente se introdujeron a una estufa de secado por 72 horas a 65 °C y por último ser molió y analizaron.

Extracto de pasta saturada

Se elaboró uno cada 15 días para cada tratamiento. Con ayuda de una barrena se tomaron muestras de suelo entre gotero y gotero a una separación de 10 cm de la línea de riego. Posteriormente se realizó la saturación del suelo con agua destilada. Se obtuvo el extracto en el cual se determinó la concentración de nutrientes (N-NO_3^- , H_2PO_4^- y K^+), pH y CE. A partir de estos resultados y los obtenidos del ECP se modificaron las soluciones de los tratamientos: solución nutritiva racional y solución nutritiva racional + biofumigación para cubrir los requerimientos nutrimentales de cada etapa de desarrollo del cultivo.

Extracto celular de pecíolo (ECP)

Se determinó semanalmente. Se tomó una muestra de la hoja más reciente madura de la cual con ayuda de una prensa se obtuvo el extracto del pecíolo en él se determinó la concentración de nutrientes (NO_3^- , H_2PO_4^- y K^+) con los equipos de determinación rápida de iones (ionómetros).

Firmeza

La firmeza se midió en la parte ecuatorial de frutos con piel con un penetrómetro (Fruit Pressure Tester modelo ft 327, QA Supplies). El diámetro del puntal fue de 9 mm en la parte más ancha del cono y de 9 mm de longitud (Shewfelt, 1993).

pH

Se midió por potenciometría de acuerdo con la NMX-F-317-S-1978. El pH se determinó a temperatura ambiente en el jugo de tomate de una muestra compuesta resultado de la molienda de cuatro gajos del fruto (AOAC, 1990).

Sólidos solubles totales (SST)

Los SST se midieron agregando directamente dos gotas de jugo de tomate sobre el sensor de un refractómetro modelo N1Atago®, Japón) con escala en grados °Brix de 0 a 32 %. Se hizo una calibración con agua destilada antes de cada medición. El resultado se expresó en grados °Brix (AOAC, 1990).

Acidez titulable (AT)

La AT se determinó con la metodología descrita en la norma oficial mexicana (NMX-F-102-S-1978 y AOAC, 1990). La acidez se midió en una relación 1:1 jugo de tomate: agua destilada. El

jugo se obtuvo al licuar un tomate cortado en cuatro trozos (AOAC, 1990). La suspensión se colocó en un vaso de precipitado de 100 mL que se tituló con NaOH 0.1 N hasta la neutralización de la muestra. La cantidad de mililitros de NaOH gastados durante el proceso de neutralización de la muestra se usó para calcular la acidez titulable según la ecuación:

$$TA = [(A \times B \times C \times 100) / D]$$

Donde:

A = mL de NaOH gastados

B = Normalidad del NaOH

C = Factor de miliequivalentes de ácido cítrico

D = mL de jugo empleado

Índice de sabor (SST/AT)

El índice de sabor o relación sólidos solubles totales (SST)/acidez titulable (AT) se calculó de acuerdo a la propuesta de Bruyn *et al.* (1971).

BIBLIOGRAFÍA

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official methods of analysis (15th Ed.). Washington, DC. USA. 1141 pp.

Bello A., J.A. López-Pérez, L. Díaz-Viruliche. 2005. Biofumigación y solarización como alternativas al bromuro de metilo.

Blok W.J. J.G. Lamers, A.J. Termorshuizen, G.J. Bollen .2000. Control of soilborne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by trapping. *Phytopathol* 90:253-259.

De Bruyn J. W., F. Garretsen, and E. Kooistra. 1971. Variation in taste and chemical composition of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Euphytica* 20: 214-227.

Dirección general de normas. 1978. Determinación de la acidez titulable en productos elaborados a partir de frutas y hortalizas. NMX-F-102-S-1978. Norma Mexicana.

Gamliel, A., M. Austeraweil, G. Kritzman. 2000. Non-chemical approach to soilborne pest management e organic amendments. *Crop Prot.* 19:847-853.

Oka, Y. 2010. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments: a review. *Appl Soil Ecol* 44:101-115.

Shewfelt, R.L. 1993. Measuring quality and maturity. In: *Postharvest Handling. A Systems Approach.* Academic Press Inc. (ed.). San Diego Cal., USA. pp. 99-124.

CAPÍTULO 3
ESTRATEGIAS DE MANEJO NUTRICIONAL DEL TOMATE: RENDIMIENTO Y
CALIDAD DEL FRUTO
NUTRITIONAL MANAGEMENT STRATEGIES OF TOMATO: YIELD AND QUALITY
OF FRUIT

J. L. Mera-Hernández*¹, J. Z. Castellanos-Ramos², C.M. I. Hidalgo-Guerrero³, S. Villalobos-Reyes⁴, J. D. Etchevers-Barra³

J. L. Mera-Hernández¹, J. Z. Castellanos-Ramos², C.M. I. Hidalgo*¹, S. Villalobos-Reyes³, J. D. Etchevers-Barra¹

¹ Estudiante de Maestría en Edafología, Colegio de Postgraduados, 56230. Carretera México-Texcoco km. 36.5, Estado de México, México. ² Instituto Tecnológico de Roque 38110. Km.8 Carretera Celaya-Juventino Rosas. Celaya, Guanajuato, México. ³ Colegio de Postgraduados, Edafología, Colegio de Postgraduados, 56230. Carretera México-Texcoco km. 36.5. Edo. de México, México. ⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 38010. Carretera Celaya-San Miguel de Allende. Celaya, Gto, México.

*Autor de correspondencia (mera.juan@colpos.mx)

RESUMEN

Existe escasa información acerca del efecto del tipo de solución nutritiva sobre la producción y calidad del tomate producido en invernadero, plantado directamente en el suelo. Ambos aspectos son importantes para la competitividad en el mercado. Se probaron tres estrategias de manejo de fertilización: 1) solución nutritiva Steiner completa (SNSC), 2) solución nutritiva racional (SNR) modificada con base en el extracto celular de pecíolo y pasta saturada, y 3) solución nutritiva complementaria al uso de biofumigación (SNCB). Se midió el rendimiento durante 6 meses y la calidad del fruto de cuatro variedades de tomate (*Solanum esculentum* L.) de crecimiento indeterminado, en dos ciclos de producción. Las variables de respuesta calidad del fruto incluyeron: rendimiento, calibre del fruto, firmeza del fruto, pH, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) e índice de sabor (SST/AT). En general no se observaron diferencias significativas en dichos parámetros de calidad, entre las tres estrategias de fertilización, no así entre las variedades evaluadas. De igual forma el rendimiento no se vio significativamente afectado, por las estrategias de manejo de la solución nutritiva, lo que a final de cuentas significa un ahorro en el uso de

fertilizantes del orden del 50% para la SNR y del 70%, para la SNCB, ambas en relación a la SNSC, que tradicionalmente se utiliza en las zonas productoras de tomate de invernadero de México y de otros países del mundo.

Palabras clave: *Solanum esculentum L.*, sólidos solubles totales, acidez titulable, Solución nutritiva, Biofumigación.

SUMMARY

There is little information about the effect of the nutrient solution on yield and quality of tomatoes produced in greenhouses, planted directly in the ground. Both are important for competitiveness in the market. Three management strategies fertilization were tested: (1) Steiner Complete Nutrient Solution (SNSC), 2) rational nutrient solution (SNR) modified based on cell extract petiole and saturated paste, and 3) additional nutrient solution to the use of biofumigación (SNCB). Performance during 6 months and fruit quality of four tomato varieties indeterminate in two production cycles were measured. Response variables included fruit quality, yield, fruit size, fruit firmness, pH, total soluble solids (TSS), titratable acidity (AT) and flavor index (SST/AT). In the same way, the performance was not significantly affected by this variable, so that ultimately the order of 50% for SNR and 70% for SNCB, both in relation to the SNSC, traditionally used in the production areas of greenhouse tomatoes from Mexico and other countries.

Keywords: *Solanum esculentum L.*, total soluble solids, titratable acidity, nutrient solution, biofumigation

INTRODUCCIÓN

El cultivo de tomate es ampliamente distribuido en el mundo y se consume tanto en fresco como procesado. En México aproximadamente 80 % de la producción de este cultivo se realiza directamente en el suelo bajo cubiertas plásticas (Castellanos, 2004) y comúnmente se fertiliza con soluciones nutritivas. El manejo de la nutrición, en especial el tipo de solución nutritiva que se emplea, es uno de los aspectos fundamentales en la producción de hortalizas en invernadero. Un buen manejo de la nutrición mineral de la planta de tomate es fundamental pues determina en gran medida su capacidad productiva (Snyder, 2006). Las deficiencias nutricionales son capaces de reducir hasta en 50 % el rendimiento y la calidad del fruto. Como consecuencia de lo dicho, el

manejo nutrimental resulta relevante para obtener altos rendimientos y frutos con excelentes parámetros de calidad como son: vida de anaquel, firmeza, sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable (AT).

La CE de la solución nutritiva con que se fertirriega se ha considerado un factor clave en el mejoramiento de la calidad de fruto en tomate (Dorais *et al.*, 2000; De Páscale *et al.*, 2003; Incerti *et al.*, 2007; Sonneveld y Voogt, 2009; Juárez *et al.*, 2009; Schnitzler y Krauss, 2010). Aunque se argumenta que es necesario aplicar soluciones nutritivas con alta CE para no ver afectados los parámetros de calidad del fruto (Com. Pers. Felizardo Mazcareño, 2014). Esto no se ha comprobado y debe ser tomado con reserva ya que el tomate presenta un umbral de tolerancia a la salinidad de 2.5 dS m^{-1} (-0.09 MPa) y por cada dS m^{-1} superior a este umbral disminuye el rendimiento en un 10% (Maas y Hoffman, 1977). Sin embargo, también se ha señalado que valores de conductividad eléctrica (CE) de la solución del suelo menores a 2 dS m^{-1} (-0.072 MPa) pueden ser limitantes para el cultivo de tomate y disminuir su producción comercial (Lara, 1999). En México las soluciones nutritivas que se emplean presentan alta CE entre 2.5 a 3 dS m^{-1} (Armenta *et al.*, 2001), con valores de CE por arriba de 2.5 dS m^{-1} , que es el umbral de tolerancia a la salinidad. Sin embargo, con estos valores de CE se eleva el potencial osmótico (PO) de -0.072 hasta -0.0108 MPa lo que favorece la AT, los SST y la firmeza (Bautista, 2010), aunque puede ocasionar detrimento en el del fruto (Lin y Block, 1999; Thybo *et al.*, 2005; Wu y Kubota, 2008; Zushi y Matsuzoe, 2011) y reducción de la firmeza (Krauss *et al.*, 2007; Passam *et al.*, 2007). Otros parámetros de calidad que se evalúan en el tomate son el pH, y la relación SST/ AT y los relacionados con estudios sensoriales (Baldwin *et al.*, 1991; 1998).

Las características de la solución nutritiva que tienen más influencia en el crecimiento, rendimiento y la calidad de los productos vegetales son: (1) la relación de cationes (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2}) y aniones (NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{-2}), (2) la conductividad eléctrica, (3) el pH y (4) la concentración total de iones (Steiner, 1961). Este último es un factor muy importante ya que determina el crecimiento, el desarrollo y la producción de las plantas (Flores *et al.*, 2011). La temperatura es otro factor que afecta la nutrición y por ende el rendimiento y calidad de los frutos en la producción de tomate (Lara, 1999). Los sistemas de producción agrícola orgánicos son una opción sustentable si se comparan con los sistemas convencionales (Quesada y Bertsch, 2012). La aplicación de fertilizantes orgánicos posee ventajas: influye en la fertilidad química, física y biológica del suelo y tiene menor

impacto sobre el medio ambiente. Adicionalmente, los costos por hectárea de la fertilización orgánica son menores que con productos minerales de síntesis (Rai *et al.*, 2014). Un manejo integrado de la nutrición a través del uso combinado de los residuos orgánicos y los fertilizantes químicos inorgánicos puede favorecer la fertilidad del suelo y promover el incremento del rendimiento de manera sustentable (Paul y Mannan, 2006).

El objetivo de este estudio fue evaluar tres estrategias de manejo de la fertilización consistentes en aplicar tres soluciones nutritivas: 1) Steiner completa (SNSC), 2) racional (SNR), y 3) complementaria al uso de biofumigación (SNCB) sobre los parámetros: rendimiento total, rendimiento comercial, calibre del fruto, firmeza del fruto, pH, sólidos solubles torales (SST), acidez titulable (AT) e índice de sabor (SST/AT) de seis variedades de tomate (*Solanum esculentum* L.) plantado bajo plástico, directamente en el suelo, en dos ciclos de producción (cuatro variedades en el ciclo 2012-2013 y dos de las evaluadas en este ciclo más dos nuevas en el ciclo 2013-2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el Campo Experimental Bajío (INIFAP), Celaya, Gto (20° 15' LN y 101° 39' de LO, altitud de 1650 m, temperatura y precipitación media anual en la zona es 25 °C y 797 mm). El cultivo se estableció en un invernadero tipo Multitunnel durante 2 años en las estaciones de crecimiento 2012-2013 y 2013-2014.

Descripción de los tratamientos. Las tres soluciones nutritivas evaluadas se presentan en el Cuadro 3.1. Solución nutritiva completa (SNC) basada en el balance propuesto por Steiner o solución nutritiva universal; se modificaron las concentraciones sin alterar las proporciones de los nutrientes contenidos con objeto de cubrir los requerimientos del cultivo conforme a la etapa fenológica. La solución nutritiva racional (SNR) se elaboró con base en los resultados del análisis de extracto celular de pecíolo (ECP) y pasta saturada, y las proporciones de los nutrientes contenidos correspondieron a los requeridos por el cultivo para cada etapa fenológica tomando como referencia los valores reportados por Castellanos y Ojodeagua (2009). La solución complementaria a la biofumigación (SNCB) se preparó considerando el aporte nutrimental residual del proceso de biofumigación, el cual fue usado principalmente para desinfectar el suelo. Para ello se incorporaron residuos de estiércol vacuno y brócoli a razón de 1.68 y 0.3 kg m⁻². Para complementar el aporte de nutrientes requeridos por el cultivo conforme a la etapa fenológica se

tomó como base los resultados del análisis de ECP y extracto de pasta saturada de acuerdo con los valores obtenidos por Castellanos y Ojodeagua (2009).

Cuadro 3.1. Soluciones nutritivas empleadas durante los dos ciclos de producción, 2012-2013 y 2013-2014.

Parámetro	2012-2013			2013-2014		
	SNSC [†]	SNR	SNCB	SNSC	SNR	SNCB
CE (dS m ⁻¹)	2.6	1.7	1.5	2.7	1.6	1.2
N-NO ₃ ⁻ (me/L)	13.7	6.2	4.2	13.9	5.1	3.3
P-H ₂ PO ₄ ⁻ (me/L)	1.2	0.7	0.3	1.1	0.5	0.3
K ⁺ (me/L)	8.0	5.5	4.1	8.1	5.3	3.6
Ca ⁺² (me/L)	10.3	6.0	6.0	10.5	5.1	3.62
Mg ⁺² (me/L)	4.6	2.1	1.5	4.6	2.1	1.36
S-SO ₄ ⁻² (me/L)	7.9	4.9	4.7	8.0	5.0	3.6

† SNCB= Solución nutritiva con biofumigación, SNR = Solución nutritiva racional, SNSC= Solución nutritiva Steiner completa

Cuadro 3.2. Características y aportes por nutriente en soluciones nutritivas empleadas en los dos ciclos de producción

Parámetros	Ciclo 2012-2013			Ciclo 2013-2014		
	SNSC	SNR	SNCB	SNSC	SNR	SNCB
CE (dS m ⁻¹)	2.6	1.7	1.5	2.7	1.6	1.2
N (Kg ha ⁻¹)	1735	733	685	1760	758	639
P (Kg ha ⁻¹)	450	243	180	455	233	151
K (Kg ha ⁻¹)	3870	2538	1735	3907	2430	1575
Ca (Kg ha ⁻¹)	2560	1240	884	2597	1172	811
Mg (Kg ha ⁻¹)	1134	532	333	1146	451	237

† SNCB= Solución nutritiva con biofumigación, SNR = Solución nutritiva racional, SNSC= Solución nutritiva Steiner completa

En el experimento del ciclo 2012-2013 se evaluaron cuatro diferentes variedades de tomate: dos tipo saladette (Cid y Raptor) y dos tipo bola (Cedral y Springel), y en el ciclo 2013-2014 todas variedades de tipo bola (Aníbal, Cid, Rafaelo y Raptor) (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Tratamientos evaluados por ciclo

Ciclo 2012-2013	Ciclo 2013-2014
Solución con biofumigación Cid (SNCBCID)	Solución con biofumigación Cid (SNCBCID)
Solución racional Cid (SNRCID)	Solución racional Cid (SNRCID)
Solución Steiner completa Cid (SNSCCID)	Solución Steiner completa Cid (SNSCCID)
Solución con biofumigación Raptor (SNCBRAP)	Solución con biofumigación Raptor (SNCBRAP)
Solución racional Raptor (SNRRAP)	Solución racional Raptor (SNRRAP)
Solución Steiner completa Raptor (SNSCRAP)	Solución Steiner completa Rafaelo (SNSCRAF)
Solución con biofumigación Cedral (SNCBCED)	Solución con biofumigación con Aníbal (SNCBANI)
Solución racional Cedral (SNRCED)	Solución racional Aníbal (SNRANI)
Solución Steiner completa Cedral (SNSCCED)	Solución Steiner completa Aníbal (SNSCANI)
Solución con biofumigación Springel (SNCBSPR)	Solución con biofumigación Rafaelo (SNCBRAAF)
Solución racional Springel (SNRSPR)	Solución racional Rafaelo (SNRRAAF)
Solución Steiner completa Springel (SNSCSPR)	Solución Steiner completa Rafaelo (SNSCRAF)

La plantación se realizó en camas separadas a 1.8 m y dos hileras de plantas, con una distancia entre plantas de 0.40 m, con una densidad de 2.7 plantas m⁻². Previo al establecimiento del experimento se tomaron muestras de suelo de 0 a 30 cm de profundidad para determinar las características físicas y químicas lugar (Cuadro 3.4.).

Proceso de biofumigación. Se incorporaron residuos de estiércol y brócoli a razón de 1.68 y 0.3 kg m⁻², respectivamente. Posteriormente se colocó una cinta de riego a dos hileras sobre la cama de siembra a una distancia de 0.20 m con un gasto de 4 L h⁻¹. El suelo se cubrió con un plástico transparente de espesor de 35 micras para saturar el suelo. Se regó con 1350 m³ ha⁻¹ a una profundidad de 0.40 m. El periodo de biofumigación fue de 35 días para el ciclo 2012-2013 y de 45 días para el ciclo 2013-2014. En este tiempo el suelo se desinfectó como resultado de la biofumigación producida al descomponerse los restos orgánicos (Franco *et al.*, 2002; Bello *et al.*,

2000, 2003,2005). El aporte de los distintos nutrimentos por los residuos incorporados durante el proceso de biofumigación se muestra en el (Cuadro 3.5). En la primera parte se presenta la concentración porcentual en la biomasa en base seca y la segunda parte los aportes en kg por hectárea incorporados con las dosis aplicadas.

En el ciclo 2012- 2013 el trasplante se realizó el 20 de Julio del 2012 y el 18 de junio del 2013 y para el ciclo 2013-2014. Trascurrida una semana después de trasplante se comenzó a realizar la aplicación de las soluciones nutritivas, con ayuda de un tanque independiente para cada tratamiento impulsado por una bomba centrífuga. Los riegos con la solución nutritiva respectiva se realizaron en función de la humedad del suelo mediante la ayuda de tensiómetros los cuales se mantuvieron en un rango de 12 a 15 cbar, la aplicación del riego se realizó al alcanzar las lecturas superiores dentro del rango mencionado.

Cuadro 3.4. Características químicas y físicas de suelo de los dos ciclos de producción

Parámetro	2012-2013	2013-2014
Textura	Franca	Franca
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.10	1.11
Materia orgánica (%)	2.4	2.2
pH	7.7	7.9
N-inorgánico (mg kg ⁻¹)	4.9	3.24
P Bray 1 (mg kg ⁻¹)	71	68
K (mg kg ⁻¹)	1362	1380
Ca (mg kg ⁻¹)	3113	3213
Mg (mg kg ⁻¹)	426	486
Na (mg kg ⁻¹)	384	324
Fe (mg kg ⁻¹)	1.3	1.2
Mn (mg kg ⁻¹)	16.6	15.6
Cu (mg kg ⁻¹)	1.4	1.7
Zn (mg kg ⁻¹)	2.5	2.9

Cuadro 3.5. Composición química de los residuos empleados y aporte nutrimental al suelo durante el proceso de biofumigación

Residuo	N-total	P	K	Ca	Mg	Na	Humedad
				%			
Brócoli	4.12	0.56	2,84	1.53	0,22		88.3
Estiércol bovino	1.14	1.27	1.12	1.60	0.69	0.69	66.4
				Aportes en kg ha ⁻¹			
Brócoli	120	16.3	83.0	44	6.4		
Estiércol bovino	235	213	188	268	115	115	
Total	355	229	271	312	121.4		

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar. Cada tratamiento se repitió cuatro veces. El análisis estadístico se realizó con el software SAS. El muestreo de frutos de cada tratamiento se realizó al inicio uniforme de la cosecha y al final de cada ciclo 2012-2013 y 2013-2014. Posteriormente se conformaron tres submuestras para realizar las determinaciones correspondientes a los 0, 7 y 14 días después de la cosecha en ambas fechas de muestreo. Se tomaron los frutos de tomate en estado de madurez: verde-maduro producidos en suelo bajo condiciones de invernadero durante los meses de junio a diciembre.

Variabes evaluadas. La firmeza se determinó en la parte ecuatorial de frutos con piel, mediante un penetrómetro (Fruit Pressure Tester modelo ft 327, QA Supplies). El diámetro del puntal fue de 9 mm en la parte más ancha del cono y de 9 mm de longitud (Shewfelt, 1993). La determinación de pH se realizó por potenciometría de acuerdo con la NMX-F-317-S-1978. El pH se determinó a temperatura ambiente en el jugo de tomate de una muestra compuesta resultado de la molienda de cuatro gajos del fruto (AOAC, 1990). Los SST se midieron agregando directamente dos gotas de jugo de tomate sobre el sensor de un refractómetro modelo N1-á (Atago®, Japón) con escala de grados °Brix de 0 a 32 %. Se hizo una calibración con agua destilada antes de cada medición. El resultado se expresó en grados °Brix (AOAC, 1990). La AT se determinó en ácido cítrico, ya que es el que se encuentra en mayor proporción en el fruto maduro del tomate (NMX-F-102-S-1978 y AOAC, 1990). La acidez se estableció en una relación 1:1 jugo de tomate: agua destilada. El jugo se obtuvo al licuar un tomate cortado en cuatro trozos (AOAC, 1990) y la suspensión se colocó en un

vaso de precipitado de 100 mL, que se tituló con NaOH 0.1 N hasta la neutralización de la muestra. La cantidad de mililitros de NaOH gastados durante el proceso de neutralización de la muestra se usó para calcular la acidez titulable según la ecuación:

$$TA = [(A \times B \times C \times 100) / D]$$

Donde:

A = mL de NaOH gastados

B = Normalidad del NaOH

C = Factor de miliequivalentes de ácido cítrico

D = mL de jugo empleado

El Índice de sabor o relación sólidos solubles totales (SST)/acidez titulable (AT) se calculó de acuerdo a la propuesta De Bruyn *et al.* (1971).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

En el ciclo 2012-2013 con el tratamiento SNRCID el rendimiento máximo de tomate fue de 28.37 y 27.98 kg m⁻², total y comercial, respectivamente. Los rendimientos mínimos fueron 22.46 y 22.54 kg m⁻² y 22.08 22.33 kg m⁻², total y comercial, con los tratamientos SNCBRAP y SNSCRAP respectivamente, diferencias que fueron significativas (Cuadro 3.6). El rendimiento fue afectado significativamente por los tratamientos SNCBCED, SNCBSPR, SNSCRAP y SNCBRAP que mostraron diferencia estadística (P<0,05) con el resto de los tratamientos evaluados. Además se observa que los tratamientos de SNR en combinación con las variedades presentaron un mayor rendimiento que las combinaciones de los tratamientos de SNSC y SNCB.

Las combinaciones SNCB con las variedades de tipo bola mostraron una disminución en el rendimiento con respecto al obtenido con la SNCS, no así para los tomates de tipo saladette. En los rendimientos comercial y total hubo diferencias significativas entre los tratamientos SNSCRAP, SNCBRAP, SNCBCED y SNCBSPR respecto al resto de los tratamientos. Las diferencias en rendimiento entre los tres tratamientos SNR, SNCB y SNCS fueron muy pequeña, lo que representa una interesante oportunidad para reducir los costos del sistema de producción de tomate bajo condiciones de invernadero plantados directamente en el suelo.

Cuadro 3.6. Rendimientos de fruto de tomate para el ciclo 2012-2013

Tratamientos	Rendimiento total	Rendimiento comercial
	kg m ⁻²	
SNCBCID ^Z	26.74 abc†	26.44 ab
SNRCID	28.37 a	27.98 a
SNSC CID	26.15 abcd	25.94 abc
SNCBRAP	22.46 d	22.08 c
SNRRAP	24.89abcd	24.45 abc
SNSCRAP	22.54 d	22.33 bc
SNCBCED	23.83 bcd	22.82 bc
SNRCED	26.46 abcd	25.65 abc
SNSCCED	25.74 abcd	24.79 abc
SNCBSPR	23.18 cd	22.51 bc
SNRSPR	27.23 ab	26.64 ab
SNSCSPR	26.00 abcd	25.03 abc
DMS	4.03	4.34
CV%	6.42	7.07

†: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey (P ≤ 0.05); ^ZSNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid, SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: Solución racional Cedral; SNSCCED: Solución Steiner completa Cedral, SNCBSPR; solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

. Por otro lado, la variedad que presentó un mejor comportamiento en el rendimiento fue Cid, mientras que Raptor fue la variedad que menor rendimiento presentó con respecto a las demás. Para el ciclo 2013-2014 se observó diferencias significativas (P<0,05) en rendimiento entre SNCBRAP, SNSCRAP, SNCBANI y SNCBRAJ con el resto de los tratamientos. Se observó una tendencia clara de las combinaciones de SNCB con las variedades Cid, Raptor, Anfal y Rafaelo las cuales mostraron una disminución en el rendimiento con respecto a las combinaciones de SNSC y SNR (Cuadro 3.7).

Cuadro 3.7. Rendimientos de fruto de tomate por tratamiento para el ciclo 2013-2014

Tratamientos	Rendimiento total	Rendimiento comercial
	kg m ⁻²	
SNCBCID ^Z	23.54 abc†	23.20 abc
SNRCID	27.63 a	27.15 a
SNSC CID	25.59 abc	25.11 abc
SNCBRAP	23.18 bc	21.50 c
SNRRAP	23.58abc	22.41 bc
SNSCRAP	22.67 c	21.95 c
SNCBANI	23.13 bc	22.62 bc
SNRANI	24.88 abc	24.25 abc
SNSCANI	24.56 abc	23.09 abc
SNCBRAAF	22.02 c	22.89 abc
SNRRAF	24.83 abc	24.10 abc
SNSCRAF	26.96 ab	26.43 ab
DMS	4.12	4.40
CV%	6.81	7.47

†: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba deTukey (P ≤ 0.05); ^ZSNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid, SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: Solución racional Cedral; SNSCCED: Solución Steiner completa Cedral, SNCBSPR; solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

El rendimiento comercial para el ciclo 2013–2014 en los tratamientos SNCBRAP, SNRRAP, SNSCRAP y SNCBANI fue significativamente diferente (P<0,05) con el resto de los tratamientos, aunque las diferencias entre los tres tratamientos fueron pequeñas. El tratamiento SNCS no superó en rendimiento al tratamiento SNR y solo superó al tratamiento SNCB con una leve diferencia. Los resultados de este ciclo mostraron que hay oportunidad para ahorrar en la aplicación de fertilizantes. En el caso del tratamiento de SNCB se observó que el tratamiento complementario con la solución nutritiva logro satisfacer la demanda nutrimental del cultivo sin grandes limitaciones en el rendimiento por lo que puede ser una alternativa para la disminución de la fertilización convencional. Lo anterior es congruente con lo propuesto por Capulín *et al.* (2005, 2007). Los

resultados logrados con SNCB fueron similares a los obtenidos con SNSC y SNR. Esto significa que el tratamiento complementario cubre las necesidades del cultivo. Esto es contradictorio a lo reportado por algunos autores que compararon tratamientos de fertilización mineral y orgánica, estos últimos produjeron una disminución con respecto a la fertilización convencional (Betiol *et al.*, 2004, Márquez y Cano 2004; Heeb *et al.*, 2005). En el segundo ciclo de producción, la variedad Cid presentó el mejor rendimiento y el más bajo el híbrido Raptor. Estos resultados permiten concluir que no existe diferencia en el rendimiento al aplicar altas concentraciones de sales fertilizantes o el uso racional de los mismos. Efectos similares fueron reportados por Morard *et al.* (2003) quienes evaluaron diferentes concentraciones de la solución nutritiva (CE de 2 y 0.35 dS m⁻¹) donde no hubo efecto sobre el crecimiento y la nutrición mineral de las plantas hasta la etapa de floración, presentando un consumo de lujo en el tratamiento con 2 meq. D'Amico *et al.* (2003) reportaron que existe incremento en la calidad de fruto al incrementar el aporte de sales en la solución nutritiva, sin embargo esto ocurre en detrimento de la producción. Similares efectos se encontraron en albahaca al modificar la CE de las soluciones en rangos de 1.5, 3.0 y 4.5 dS m⁻¹. En estos casos la acumulación de biomasa se vio favorecida con la conductividad de 1.5 dS m⁻¹, (Carrasco *et al.*, 2007). Sainju *et al.* (2000a, 2000 b) observaron que 90 kg ha⁻¹ de N pueden producir el mismo rendimiento de tomate y captación de N que 180 kg ha⁻¹ de N presentando un mayor rendimiento, peso de la materia seca, y captación de N que con 0 kg ha⁻¹ de N.

Calibre del fruto

En los Cuadros 3.8. y 3.9. Se presentan los resultados de calibre del fruto de los dos ciclos evaluados. Esta variable de calidad, muy importante en el tema comercial, no fue muy diferente entre los tratamientos evaluados. En el ciclo 2012-2013 sólo se presentaron diferencias significativas (P<0.05) en el tamaño de los frutos entre los tratamientos SNCBCED y SNCBSPR. Algo similar ocurrió con el porcentaje de frutos extra en el tratamiento SNSCCID donde el calibre de fruto fue significativamente mayor que en el resto de los tratamientos. En el ciclo 2013-2014 sólo el porcentaje de frutos chicos y rezaga resultó afectado por el tipo de solución nutritiva.

La variedad Raptor presentó un 10% de frutos extra grandes en comparación con el resto de las variedades durante ciclo 2013-2014. Pero en el tratamiento SNCS se redujo el calibre de fruto y hubo una disminución en el peso y número de frutos al incrementar la CE de la solución nutritiva. Resultados similares fueron reportados por Goykovic y Saavedra (2007) y Chrétien *et al.* (2000). Estos autores observaron disminución en el tamaño de la fruta al elevar la CE de 2000 a 4600 µS

cm⁻¹, pero no hubo diferencias en rendimiento. Nichols *et al.* (1994) demostraron que la salinidad tiene influencia en el tamaño de frutos, observaron que, a medida que aumentó la salinidad en la solución, hubo disminución en el tamaño y número de frutos por planta.

Cuadro 3.8 Porcentaje de frutos de tomate por categoría para el ciclo 2012-2013

Tratamientos	Fruto	Fruto	Fruto	Fruto	Fruto
	chico	mediano	grande	extra	rezaga
	%				
SNCBCID ^Z	18.55 ab†	20.86 a	29.78 a	21.86 a	1.12 a
SNRCID	20.84 ab	20.10 a	26.71 a	26.42 ab	0.85 a
SNSC CID	27.11 a	28.03 a	23.07 a	15.15 b	1.40 a
SNCBRAP	19.75 ab	17.22 a	31.87 a	27.41 ab	1.61 a
SNRRAP	13.99 ab	19.63 a	23.66 a	37.45 a	1.79 a
SNSCRAP	27.76 a	16.53 a	26.06 a	22.18 a	0.98 a
SNCBCED	5.72 b	24.20 a	31.16 a	20.97 a	4.23 a
SNRCED	11.77 ab	27.81 a	26.22 a	21.92 a	3.09 a
SNSCCED	10.76 ab	29.22 a	30.76 a	16.32 ab	3.71 a
SNCBSPR	7.57 b	23.33 a	23.48 a	18.48 ab	2.83 a
SNRSPR	12.34 ab	28.39 a	24.14 a	24.60 ab	2.13 a
SNSCSPR	12.34 ab	28.64 a	23.66 a	18.63 ab	3.72 a
DMS	17.24	12.97	16.38	21.73	5.80
CV%	43.83	22.08	24.70	38.70	102.01

†: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey (P ≤ 0.05);

^ZSNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid, SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: Solución racional Cedral; SNSCCED: Solución Steiner completa Cedral, SNCBSPR: solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

Cuadro 3.9. Porcentaje de frutos de tomate por categoría para el ciclo 2013-2014

Tratamientos	Fruto chico	Fruto mediano	Fruto grande	Fruto extra	Fruto rezaga
SNCBCID ^Z	8.04 b†	16.47 a	50.77 a	23.17 a	1.54 b
SNRCID	12.56 ab	16.20 a	53.67 a	15.81 a	1.74b
SNSC CID	13.95 ab	14.79 a	53.12 a	16.09 a	2.03 b
SNCBRAP	12.96 ab	9.55 a	49.10 a	26.02 a	2.34 ab
SNRRAP	13.84 ab	10.65 a	38.94 a	29.21 a	4.96 ab
SNSCRAP	10.79 ab	14.70 a	41.51 a	29.85 a	4.14 ab
SNCBANI	12.38 ab	17.47 a	51.46 a	23.17 a	2.17 ab
SNRANI	19.26 a	17.63 a	45.92 a	14.67 a	2.50 ab
SNSCANI	17.29 ab	17.00 a	38.04 a	20.50 a	5.90 a
SNCBRAAF	18.64 a	16.10 a	40.33 a	14.87 a	1.29 b
SNRRAF	19.48 a	15.84 a	45.44 a	15.06 a	2.97 ab
SNSCRAF	20.76 a	18.31 a	43.22 a	15.71 a	1.98 b
DMS	10.35	12.62	16.43	16.31	3.88
CV%	27.79	33.02	14.40	33.19	57.45

†: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba deTukey (P £ 0.05)

^Z SNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid, SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: Solución racional Cedral; SNSCCED: Solución Steiner completa Cedral, SNCBSPR; solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

Firmeza.

La firmeza de los frutos se muestra en los Cuadros 3.10. y 3.11., para ambos ciclos. La resistencia a la penetración o firmeza de los frutos de tomate por efecto del tipos de solución nutritiva sólo presentó diferencias significativa (P<0,05) en los días 0 del muestreo inicial y final del ciclo 2012-2013, sobresaliendo las combinaciones de SNRCID, SNCBRAP y SNRSPR para el día 0 del muestreo inicial. Mientras que para el día 0 del muestreo final SNSCRAP y SNCBSPR presentaron diferencias estadísticas con respecto al resto de los tratamientos.

Cuadro 3.10. Firmeza del fruto de tomate ($N\ mm^{-1}$) a 0, 7 y 14 días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Ciclo 2012-2013

Tratamientos	Inicial			Final		
	0	7	14	0	7	14
	$N.mm^{-1}$					
SNCBCID	11.54 bc†	16.68 a	16.44 a	10.58 ab	16.68 a	20.58 a
SNRCID	13.01 abc	13.94 a	15.66 a	11.05 ab	13.94 a	19.78 a
SNSCCID	11.76 bc	10.02 a	17.19 a	11.27 ab	10.02 a	17.81 a
SNCBRAP	19.01 a	13.84 a	13.59 a	18.15 a	13.84 a	20.04 a
SNRRAP	10.87 bc	11.36 a	16.92 a	12.17 ab	11.36 a	19.80 a
SNSCRAP	9.06 c	13.84 a	12.42 a	9.28 b	15.87 a	18.55 a
SNCBCED	11.41 bc	11.98 a	13.38 a	10.58 ab	11.71 a	15.37 a
SNRCED	11.09 bc	15.53 a	13.91 a	11.68 ab	15.53 a	18.50 a
SNSCCED	10.63 bc	18.35 a	14.59 a	12.29 ab	18.35 a	17.73 a
SNCBSPR	9.04 c	13.57 a	16.32 a	09.64 b	13.84 a	22.25 a
SNRSPR	15.75 ab	12.32 a	16.27 a	15.75 ab	12.32 a	17.34 a
SNSCSPR	12.07 bc	18.35 a	17.39 a	13.84 ab	18.35 a	16.31 a
DMS	6.42	13.96	17.72	8.14	20 00	8.34
CV%	13.13	25.19	28.59	16.64	34.58	11.06

†: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$);

‡ SNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid, SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: Solución racional Cedral; SNSCCED: Solución Steiner completa Cedral, SNCBSPR; solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

En el ciclo 2013 – 2014 sólo hubo diferencias estadísticas significativa ($P < 0,05$) en el día 7 después de cosecha en el tratamiento de SNCBANI con respecto al resto de los tratamientos. Por lo anterior se puede concluir que no existe un efecto importante sobre la variable de firmeza por parte del tipo de solución nutritiva empleada con lo que se pone en entredicho la creencia que el incrementar las cantidades de nutrientes aplicados logra frutos con mayor grado de firmeza.

Cuadro 11. Firmeza del fruto de tomate, (N.mm⁻¹) a 0, 7 y 14 días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Ciclo. 2013-2014

Tratamientos	Inicial			Final		
	0	7	14	0	7	14
	N.mm ⁻¹					
SNCBCID	9.94 a†	5.21 a	7.69 a	9.68 a	10.29 a	10.42 a
SNRCID	8.20 a	7.13 ab	8.33 a	9.57 a	8.41 a	8.37 a
SNSC CID	9.87 a	10.09 a	6.17 a	9.89 a	7.98 a	8.15 a
SNCBRAP	9.04 a	7.08 ab	5.66 a	10.25 a	10.84 a	8.67 a
SNRRAP	6.59 a	7.00 ab	10.09 a	8.27 a	11.30 a	9.24 a
SNSCRAP	7.55 a	7.25 ab	7.37 a	11.94 a	8.48 a	10.82 a
SNCBANI	11.31 a	4.94 b	6.32 a	9.68 a	8.82 a	6.14 a
SNRANI	8.91 a	5.83ab	5.53 a	10.35 a	10.11 a	8.72 a
SNSCANI	9.14 a	8.13 ab	10.80 a	9.39 a	12.25 a	7.41 a
SNCBRAFF	6.59 a	6.19 ab	5.66 a	6.68 a	7.38 a	6.30 a
SNRRRAF	6.59 a	6.00 ab	6.56 a	9.63 a	9.06 a	6.15 a
SNSCRAF	5.80 a	6.19 ab	5.68 a	9.53 a	8.54 a	8.51 a
DMS	9.67	5.07	8.7	5.88	5.38	7.08
CV%	20.73	18.53	29.94	21.02	16.16	28.65

†: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey (P ≤ 0.05);
 ‡ SNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid, SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: Solución racional Cedral; SNSCCED: Solución Steiner completa Cedral, SNCBSPR; solución con biofumigación Springel; SNRSRPR: solución racional Springel y SNSCSRPR: solución Steiner completa Springel.

Algunos autores han observado que la firmeza del fruto de tomate se mejora con el aumento de los niveles de nutrientes en la zona de la raíz y otros autores reportan que la firmeza del fruto se disminuye por efecto de la salinidad (Krauss *et al.*, 2007; Passam *et al.*, 2007). Los resultados generados por el presente trabajo permiten concluir que la firmeza óptima del fruto se alcanza manejando de forma balanceada la nutrición haciendo un uso racional de los fertilizantes y aplicándolos conforme lo requiere la demanda de la planta. Lo que hace posible no sólo alcanzar la firmeza deseada sino también reducir la aplicación de fertilizantes con lo que se disminuyen los costos de operación y el impacto al medio ambiente.

pH

El pH del jugo de tomate al igual que los grados °Brix sólo fue significativamente diferente ($P < 0,05$) el día 0 de cosecha en los muestreos inicial y final del ciclo 2012-2013 (Cuadro 3.12.).

Cuadro 3.12. pH del fruto de tomate, a 0, 7 y 14 días después de cosecha en tres tratamientos de fertilización y cuatro variedades.Ciclo.2012-2013

Tratamientos	Inicial			Final		
	0	7	14	0	7	14
	PH					
SNCBCID	4.73 ab†	4.46 a	4.36 a	4.50 a	4.62 a	4.55 a
SNRCID	4.74 a	4.45 a	4.32 a	4.50 a	4.57 a	4,47 a
SNSC CID	4.67 cd	4.50 a	4.37 a	4.38 ab	4.62 a	4.53 a
SNCBRAP	4.73 ab	4.48 a	4.41 a	4.44 ab	4.52 a	4.40 a
SNRRAP	4.74 ab	4.47 a	4.33 a	4.48 a	4.59 a	4.50 a
SNSCRAP	4.63 d	4.48 a	4.36 a	4.33 ab	4.53 a	4.50 a
SNCBCED	4.72 ab	4.40 a	4.37 a	4.51 a	4.39 a	4.50 a
SNRCED	4.72 ab	4.48 a	4.40 a	4.48 a	4.47 a	4.40 a
SNSCCED	4.63 d	4.39 a	4.35 a	4.31 ab	4.41 a	4.40 a
SNCBSPR	4.75 a	4.43 a	4.36 a	4.42 ab	4.54 a	4.38 a
SNRSPR	4.69 bc	4.48 a	4.34 a	4.41 ab	4.61 a	4.35 a
SNSCSPR	4.62 d	4.36 a	4.37 a	4.22 b	4.45 a	4.31.a
DMS	0.05	0.18	0.25	0.24	0.31	0.27
CV%	0.26	1.00	1.44	1.39	1.70	1.51

†: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba deTukey (P £ 0.05);

² SNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid, SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: Solución racional Cedral; SNSCCED: Solución Steiner completa Cedral, SNCBSPR; solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

El tratamiento de SNSC presentó un promedio de pH más bajo que el resto de los tratamientos. Las híbridos tipo bola presentaron una ligera disminución no significativa en el pH que no se observó en las variedades tipo saladette. De igual forma en el ciclo 2013-2014 (Cuadro 3.13.), hubo diferencias significativas ($P < 0,05$) entre el tratamiento de SNSCCID con resto de los tratamientos

para el día 7 del muestreo. Mientras que para el muestreo final se observó diferencia significativa ($P < 0,05$) para el día 0 entre SNCBRAP, SNSCRAP, SNRANI y el resto de los tratamientos, siendo estos últimos menos ácidos. Por último en el día 14 del muestreo final los tratamientos de SNCBCID, SNSCRAP y SNCBANI resultaron significativamente diferentes del resto de los tratamientos.

Cuadro 3.13. pH del fruto de tomate a 0, 7 y 14 días después de cosecha en tres tratamientos de fertilización y cuatro variedades. Ciclo. 2013-2014

Tratamientos	Inicial			Final		
	0	7	14	0	7	14
	pH					
SNCBCID	4.22 a†	5.37 ab	4.45 a	44.03 abc	4.30 a	4.19 dc
SNRCID	4.32 a	5.32 ab	4.50 a	4.08 ab	4.28 a	4.37 a
SNSC CID	4.30 a	5.22 b	4.50 a	3.98 abc	4.30 a	4.25 abcd
SNCBRAP	4.32 a	5.32 ab	4.42 a	3.91 c	4.21 a	4.25 abcd
SNRRAP	4.55 a	5.32 a	4.45 a	4.01 abc	4.27 a	4.30 abc
SNSCRAP	4.32 a	5.35 ab	4.55 a	3.96 bc	4.17 a	4.14 d
SNCBANI	4.22 a	5.32 ab	4.52 a	4.00 abc	4.25 a	4.23 bcd
SNRANI	4.42 a	5.27 ab	4.45 a	3.96 bc	4.24 a	4.30 abc
SNSCANI	4.25 a	5.27 ab	4.50 a	4.00 abc	4.34 a	4.38 a
SNCBRAAF	4.27 a	5.45 a	4.52 a	4.11 a	4.25 a	4.35 ab
SNRRAF	4.27 a	5.35 ab	4.45 a	4.03 abc	4.23 a	4.30 abc
SNSCRAF	4.40 a	5.45 a	4.52 a	4.11 a	4.28 a	4.31 abc
DMS	0.53	0.19	0.21	0.14	0.19	0.14
CV%	3.07	0.88	1.18	1.23	1.55	1.12

†: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$);

‡ SNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid, SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: Solución racional Cedral; SNSCCED: Solución Steiner completa Cedral, SNCBSPR; solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

Resultados similares fueron reportados por De Pascale *et al.* (2003) quienes evaluaron un amplio intervalo de conductividad eléctrica (0.5, 1 y 15.7 dSm⁻¹) y no encontraron efectos significativos en

el pH. Ciruelos-Calvo *et al.* (2008) y Silva *et al.* (2004) especularon que frutos que tienden a ser ácidos (pH < de 4.0) tienen la posibilidad de ser menos susceptibles al ataque de patógenos. En nuestro trabajo se encontraron valores de pH de 3.3 a 5.5, similares a los reportados por otros investigadores de 4.0 hasta 5.0 (Rinaldi *et al.*, 2013; Juárez *et al.*, 2009; Madrid *et al.*, 2009; Rodríguez de Souza *et al.*, 2010; Ferreira *et al.*, 2006).

Sólidos solubles totales (SST)

En el ciclo 2012-2013 sólo se encontró diferencia significativa ($P < 0,05$) entre los frutos de los tratamientos de fertilización SNCBCID y SNCBSPR y SNSCCED, SNRRAP y SNSCRAP para el día 14 del muestreo inicial (Cuadro 3.14). Mientras que para el muestreo de 0 días después de cosecha para el muestreo final se encontró diferencia entre SNRRAP y SNSCSPR con SNCBCID (Cuadro 3.14). En el ciclo 2013-2014 se observó que en el día 0 del muestreo inicial había diferencia significativa ($P < 0,05$) entre SNCBCID, SNSCCID, SCBRAP, SNCBANI, SNSCANI, SNCBRAAF y SNCSRAF con los tratamientos de SNR combinado con las cuatro variedades evaluadas, el día 7 días después de cosecha los tratamientos SNCBCID y SNCBANI diferían del resto. El día 14 después de la cosecha se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en SNCBCID, SNSCCID, SNCBRAAF, SNSCANI, SNCBRAAF, SNRRRAF. Por último, el día 0 del muestreo final no se encontraron diferencias entre los tratamientos, mientras que en el día 7 hubo diferencias estadísticas entre SNCBCID, SNSCCID, SNCBANI y SNSCRAF y el resto de los tratamientos. En el día 14 del muestreo final también se observaron diferencias ($P < 0,05$) de SNCBCID y SNCBANI y el resto de los tratamientos. Los resultados señalan que se pueden tener más SST realizando un uso racional de los fertilizantes (Cuadro 3.15.).

El rango en grados °Brix medidos en el fruto de tomate en todos los tratamientos, varió entre 4.5 – 5.5 °Brix valores reportados por Aguayo y Artés (2004) y Ferreira *et al.* (2010), estos valores fueron considerados óptimos en cuanto a calidad para los frutos de tomate por los mismos autores. Binoy *et al.* (2004) reportaron grados °Brix ligeramente superiores (5 a 7) en 12 híbridos de tomate. Por todo lo anterior podemos concluir que no existe efecto de la fertilización sobre la cantidad de SST. Resultados similares obtuvieron (Rodríguez *et al.*, 2008; Márquez y Cano, 2004; Ortega *et al.*, 2003).

Cuadro 3.14. Sólidos solubles totales en frutos de tomate a 0, 7 y 14 días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Ciclo. 2012-2013

Tratamientos	Inicial			Final		
	0	7	14	0	7	14
	Porcentaje de solidos solubles totales					
SNCBCID ^Z	4.72 a†	4.77 a	4.85 b	4.20 b	4.37 a	4.55 a
SNRCID	4.95 a	4.87 a	5.02 ab	4.92 ab	5.05 a	5.52 a
SNSCCID	5.02 a	5.22 a	5.17 ab	4.72 ab	5.20 a	4.82 a
SNCBRAP	5.35 a	5.50 a	5.35 ab	4.95 ab	5.22 a	5.60 a
SNRRAP	5.37 a	5.17 a	5.65 a	5.27 a	5.30 a	5.50 a
SNSCRAP	5.07 a	5.27 a	5.65 a	5.55 ab	5.32 a	5.55 a
SNCBCED	5.05 a	4.97 a	5.02 ab	4.67 ab	4.72 a	4.70 a
SNRCED	5.02 a	5.12 a	5.27 ab	5.20 ab	4.95 a	5.20 a
SNSCCED	5.32 a	5.12 a	5.62 a	4.97 ab	4.97 a	5.25 a
SNCBSPR	5.00 a	4.95 a	4.77 b	4.65 ab	4.62 a	4.55 a
SNRSPR	5.02 a	5.35 a	5.10 ab	4.60 ab	4.65 a	5.35 a
SNSCSPR	5.05 a	5.02 a	5.12 ab	5.82 a	4.47 a	5.25 a
DMS	0.21	1.04	0.69	1.30	1.27	2.07
CV%	1.18	5.04	3.29	6.48	6.42	9.95

†: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey (P ≤ 0.05);

^Z SNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid, SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: Solución racional Cedral; SNSCCED: Solución Steiner completa Cedral, SNCBSPR; solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

Cuadro 3.15. Sólidos solubles totales en frutos de tomate a 0, 7 y 14 días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Ciclo.2013-2014

Tratamientos	Inicial			Final		
	0	7	14	0	7	14
Porcentaje de solidos solubles totales						
SNCBCID	4.55 de†	4.35 c	4.90 bc	3.98 a	3.98 c	4.03 c
SNRCID	4.92 abcd	4.75 abc	4.95 abc	4.55 a	4.26 abc	4.38 abc
SNSCCID	4.62 cde	4.52 abc	4.90 bc	4.01 a	4.03 bc	4.21 abc
SNCBRAP	4.77 bcde	4.85 abc	4.90 bc	4.40 a	4.80 ab	4.85 ab
SNRRAP	5.35 a	5.15 a	5.00 ab	4.41 a	4.71 abc	4.90 a
SNSCRAP	5.20 ab	5.15 a	5.05 a	4.55 a	5.03 a	4.66 abc
SNCBANI	4.47 e	4.45 bc	4.92 abc	3.96 a	4.15 bc	4,06 bc
SNRANI	5.00 abc	5.05 ab	5.00 ab	4.38 a	4.41 abc	4.16 abc
SNSCANI	4.75 cde	5.05 ab	4.87 bc	4.11 a	4.66 abc	4.13 abc
SNCBRAE	4.45 e	4.75 abc	4.82 c	4.13 a	4.33 abc	4.40 abc
SNRRAF	4.95 abcd	5.00 abc	4.90 bc	4.35 a	4.31 abc	4.60 abc
SNSCRAF	4.82 bcde	4.85 abc	4.95 abc	4.26 a	4.20 bc	4.26 abc
DMS	0.42	0.66	0.13	0.68	0.78	0.78
CV%	2.98	4.62	0.95	5.04	5.97	6.02

†: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey (P ≤ 0.05);

‡ SNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid, SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: Solución racional Cedral; SNSCCED: Solución Steiner completa Cedral, SNCBSPR; solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

Acidez titulable (AT)

En el ciclo 2012 – 2013, (Cuadro 3.16) se encontró que la acidez titulable de los frutos de tomate a los días 0, 7 y 14 después del muestro inicial mostraron diferencia significativa (P<0,05) entre los tratamientos SNCBCID, SNRCID, SNSCCID y el resto de los tratamientos, lo que indica que la variedad Cid mostro menor acidez titulable que el resto de la variedades evaluadas, en este ciclo. Siete y 14 días después del muestreo final no se observaron diferencias significativas (P<0,05).

Cuadro 3.16. Acidez titulable en frutos de tomate a los 0, 7 y días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Ciclo. 2012-2013

Tratamientos	Inicial			Final		
	0	7	14	0	7	14
	Porcentaje de ac. cítrico					
SNCBCID	0.29 c†	0.26 d	0.26 c	0.29 c	0.37 a	0.27 a
SNRCID	0.32 bc	0.28 cd	0.29 bc	0.35 c	0.36 a	0.35 a
SNSCCID	0.34 bc	0.32 bcd	0.30 bc	0.33 c	0.31 a	0.32 a
SNCBRAP	0.50 a	0.49 a	0.39 ab	0.36 c	0.40 a	0.32 a
SNRRAP	0.43 abc	0.41 abc	0.36 abc	0.35 c	0.41 a	0.38 a
SNSCRAP	0.34 bc	0.37 abcd	0.36 abc	0.51 ab	0.37 a	0.35 a
SNCBCED	0.43 abc	0.40 abcd	0.42 a	0.33 c	0.40 a	0.34 a
SNRCED	0.41 abc	0.37 abcd	0.36 abc	0.38 bc	0.47 a	0.36 a
SNSCCED	0.39 abc	0.47 a	0.45 a	0.41 abc	0.51 a	0.51 a
SNCBSPR	0.40 abc	0.38 abcd	0.34 abc	0.36 c	0.38 a	0.36 a
SNRSPR	0.45 ab	0.44 ab	0.38 ab	0.36 c	0.39 a	0.33 a
SNSCSPR	0.42 abc	0.46 ab	0.36 abc	0.53 a	0.41 a	0.43 a
DMS	0.14	0.14	0.11	0.14	0.19	0.37
CV%	9.12	9.44	7.82	9.08	12.09	25.53

†: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey (P ≤ 0.05);

‡ SNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid, SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: Solución racional Cedral; SNSCCED: Solución Steiner completa Cedral, SNCBSPR; solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

En el ciclo 2013 – 2014 (Cuadro 3.17.) sólo se observó diferencia significativa (P<0,05) el día 14 después del muestreo final, entre los tratamientos SNCBCID y SNSCRAF con el resto de los tratamientos. La acidez titulable se ubicó en un rango de 0.20 a 0.50 % de ácido cítrico. Los resultados obtenidos son muy cercanos a los reportados por Binoy *et al.* (2004) quienes para 12 híbridos comerciales de tomate, encontraron un rango de 0.32 hasta 0.72 %. Mientras que Raffo *et al.* (2002) obtuvieron en frutos de tomate “cherry” ‘Naomi’ un promedio de 0.69 % de AT.

Cuadro 3.17. Acidez titulable en frutos de tomate a los 0, 7 y 14 días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Ciclo. 2013-2014

Tratamientos	Inicial			Final		
	0	7	14	0	7	14
	Porcentaje de ac. cítrico					
SNCBCID	0.37 a [†]	0.38 a	0.40 a	0.26 a	0.19 a	0.13 c
SNRCID	0.47 a	0.45 a	0.51 a	0.28 a	0.18 a	0.19 abc
SNSCCID	0.39 a	0.52 a	0.46 a	0.24 a	0.18 a	0.25 ab
SNCBRAP	0.41 a	0.48 a	0.51 a	0.29 a	0.29 a	0.28 a
SNRRAP	0.51 a	0.48 a	0.54 a	0.30 a	0.27 a	0.22 abc
SNSCRAP	0.49 a	0.52 a	0.53 a	0.29 a	0.23 a	0.24 abc
SNCBANI	0.44 a	0.51 a	0.45 a	0.27 a	0.22 a	0.24 a bc
SNRANI	0.48 a	0.47 a	0.45 a	0.30 a	0.19 a	0.24 abc
SNSCANI	0.52 a	0.48 a	0.58 a	0.27 a	0.19 a	0.24 abc
SNCBRAAF	0.48 a	0.40 a	0.47 a	0.22 a	0.26 a	0.21 abc
SNRRAF	0.40 a	0.48 a	0.47 a	0.28 a	0.16 a	0.24 abc
SNSCRAF	0.36 a	0.41 a	0.44 a	0.24 a	0.23 a	0.15 bc
DMS	0.30	0.18	0.22	0.11	0.15	0.12
CV%	16.65	9.72	11.52	14.72	22.95	18.58

[†]: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey (P ≤ 0.05);

^z SNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid, SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: Solución racional Cedral; SNSCCED: Solución Steiner completa Cedral, SNCBSPR: solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

Índice de sabor

En relación al índice de sabor se encontró diferencia significativa (P<0,05) en el ciclo 2012 – 2013 (Cuadro 3.18.) para los frutos del muestreo inicial a los 0, 7 y 14 días después de cosecha, siendo SNCBRAP, SNCBCED, SNRCED, SNRSPR y SNSCSPR diferentes al resto de los tratamientos. A los 7 días después de cosecha SNCBRAP, SNCCED presentaron diferencias significativa (P<0,05) con el resto de tratamientos. Para el día 14 después de cosecha sólo SNCBCED presentó diferencia significativa (P<0,05), mientras que para el muestreo final sólo se

presentaron diferencia significativa ($P<0,05$) para el día 7 después de cosecha, siendo los tratamientos SNRCED, SNSCCED y SNCBSPR diferentes del resto de los tratamientos.

Cuadro 3.18. Índice de sabor de frutos de tomate a los 0, 7 y 14 días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Ciclo. 2012-2013

Tratamientos	Inicial			Final		
	0	7	14	0	7	14
	Índice de sabor					
SNCBCID	16.50 a†	18.45 a	18.90 a	15.05 a	12.15ab	17.30 a
SNRCID	15.85 ab	17.35 ab	17.50 ab	13.95 a	14.30 ab	17.22 a
SNSCCID	15.00 abc	16.30 ab	17.50 ab	14.50 a	17.00 a	15.25 a
SNCBRAP	11.05 c	11.35 b	13.90 ab	14.05 a	13.30 ab	17.45 a
SNRRAP	12.50 abc	13.15 ab	15.75 ab	15.10 a	13.30 ab	15.20 a
SNSCRAP	14.95 abc	14.20 ab	15.35 ab	11.10 a	15.05 a	15.75 a
SNCBCED	11.70 bc	13.20 ab	12.05 b	14.35 a	12.30 ab	11.05 a
SNRCED	12.10 bc	14.05 ab	14.75 ab	13.65 a	10.80 b	14.55 a
SNSCCED	13.50 abc	11.10 b	12.65 ab	12.10 a	10.65 b	15.20 a
SNCBSPR	12.35 abc	13.05 ab	14.00 ab	12.80 a	13.00 b	12.55 a
SNRSPR	11.40 c	12.25 ab	14.50 ab	12.80 a	12.20 ab	16.50 a
SNSCSPR	12.05 bc	11.05 b	14.25 ab	11.25 a	11.00 ab	12.55 a
DMS	4.03	6.33	6.51	7.17	6.13	15.23
CV%	8.03	11.37	10.68	13.26	11.75	25.07

†: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$);

‡ SNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid, SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: Solución racional Cedral; SNSCCED: Solución Steiner completa Cedral, SNCBSPR; solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

...Para el ciclo 2013 – 2014 (Cuadro 3.19.) en el muestreo inicial se observó diferencia significativa ($P<0,05$) entre SNSCANI y SNSCRAF con SNCBRAFI y SNRRAFI para el día 7 solo SNSCCID con el resto de los tratamientos y para el día 14 después de cosecha SNSCANI presentó diferencia significativa ($P<0,05$) con el resto de los tratamientos.

Cuadro 3.19. Índice de sabor de frutos de tomate a los 0, 7 y 14 días después de cosecha de los tratamientos evaluados. Ciclo. 2013-2014

Tratamientos	Inicial			Final		
	0	7	14	0	7	14
	Índice de sabor					
SNCBCID	12.23 ab [†]	11.19 ab	12.09 a	15.60 a	20.54 a	15.21 bc
SNRCID	10.52 ab	10.75 ab	9.71 ab	16.34 a	23.16 a	24.11 a
SNSCCID	11.88 ab	8.79 b	10.91 ab	18.42 a	22.24 a	17.09 abc
SNCBRAP	11.61 ab	10.15 ab	10.11 ab	15.34 a	17.62 a	17.92 abc
SNRRAP	10.41 ab	10.66 ab	10.33 ab	15.02 a	17.37 a	18.15 abc
SNSCRAP	10.77 ab	10.08 ab	10.99 ab	15.93 a	18.72 a	12.69 c
SNCBANI	10.27 ab	9.07 ab	11.24 ab	15.07 a	19.20 a	17.19 abc
SNRANI	10.22 ab	11.53 ab	11.56 ab	15.49 a	22.72 a	18.70 abc
SNSCANI	9.03 b	10.44 ab	8.79 b	14.93 a	23.13 a	18.62 abc
SNCBRAAF	13.14 a	12.11 a	11.79 a	19.70 a	16.83 a	21.52 ab
SNRRAF	12.80 a	10.57 ab	11.45 ab	15.77 a	22.10 a	19.99 abc
SNSCRAF	9.53 b	12.04 a	11.61 a	18.62 a	19.01 a	18.09 abc
DMS	3.2	3.06	2.81	8.48	9.34	7.98
CV%	9.9	9.72	8.70	17.46	15.54	14.71

[†]: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey (P ≤ 0.05);

^z SNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid, SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: Solución racional Cedral; SNSCCED: Solución Steiner completa Cedral, SNCBSPR; solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

En el muestreo final solo se encontró diferencia significativa (P<0,05) entre SNCBCID y SNSCRAP con el resto de los tratamientos. Además se observa que conforme transcurren los días después del corte el valor del índice de sabor se va incrementando para cada uno de los tratamientos en ambos ciclos. Esto se debe al proceso de maduración donde se van incrementando la relación entre la SST/AT. El incremento en sólidos solubles o la reducción de la acidez titulable provoca aumento en este índice de madurez, los índices obtenidos se encontraron en un rango de 12 a 20 lo que es congruente con otros autores (Carrera *et al.*, 2008, Casierra *et al.*, 2010). Al-Yahyai *et al.* (2010) reportaron una relaciones SST/AT de 13.16 y 12.60 a salinidades de 6 y 9 dS m⁻¹.

CONCLUSION

La aplicación de diferentes estrategias de manejo de la fertilización prácticamente no tuvo efectos sobre la mayoría de los parámetros de calidad del fruto y donde se presentó un efecto significativo, estos valores se mantuvieron dentro las características adecuadas de calidad del fruto, que corresponden a las que demanda el mercado. Esto es de gran relevancia, pues significó una reducción muy importante en el uso de fertilizantes. Este trabajo abre nuevas posibilidades para reducir el suministro de fertilizantes sin deterioro de la calidad del fruto, en sus variables más significativas que son: firmeza, grados °Brix , acidez titulable y relación entre acidez titulable y sólidos totales. El impacto de reducir las dosis de fertilizante sin deterioro del rendimiento ni de la calidad del fruto, significa también la posibilidad de reducir riesgos de contaminación de los mantos acuíferos al reducir la aplicación de fertilizantes. Por otro lado es posible combinar los beneficios de la aplicación de enmiendas orgánicas y complementar los requerimientos con fertilizantes químicos obteniendo resultados similares en rendimiento y calidad de fruto.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990.** Official methods of analysis (15th Ed.). Washington, DC. USA, pp. 1141.
- Aguayo, E., F. Artés. 2004.** Elaboración de tomate mínimamente procesado en fresco. *En:* Tomates. Producción y Comercio. Ediciones de Horticultura S.L. Reus (España). Coordinado por Alicia Namesny. ISBN: 84-87729-48-7. Capítulo 11: 121-133.
- Alconada M., M. Cuellas, P. Poncetta, S. Barragán, E. Inda y A. Mitidieri .2011.** Fertirrigación en cultivo de tomate protegido: I- Nutrición nitrogenada. Efectos en el suelo y en la producción. Horticultura Argentina 30 (72) pp. 5-13.
- Al-Yahyai, R., S. Al-Ismaily, and S.A. Al-Rawahy. 2010.** Growing tomatoes under saline field conditions and the role of fertilizers. A Monograph on Management of Salt-Affected Soils and Water for Sustainable Agriculture, pp. 83-88.
- 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. Rev. Chapingo Ser. Hort. 7: 61-75.

- Baptista M.J., R.B. Souza, W. Pereira, O.A. Carrijo, M.C. Vidal, J.M. Charchar. 2006.** Solarização do solo e biofumigação no cultivo protegido de tomate. *Horticultura Brasileira*, 24: 47-52.
- Bello A., J.A. López-Pérez, L. Díaz-Viruliche. 2005.** Biofumigación y solarización como alternativas al bromuro de metilo.
- Bello A, J.A. López-Pérez, A. García-Álvarez (Eds.). 2003.** Biofumigación en Agricultura Extensiva de Regadío. *Producción Integrada de Hortícolas*. CSIC-Caja Rural de Alicante, Mundi-Prensa, Madrid, 670 pp.
- Bello A, J.A. López-Pérez, R. Sanz, M. Escuer, J. Herrero. 2000.** Biofumigation and organic amendments. *Regional Workshop on Methyl Bromide Alternatives for North Africa and Southern European Countries*, United Nations Environment Programme (UNEP), Francia, 113-141.
- Baldwin E. A., J.W., Scott, M.A. Einstein, T.M. Malundo, B.T. Carr, R.L Shewfelt and K.S. Tandon. 1998.** Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(5): 906-915.
- Baldwin E.A., M.O. Nisperos-Carriedo, M.G. Moshonas. 1991.** Quantitative analysis of flavor and other volatiles and for certain constituents of two tomato cultivars during ripening. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(2):265-269.
- Binoy G, C. Kaur, D.S. Khudiya, H.C. Kapoor. 2004.** Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry* 84: 45-51.
- Bettioli, W., R. Gini, J.A.H. Galvao, R.C. Siloto. 2004.** Organic and conventional tomato cropping systems. *Sci. Agric.* 61:253-259.
- Blanco, F. F. y M. V. Folegatti. 2008.** Doses de N e K no tomateiro sob estresse salino: III. Produção e qualidade de frutos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12:122–127.
- Capulín-Grande, J., R. Núñez-Escobar, P. Sánchez-García, A. Martínez-Garza, M. Soto-Hernández. 2005.** Producción de jitomate con estiércol líquido de bovino acidulado con ácidos orgánicos e inorgánicos. *Terra Latinoamericana*. 23: 241-247.
- Capulín-Grande, J., R. Núñez-Escobar, J. L. Aguilar-Acuña, M. Estrada-Botello, P. Sánchez-García, J.J. Mateo-Sánchez. 2007.** Uso de estiércol líquido de bovino acidulado en la producción de pimiento morrón. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13(1):5-11.

- Casierra-Posada, F., O.J. Álvarez y N. Luque-Sanabria. 2010.** Calidad de frutos en tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Rocío) producidos bajo coberturas reflectiva y plástica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4:67-80.
- Castellanos-Ramos, J.Z. y J.J. Peña-Cabriales. 1990.** Los Nitratos provenientes de la Agricultura: Una Fuente de Contaminación de los Acuíferos. *Terra*. 8(1):113-126.
- Castellanos-Ramos J. Z. 2004.** Manejo de la fertirrigación en suelo. In: *Manual de Producción Hortícola en Invernadero*. J Z Castellanos (ed.). 2a ed. INTAGRI. México, pp.103-123.
- Castellanos-Ramos J. Z.; J.L. Ojodeagua. 2009.** Manejo de la fertirrigación de tomate en suelo. In: Castellanos (coord.). *Manual de producción de tomate en invernadero*. Intagri, México, pp. 203.
- Carrasco G., P. Ramírez, H. Vogel. 2007.** Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NTF. *IDESIA* (Chile). 25(2):59-62.
- Carrera, A, D. Mark y R. Gil. 2008.** Algunas características físicas y químicas de frutos de cinco variedades de mango en condiciones de sabana del estado Monagas. *Agronomía Tropical*, ISSN 0002-192X, 58(1): 27-30.
- Chrétien, S., A. Gosselin and M. Dorais. 2000.** High electrical conductivity and radiation-based water management improve fruit quality of greenhouse tomatoes grown in rockwool. *HortScience* 35:627-631.
- Ciruelos-Calvo, A.; R. de la Torre y C. González-Ramos. 2008.** Parámetros de calidad en el tomate para industria. En: *La agricultura y la ganadería extremeña*, pp. 149-169.
- D'Amico, M.L., R. Izzo, F. Tognoni, A. Pardossi y F. Navari-Izzo. 2003.** Application of diluted sea water to soilless culture of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): Effects on plant growth, yield, fruit quality and antioxidant capacity. *Food, Agriculture and Environment (JFAE)*, 1(2)112-116.
- De Bruyn J. W., F. Garretsen, and E. Kooistra. 1971.** Variation in taste and chemical composition of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Euphytica* 20: 14-227.
- De pascale, S., A. Maggio, G. Angelino y G. Graziani. 2003.** Effects of salt stress on water relations and antioxidant activity in tomato. *Acta Horticulturae* 613:39-46.
- Del pino A., C. Repetto, C. Mori y C. Perdomo. 2008.** Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra latinoamericana*. 26:43-52.

Dorais, M., R Dorval, D. Demers, D. Micevic, G. Turcotte, X. Hao, A.P. Papadopolus, D. L. Ehert y A. Gosselin. 2000. Improving tomato fruit quality by increasing salinity: effects on ion uptake, growth and yield. *Acta Horticulturae* 511:185-196.

Fernández P., J. Pascual, A. Lacasa. 2008. Aspectos físicos, químicos y medioambientales de la biosolarización en invernaderos de pimiento. VIII Congreso SEAE. 17-20 Sept., Bullas, Murcia, 97 p.

Ferreira-Rodríguez S. M., D. Quadros-Augusto., E.N. Karkle-Lazzari, J.J. Lima, L. Tullio-Tomczak y R.J. Freitas-Sossela. 2010. Qualidade pós-colheita do tomate de mesa convencional e orgânico. *Food Science and Technology* (Campinas), 30(4):858-869. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612010000400004>.

Flores-González., D., M. Sandoval-Villa, P. Sánchez-García, P. Ramírez V. y M.N. Rodríguez G. 2011. Yield of native of tomato as affected by electrical conductivity of the nutrient solution In: II international symposium on soilless culture and hydroponics. International society for horticultural science. *Acta horticulturae* (eds.). Puebla, México, pp. 29.

Franco-Navarro F., E. Zavaleta-Mejía, I. Cid del Prado Vera y P. Sánchez-García. 2002. Aplicación de enmiendas orgánicas para el manejo de *Nacobbus aberrans* en tomate. *Nematropica* 32:113-124.

Gallardo M, R.B. Thompson, J.S. Rodríguez, F. Rodríguez, M.D. Fernández, J.A. Sánchez, J.J. Magán. 2009. Simulation of transpiration, drainage, N uptake, nitrate leaching, and N uptake concentration in tomato grown in open substrate. *Agric. Water Manag.* 96:1773-1784.

Goykovic-Cortes, V. y G. Saavedra-Del Real. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo de tomate y práctica agronómica de su manejo. *IDESIA* 25:47-58.

Heeb A, B. Lundegardh, T. Ericsson, G.P. Savage. 2005. Nitrogen form affects yield taste of tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* 85:1405-1414.

Incerti, A., F. Navari-Izzo, A. Pardossi, A. Mensuali y R. Izzo. 2006. Effect of sea water on biochemical properties of fruit on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) genotypes differing for ethylene production. *J. Sci. Food Agric.* 87:2528-2537.

Juárez-López P., R. Castro-Brindis, T. Colinas-León, P. Ramírez-Vallejo, M. Sandoval-Villa, D. W. Reed, L. Cisneros-Zevallos y S. King. 2009. Evaluación de calidad de frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15:5-9.

- Krauss S., W. H. Schnitzler, J. Grassmann, M. Voitke. 2007.** Fruit quality characteristics of tomatoes at different EC values in a simplified recirculating soilless system. *Acta Hort.* 747:457-463.
- Lara-Herrera, A. 1999.** Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17:221-229.
- Lin, W.C., G.S. Block. 1999.** The effects of NaCl addition and macronutrient concentration on fruit quality and flavor volatiles of greenhouse tomatoes. *Acta Hort.* 481:487-493.
- Madrid R., E.M. Barba, A. Sánchez, A. Lino-García. 2009.** Effects of organic fertilizers and irrigation level on physical and chemical quality of industrial tomato fruit (var. Nautilus). *J Sci Food Agric.* 89: 2608–2615. DOI: 10.1002/jsfa.3763.
- Márquez-Hernández C., P. Cano-Ríos. 2004.** Producción de tomate orgánico bajo invernadero. In: 2do. Simposium Internacional de Producción de Cultivos en Invernadero. C Leal Ch, J A G Garza (eds.). 20 y 21 de mayo. Monterrey, NL, Fundación UANL y Facultad de Agronomía, UANL. pp:1-11.
- Maas, E.V. y G.D. Hoffman. 1977.** Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of the irrigation and Drainage Division, ASCE* 103(2):115-134.
- Morard P., E. Caumes y J. Silvestre. 2003.** Influence de la concentration de la solution nutritive sur la croissance et la nutrition minérale de la tomate. *Can. J. Plant Sci.* 299:304.
- Nichols, A.M., K.J. Fisher, L.S. Morgan y A. Simon. 1994.** Osmotic stress yield and quality of hydroponic tomatoes. *Acta Horticulturae* 361: 302-311.
- Ortega-Farías S., B. J. Leyton, H. Valdés, H. Paillán. 2003.** Efecto de cuatro láminas de agua sobre el rendimiento y calidad de tomate de invernadero producido en primavera verano. *Agric. Téc. (Chile)* 63:394-402.
- Pascual J.A., E. Lloret, D. Mercader, P. Fernández, A. Lacasa. 2008.** Implicaciones medioambientales de la biosolarización en cuanto a la lixiviación de nitratos. Estudios sobre columnas de suelo inalteradas. VIII Congreso SEAE. 17-20 sept. 2008, Bullas, Murcia, 97 p.
- Passam, H. C., I.C. Karapanos, P. J. Bebeli, D. Savvas. 2007.** A Review of recent research on tomato Nutrition, Breeding and Post-Harvest Technology with Reference to Fruit Quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 1(1): 1-21.
- Quesada-Roldan G. y F. Bertsch-Hernández. 2012.** Fertirriego en el rendimiento de híbridos de tomate producidos en invernadero. *Agronomía Mesoamericana.* 23(1):117-128.

- Raffo, A, C. Leonardi, V. Flogiano, P. Ambrosino, M. Salucci, L. Gennaro, R. Bugianesi, F. Giuffrida, G. Quaglia. 2002.** Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50: 6550–6556.
- Rinaldi, M.M., T.M. Silveira, D.M. Sathler, D. Sandri, A.F. Batista. 2013.** Calidad de poscosecha de tomate irrigado con diferentes sistemas de irrigación y calidad de agua. *Irriga Botacatu*. 18:59–72.
- Reséndez, A.M., A.P. Gil, C.M. Hernández, E.F. Chávez, N.R. Dimas, P.C. Ríos, y V.D.P.Á. Reyna,** Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 265-272.
- Rodrigues de Souza, J.A., D. Astoni-Moreira, P. Afonso-Ferreira, A. Teixeira de Matos. 2010.** Avaliação de frutos de tomate de mesa produzidos com efluente do tratamento primário da água residuária da suinocultura. *Engenharia na Agricultura, Viçosa*, 18(3):198-207.
- Sainju, U.M., B.P. Singh, S. Rahman and V.R. Reddy. 2000a.** Tillage, cover crop, and nitrogen fertilization influence tomato yield and nitrogen uptake. *HortScience*, 35:217-221.
- Sainju, U. M., B.P. Singh, S. Rahman y V.R. Reddy. 2000b.** Tomato root growth is influenced by tillage, cover cropping, and nitrogen fertilization. *HortScience*, 35:78-82.
- Shewfelt, R.L. 1993.** Measuring quality and maturity. In: *Postharvest Handling. A Systems Approach*. Academic Press Inc. (Ed.). San Diego Cal., USA. pp: 99-124.
- Silva, C.V., C.P.I. Barbosa, M.L. Paula, N.R.A. Coelho. 2004.** Obtenção e caracterização físico-química do pó de tomate. In: *Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 19. 2004, Recife. Anais. Recife: SBCTA.
- Snyder, R.G. 2006.** Guía del cultivo del tomate en invernaderos. Mississippi, US. Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Mississippi. USA. Publicación N° 2419. 24 p.
- Schnitzler, W. H. y S. Krauss. 2010.** Quality and health promoting compounds of tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under salinity. *Acta Horticulturae* 856:21:30.
- Sonneveld, C., W. Voogt. 2009.** Nutrient management in substrate systems. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Springer (Ed.). New York, pp: 277-312.
- Steiner, A.A. 1961.** A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15:134-154.

Thybo, A. K., I. E. Bechmann y K. Brandt. 2005. Integration of sensory and objective measurements of tomato quality: quantitative assessment of the effects of harvest date as compared with grown medium (soil versus rockwool), electrical conductivity, variety and maturity. *J. Sci. Food Agric.* 85:2289-2296.

Wu M, C. Kubota. 2008. Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening. *Sci. Hortic.* 116:122-129.

Zushi, K., N. Matsuzoe. 2011. Utilization of correlation network analysis to identify differences in sensory attributes and organoleptic compositions of tomato cultivars grown under salt stress. *Sci. Hortic.* 129:18-26.

CAPÍTULO 4

ESTRATEGIAS DE MANEJO NUTRICIONAL DEL TOMATE EN INVERNADERO: EFECTO SOBRE LA CALIDAD QUÍMICA DEL SUELO

NUTRITIONAL MANAGEMENT STRATEGIES IN GREENHOUSE TOMATO: EFFECT ON THE SOIL CHEMICAL QUALITY

**J. L. Mera-Hernández¹, J. Z. Castellanos-Ramos^{*2}, C.M. I. Hidalgo³, S. Villalobos-Reyes⁴, J.
D. Etchevers-Barra³**

¹ Estudiante de Maestría en Edafología, Colegio de Postgraduados, 56230. Carretera México-Texcoco km. 36.5, Estado de México, México. ² Instituto Tecnológico de Roque 38110. Km.8 Carretera Celaya-Juventino Rosas. Celaya, Guanajuato, México. ³ Colegio de Postgraduados, Edafología, Colegio de Postgraduados, 56230. Carretera México-Texcoco km. 36.5. Edo. de México, México. ⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 38010. Carretera Celaya-San Miguel de Allende. Celaya, Gto, México.

*Autor de correspondencia (javier.castellanos.ramos@gmail.com)

RESUMEN

Se presume que las actuales prácticas de fertilización de tomate bajo plástico constituyen un riesgo para la calidad o salud del suelo y significan una carga innecesaria para el productor. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tres estrategias de manejo de fertilización de tomate (*Solanum esculentum* L.) en la calidad química del suelo. El tomate se plantó directamente en el suelo, bajo cubiertas de plástico en invernadero tipo Multitunnel. El experimento se condujo durante dos ciclos de producción. Las soluciones nutritivas ensayadas fueron: (1) solución nutritiva Steiner completa (SNSC), (2) solución nutritiva racional (SNR) y (3) solución nutritiva complementaria al uso de biofumigación (SNCB). Estas soluciones nutritivas se combinaron con seis variedades de tomate. Los datos de producción, calibre del fruto y calidad del fruto se presentan en otro trabajo. La variable químicas relacionadas con la calidad química del suelo fueron: concentración de nitrógeno nítrico ($N-NO_3^-$), fosfatos ($H_2PO_4^-$), potasio (K^+) en el suelo y las características pH y CE en el extracto de pasta saturada en el suelo, medidas en periodos de 15 días. Adicionalmente se muestreó tejido vegetal a los 50 y 100 días después del trasplante para medir el contenido de N, P, K, Ca, Mg,

S, Fe, Zn y Mn. Los resultados de rendimiento y calidad de fruto se presentaron independientemente en otro escrito. El tratamiento con la SNR fue la que produjo mayor rendimiento, en comparación con SNCB y SNSC y fueron similares en los ciclos 2012-2013 y 2013-2014.

Se observó una acumulación $N-NO_3^-$, $H_2PO_4^-$ y K^+ en el suelo como consecuencia de las 3 soluciones nutritivas, independientemente de la híbrido ensayado. Ello es una clara indicación que las cantidades aplicadas, similares a las que usan la mayoría de los productores de tomate, representan una sobre fertilización que ocasionará problemas medioambientales severos en las zonas productoras, principalmente por la contaminación de los mantos freáticos con nitratos y por la eutrofización de los cuerpos de agua superficiales por las escorrentías de los invernaderos con altas cantidades de fosfatos. El tratamientos SNCB si bien mostró una alta concentración inicial de fosfato en el suelo, ésta disminuyó conforme avanzó el ciclo, constituyendo una excelente alternativa que incluye el uso de enmiendas orgánicas complementado con una solución nutritiva modificada acorde al monitoreo nutrimental de la solución del suelo y el ECP. Este trabajo marca la pauta para reducir la concentración de nutrientes en la solución nutritiva de las diversas regiones donde se utilizan estrategias de alta CE en la solución nutritiva, que se usan en la producción de tomate, bajo condiciones de suelo, con el consecuente ahorro de fertilizantes y reducción de los riesgos de contaminación ambiental y protección de la salud del suelo.

Palabras clave: (*Solanum esculentum L.*), Rendimiento, Extracto de pasta saturada, pH, Solución nutritiva, Steiner, biofumigación.

SUMMARY

It is presumed that the current practice of fertilizing tomatoes under plastic pose a risk to the soil's quality or health, and represent an unnecessary burden for the producer. The aim of this study was to evaluate the effect of three management strategies fertilization of tomato (*Solanum esculentum L.*) in chemical soil quality. Tomatoes are planted directly into the ground under plastic greenhouse covers Multitunnel type. The experiment was conducted during two cycles of production. The nutrient solutions tested were: (1) Nutrient Solution Full Steiner (SNC), (2) Nutrient Solution Rational (SNR) and (3) Nutrient Solution Complementary to the use of biofumigation (SNCB). These nutrient solutions were combined with six varieties of tomato during two seasons.

An accumulation N-NO_3^- , H_2PO_4^- and K^+ in the soil due to treatment with nutrient solutions, regardless of the test range is observed. This is a clear indication that the amounts applied, similar to those used most tomato growers represent an over-fertilization that will cause hard environmental problems in production areas, mainly by contamination of groundwater with nitrates and eutrophication of bodies of surface runoff from greenhouses with high amounts of phosphates water. SNCB treatment showed a high initial concentration of phosphate in the soil, it decreased as the cycle progressed, constituting an excellent alternative, which includes the use of organic amendments, supplemented with a nutrient solution according to the nutritional monitoring of the soil solution and the sap of the plant. This work sets the possibility for reducing nutrient concentration in the nutrient solution of several regions where high EC strategies used in the nutrient solution, used in tomato production, under soil conditions, thereby saving fertilizer and reducing the risks of environmental pollution and protection of soil health.

Keywords: (*Solanum esculentum* L.), Yield, saturated paste extract, pH, nutrient solution, Steiner, bio-fumigator.

INTRODUCCIÓN

Aunque es normal el uso de fertilizantes para cubrir el requerimiento interno de los cultivos, la tendencia general de los productores de tomate de invernadero en el país es aplicar cantidades de nutrientes mucho mayores a las requeridas (Castellanos y Ojodeagua, 2009). En general, el cultivo de tomate en México recibe altas dosis de fertilizantes, especialmente nitrogenados (Armenta *et al.*, 2001). Lo anterior eleva el costo de producción y promueven pérdidas del nutrimento por volatilización y lixiviación, lo que origina contaminación de los mantos acuíferos, como es el caso del noroeste de México (Castellanos y Peña-Cabriales, 1990). La lixiviación de NO_3^- en suelos con fertirriego es muy similar a la encontrada en suelos a los que se incorporan alrededor de 100 Mg ha^{-1} de enmiendas orgánicas (Fernández *et al.*, 2008; Pascual *et al.*, 2008). La hiperfertilización también ocasiona degradación del suelo por la acumulación de sales y disminución de su permeabilidad (Blanco y Folegatti, 2008), genera desequilibrios nutricionales y enfermedades en los cultivos (Alconada *et al.*, 2011) y en pocos años puede provocar disminución del rendimiento. Por ello se debe mantener una fertilidad del suelo compatible con la demanda del cultivo y evitar los

excesos. De ahí la importancia de mantener un constante monitoreo de la composición química de la solución del suelo y de la nutrición del cultivo a lo largo del ciclo.

El uso racional de los fertilizantes para obtener máximos rendimientos y calidad en el cultivo de tomate parece imperativo. Una opción extraordinaria de suministrar nutrimentos al suelo es la biofumigación (Baptista *et al.*, 2006). Se entiende por biofumigación a la incorporación de residuos orgánicos al suelo. Las sustancias volátiles que se producen por la biodegradación de la materia orgánica, permite controlar algunos patógenos que atacan las raíces de las plantas (Bello *et al.*;2000; Bello *et al.*, 2003). Adicionalmente esta práctica permite aumentar la fertilidad del suelo y mejorar sus propiedades físicas de manera inmediata y económica (Franco *et al.*, 2002, Del Pino *et al.*, 2008). Sin embargo, en México no se ha cuantificado el efecto de este aporte para reducir la carga de nutrientes aplicados en soluciones nutritivas al cultivo de tomate, lo que podría ayudar a controlar el excesivo uso de fertilizantes y disminuir los riesgos de contaminación de los mantos acuíferos (Castellanos y Peña-Cabriales, 1990) y del ambiente (Gallardo *et al.*, 2009).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto que tuvo el uso de tres estrategias de manejo de la fertilización: (1) Solución Nutritiva Steiner Completa (SNSC), (2) Solución Nutritiva Racional (SNR) y (3) Solución Nutritiva Complementaria al uso de Biofumigación (SNCB) en cuatro variedades de tomate (*Solanum esculentum L.*), en dos ciclos de producción, sobre los contenidos de $N-NO_3^-$, $H_2PO_4^-$, K^+ , el pH y la CE de la solución de suelo. Así como evaluar la concentración de nutrimentos en hoja de las plantas de tomate regadas con las soluciones nutritivas evaluadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en el Campo Experimental Bajío (INIFAP) en un invernadero multitunel, ubicado en Celaya (20° 15' L N y 101° 39' de L O). La temperatura media anual en la zona es 25 °C y precipitación media anual de 797 mm. El experimento se condujo durante dos años: en las estaciones de crecimiento 2012- 2013 y 2013-2014.

Descripción de los Tratamientos. Las tres soluciones nutritivas evaluadas se presentan en el Cuadro 4.1. En la solución nutritiva completa (SNC) se respetó el balance propuesto por Steiner, pero se modificaron las concentraciones sin alterar las proporciones de los nutrimentos para cubrir los requerimientos del cultivo conforme a la etapa fenológica. La solución nutritiva racional (SNR) se elaboró con base en los resultados del análisis de extracto celular de pecíolo (ECP) y pasta

saturada , y las proporciones de los nutrientes correspondieron a los requeridos por el cultivo para cada etapa fenológica, tomando como referencia los valores reportados por Castellanos y Ojodeagua (2009). La solución complementaria a la Biofumigación (SNCB) se preparó considerando el aporte nutrimental residual del proceso de biofumigación, el cual fue usado principalmente para desinfectar el suelo. Para ello se incorporaron residuos de estiércol vacuno y brócoli a razón de 1.68 y 0.3 kg m⁻². Para complementar el aporte de nutrientes requeridos por el cultivo conforme a la etapa fenológica se tomó como base los resultados del análisis de extracto celular de pecíolos (ECP) y extracto de pasta saturada de acuerdo con los valores obtenidos por Castellanos y Ojodeagua (2009).

Cuadro 4.1. Soluciones nutritivas empleadas durante los dos ciclos de producción, 012-2013 y 2013-2014

Parámetro	2012-2013			2013-2014		
	SNSC [†]	SNR	SNCB	SNSC	SNR	SNCB
CE (dS m ⁻¹)	2.6	1.7	1.5	2.7	1.6	1.2
N-NO ₃ ⁻ (me/L)	13.7	6.2	4.2	13.9	5.1	3.3
P-H ₂ PO ₄ ⁻ (me/L)	1.2	0.7	0.3	1.1	0.5	0.3
K ⁺ (me/L)	8.0	5.5	4.1	8.1	5.3	3.6
Ca ⁺² (me/L)	10.3	6.0	6.0	10.5	5.1	3.62
Mg ⁺² (me/L)	4.6	2.1	1.5	4.6	2.1	1.36
S-SO ₄ ⁻² (me/L)	7.9	4.9	4.7	8.0	5.0	3.6

[†] SNCB= Solución nutritiva con biofumigación; SNR = Solución nutritiva racional, SNSC= Solución nutritiva Steiner completa

Cuadro 4.2. Aportes por nutriente en soluciones nutritivas empleadas durante los dos ciclos de producción

Parámetros	Ciclo 2012-2013			Ciclo 2013-2014		
	SNSC	SNR	SNCB	SNSC	SNR	SNCB
CE (dS m ⁻¹)	2.6	1.7	1.5	2.7	1.6	1.2
N (Kg ha ⁻¹)	1735	733	685	1760	758	639
P (Kg ha ⁻¹)	450	243	180	455	233	151
K (Kg ha ⁻¹)	3870	2538	1735	3907	2430	1575
Ca (Kg ha ⁻¹)	2560	1240	884	2597	1172	811
Mg (Kg ha ⁻¹)	1134	532	333	1146	451	237

† SNCB= Solución nutritiva con biofumigación; SNR = Solución nutritiva racional, SNSC= Solución nutritiva Steiner completa

Las aplicaciones de las soluciones nutritivas se hicieron en dos ciclos. En el primer ciclo 2012-2013 se aplicaron a cuatro variedades de tomate: dos de tipo saladette (Cid y Raptor) y dos de bola (Cedral y Springel); y en el segundo ciclo 2013-2014, a las dos primeras más dos variedades tipo saladette (Aníbal y Rafaelo). La plantación se realizó en camas separadas a 1.8 m y dos hileras de plantas, con una distancia entre plantas de 0.40 m, con una densidad de 2.7 plantas m⁻². Previo al establecimiento del experimento se tomaron muestras de suelo de 0 a 30 cm de profundidad para determinar las características físicas y químicas del suelo (Cuadro 4.3).

Proceso de Biofumigación. Se incorporaron residuos de estiércol y brócoli a razón de 1.68 y 0.3 kg m⁻², respectivamente. Posteriormente se colocó una cinta de riego a dos hileras sobre la cama de siembra a una distancia de 0.20 m con un gasto de 4 L h⁻¹. El suelo se cubrió con un plástico transparente de espesor de 35 micras. Para saturar el suelo se regó con 1350 m³ ha⁻¹ a una profundidad de 0.40 m. El periodo de biofumigación fue de 35 días para el ciclo 2012-2013 y de 45 días para el 2013-2014. En este tiempo el suelo se desinfectó como resultado de la biofumigación producida al descomponerse los restos orgánicos (Franco *et al.*, 2002; Bello *et al.*, 2000, 2003,2005). El aporte de los distintos nutrimentos por los residuos incorporados durante el proceso de biofumigación se muestra en el Cuadro 4.4. En la primera parte se presenta la concentración porcentual en la biomasa y en la segunda parte los aportes en kg por hectárea incorporados con las dosis aplicadas.

Cuadro4.3. Características químicas y físicas de suelo de los dos ciclos de producción

Parámetro	2012-2013	2013-2014
Textura	Franca	Franca
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.10	1.11
Materia orgánica (%)	2.4	2.2
pH	7.7	7.9
N-inorgánico (mg kg ⁻¹)	4.9	3.24
P Bray 1 (mg kg ⁻¹)	71	68
K (mg kg ⁻¹)	1362	1380
Ca (mg kg ⁻¹)	3113	3213
Mg (mg kg ⁻¹)	426	486
Na (mg kg ⁻¹)	384	324
Fe (mg kg ⁻¹)	1.3	1.2
Mn (mg kg ⁻¹)	16.6	15.6
Cu (mg kg ⁻¹)	1.4	1.7
Zn (mg kg ⁻¹)	2.5	2.9

En el ciclo 2012- 2013 el trasplante se realizó el 20 de Julio del 2012 y el 18 de junio del 2013 y para el ciclo 2013-2014. Trascorrida una semana después de trasplante se comenzó a realizar la aplicación de las soluciones nutritivas, con ayuda de un tanque independiente para cada tratamiento impulsado por una bomba centrífuga. Los riegos con la solución nutritiva respectiva se realizaron en función de la humedad del suelo mediante la ayuda de tensiómetros los cuales se mantuvieron en un rango de 12 a 15 cbar de tensión, la aplicación del riego se realizó al alcanzar las lecturas superiores, dentro del rango mencionado. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar. Cada tratamiento se repitió cuatro veces. El análisis estadístico se realizó con el software SAS.

Cuadro 4.4. Composición química de los residuos empleados y aporte nutrimental al suelo durante el proceso de biofumigación

Residuo	N-total	P	K	Ca	Mg	Na	Humedad
				%			
Brócoli	4.12	0.56	2,84	1.53	0,22		88,3
Estiércol bovino	1.14	1.27	1.12	1.60	0.69	0.69	66,4
				Aportes en kg ha⁻¹			
Brócoli	120	16.3	83.0	44	6.4		
Estiércol bovino	235	213	188	268	115	115	
Total	355	229	271	312	121.4		

Variabes evaluadas: La relación de cationes, aniones, pH y CE de la solución del suelo se midió en el extracto de pasta saturada, obtenido a partir de la metodología propuesta en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 AS-16, el cual se obtuvo cada 15 días a partir del trasplante y hasta las 25 semanas después del trasplante. El suelo usado para preparar la pasta de saturación se tomó con una barrena entre los goteros y 10 cm de la línea de riego. En el extracto de la pasta de saturación también se usó para determinar la concentración de NO₃⁻, H₂PO₄⁻, K⁺, pH y CE. La medición de NO₃⁻, K⁺ pH y CE se realizó a mediante la técnica del electrodos sensibles al ión respectivo, con medidores portátiles Horiba/Cardy meters (Spectrum Technologies, Inc. Plainfield, IL, USA). Para el caso de H₂PO₄⁻ usó el método de colorimetría (Anderson e Ingram, 1993). El análisis foliar se realizó a los 50 y 100 DDT (días después del trasplante) con el propósito de verificar la concentración nutrimental en la biomasa como respuesta a los tratamientos de fertilización. Para esto se tomaron muestras representativas de la hoja más recientemente madura (HMRM) de cada tratamiento y se evaluaron tres repeticiones por tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSION

N-NO₃⁻ en Solución de suelo

En las Figuras 4.1. y 4.2. se presenta el contenido de N-NO₃⁻ en la solución del suelo para el ciclo 2012-2013 y 2013-2014.

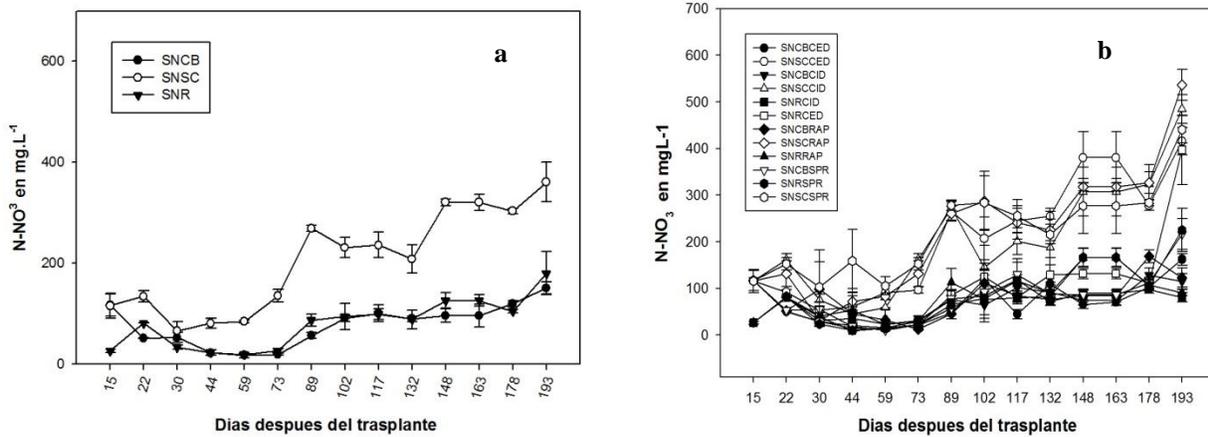


Figura. 4.1. Concentración de N-NO₃⁻ en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2012-2013

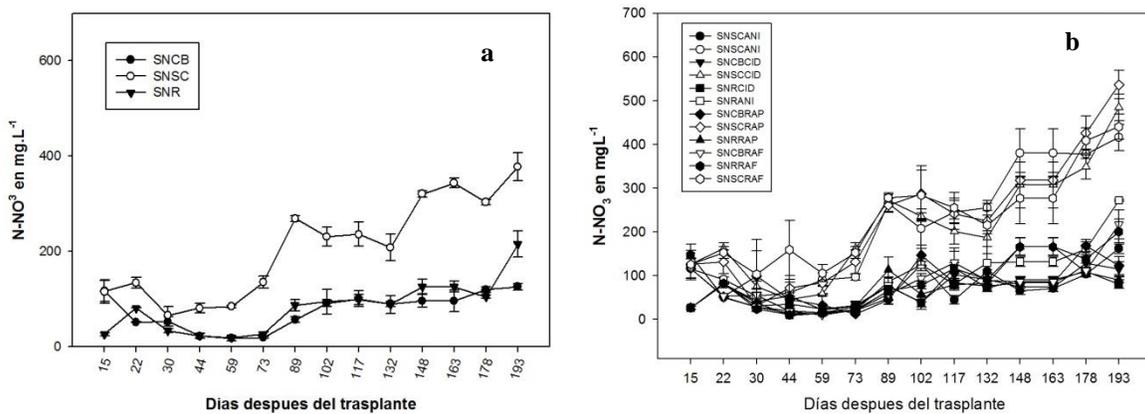


Figura. 4.2. Concentración de N-NO₃⁻ en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2013-2014

A partir de los 30 DDT (días después del trasplante), el tratamiento de SNSC presentó un incremento continuo en su concentración de N-NO₃⁻, llegando hasta casi 400 de N-NO₃⁻ ppm al

final del ciclo de producción, es decir 28 me L^{-1} de N-NO_3^- , un valor excesivamente alto en relación a la demanda del cultivo en la solución de suelo. Resultados similares fueron encontrados por Morad et al. (2003) quienes establecieron que con altas concentraciones de N-NO_3^- se induce un consumo de lujo. Los contenidos de N-NO_3^- en los tratamientos SNR Y SNCB mostraron entre ellos una concentración similar y dentro de un rango de 100-150 ppm, es decir de 7 a 10 me L^{-1} , un valor muy cercano a la concentración óptima de este nutriente en la solución de suelo, según lo indican Castellanos y Ojodeagua (2009). Estos resultados fueron similares a los observados en el ciclo 2013-2014. Resalta que el suministro N-NO_3^- generado por el abono orgánico, fue superior al resultante con el tratamiento de SNR, lo que indica que no hay necesidad de suministrar nitrógeno adicional en la etapa inicial de desarrollo del cultivo cuando se emplea este tratamiento. Posteriormente, el suministro se va reduciendo hasta llegar a su mínimo a los 40 DDT, etapa en la que es necesario iniciar fortalecer la fertilización nitrogenada. Resultados similares fueron reportados por Alconada *et al.* (2012), quienes observaron que las altas concentraciones de N-NO_3^- en el suelo superficial, condujeron a altas concentraciones de nitratos en la solución edáfica a 100 cm de profundidad. Lo anterior indica que en el tratamiento de SNCS presenta una sobre fertilización con concentraciones de hasta $380 \text{ mg de N-NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ que sobrepasa los 100 mg kg^{-1} , considerado como valor adecuado en el extracto de pasta de saturación por Castellanos y Ojodeagua, (2009). Al respecto, se han realizado diversos reportes que señalan la necesidad de disminuir el uso de los fertilizantes químicos, principalmente por los efectos contaminantes de éstos (Thompson *et al.*, 2007; Gallardo *et al.*, 2009; Alconada *et al.*, 2012). Esta estrategia conduce a la salinización de los suelos que conlleva a la degradación del suelo y agua (Mostafa *et al.*, 2012

Concentración de fosfatos en el suelo

En la Figura 4.3 se muestra el exceso de fósforo residual aportado después de haber realizado el proceso de biofumigación en el tratamiento de SNCB el cual se mantiene a lo largo del ciclo. Este tratamiento sobrepasa la concentración de fosfatos en el tratamiento de SNSC a lo largo de todo el ciclo, excepto en la etapa final y supera a lo largo de todo el ciclo el aporte de fosfatos del tratamiento SNR, que resultó el de mayor rendimiento en los dos ciclos de producción. Estos resultados indican el enorme potencial de abonos orgánicos en el suministro de fósforo al ser adicionados al suelo. Por dicha razón, la adición de fertilizante fosfatado en el tratamiento de SNCB fue mínima. Por otro lado para el tratamiento de SNSC se observó la acumulación de fósforo en el suelo, a partir del día 44, manteniendo la misma tendencia de incremento a lo largo del ciclo. En el

caso del tratamiento de SNR, la concentración de H_2PO_4^- se mantuvo en el orden de 2 mg L^{-1} , una concentración que sugiere ser suficiente para la producción intensiva de tomate en invernadero, pues se asoció con el rendimiento de mayor cuantía y es congruente con los valores de suficiencia que sugieren Castellanos y Ojodeagua (2009). Para el ciclo 2013-2014 (Figura 4.4.), se observó el mismo comportamiento en la solución de suelo, donde nuevamente se tuvo un incremento en el suministro de fósforo, como consecuencia de la adición de abonos orgánicos en el tratamiento de SNCB. Mientras que en el caso de la SNSC la tendencia de incremento se inicia a los 44 DDT y continua igual a lo largo del ciclo. En general, lo que se aprecia es un desperdicio de fósforo en el tratamiento de SNSC, y se confirma el gran potencial de suministro de fósforo que tienen los abonos orgánicos, Esto lleva a la conclusión que es necesario reducir al mínimo el suministro de fósforo en casi todo el ciclo de crecimiento cuando se incorpora una cantidad importante de abonos orgánicos o se lleva a cabo el proceso de biofumigación. El exceso de fósforo en el suelo es apenas perjudicial para el cultivo; sin embargo, puede reducir la disponibilidad de Fe, Zn y Mn, disminuir su solubilidad, en el suelo (Abdel *et al.* 1996 y Needham, 1973). Una concentración elevada de fósforo en el suelo hace más vulnerable el medio ambiente, pues es arrastrado hacia cuerpos de agua a los que contamina, generando un problema de eutrofización.

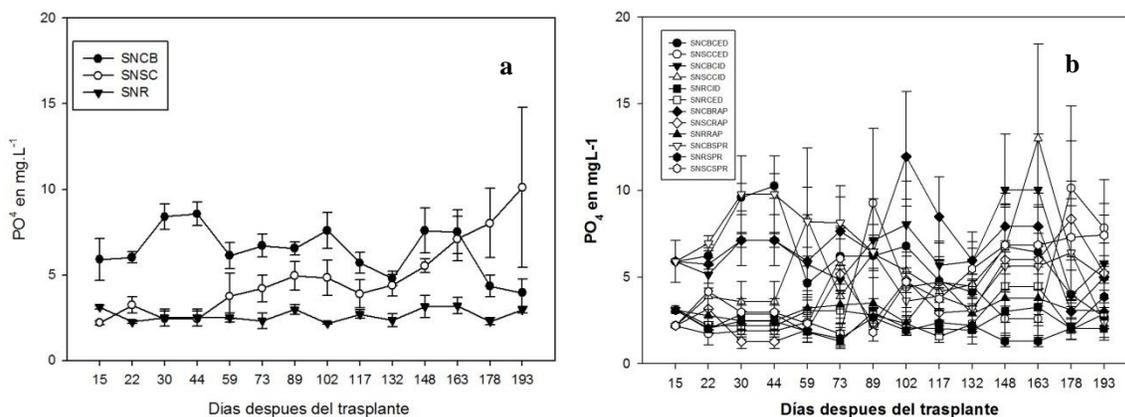


Figura. 4.3. Concentración de fosfatos en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2012-2013

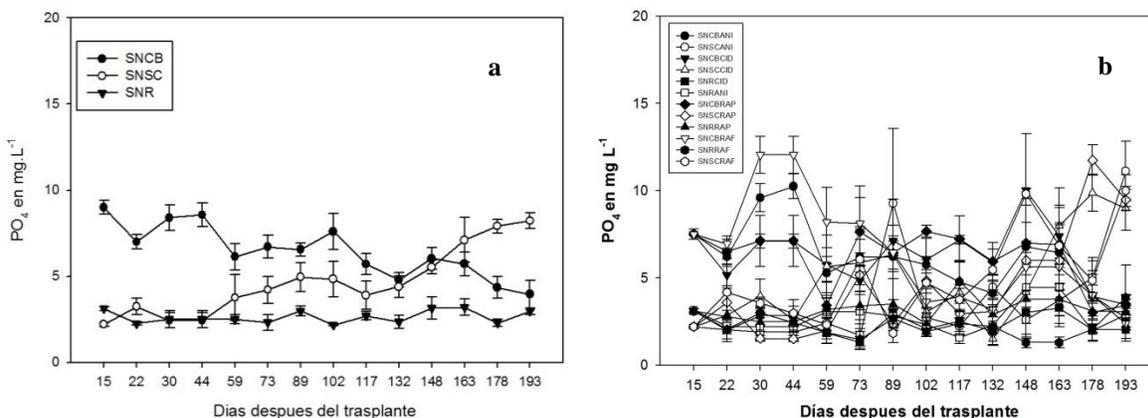


Figura 4.4. Concentración de fosfatos en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2013-2014

Concentración de potasio en el suelo

En la Figura 4.5 se observa el comportamiento del ion K^+ en la solución del suelo como respuesta a los tres tratamientos de fertilización vía solución nutritiva y aplicación de abonos orgánicos. Se destaca que al igual que en el caso de $N-NO_3^-$, conforme avanza el ciclo en el tratamiento SNCS incrementa la concentración de K^+ el suelo. Mientras en el caso de los tratamientos SNR y SNCB se presenta una concentración más estable de K^+ dentro del rango de suficiencia a lo largo del ciclo, la cual está dentro los valores establecidos como óptimos propuestos por Castellanos y Ojodeagua, (2009). Para el ciclo 2013-2014 se observó el mismo comportamiento que en el ciclo anterior donde el tratamiento de SNCS presentó acumulación de K^+ hasta alcanzar concentraciones superiores a 200 ppm de K^+ en el suelo. La cual representa el doble de la concentración que se recomienda en la solución de suelo por Castellanos y Ojodeagua, (2009) (Figura 4.6). Altas concentraciones de sales en la solución ocasiona efectos, como: sequía osmótica, toxicidad por excesiva absorción de cloro y sodio y un desbalance nutrimental (Trinchant *et al.*, 2004; Karimi *et al.*, 2005).

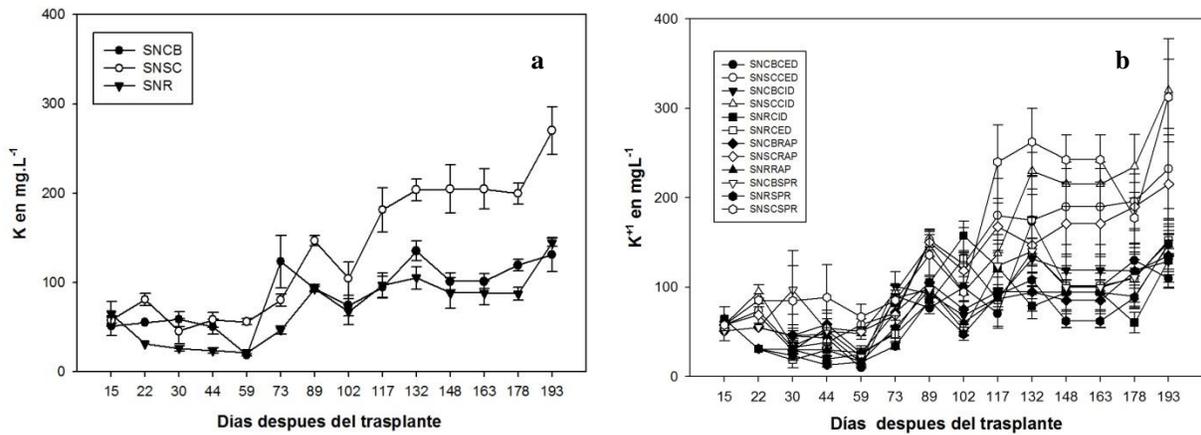


Figura. 4.5. Concentración K^+ en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2012-2013

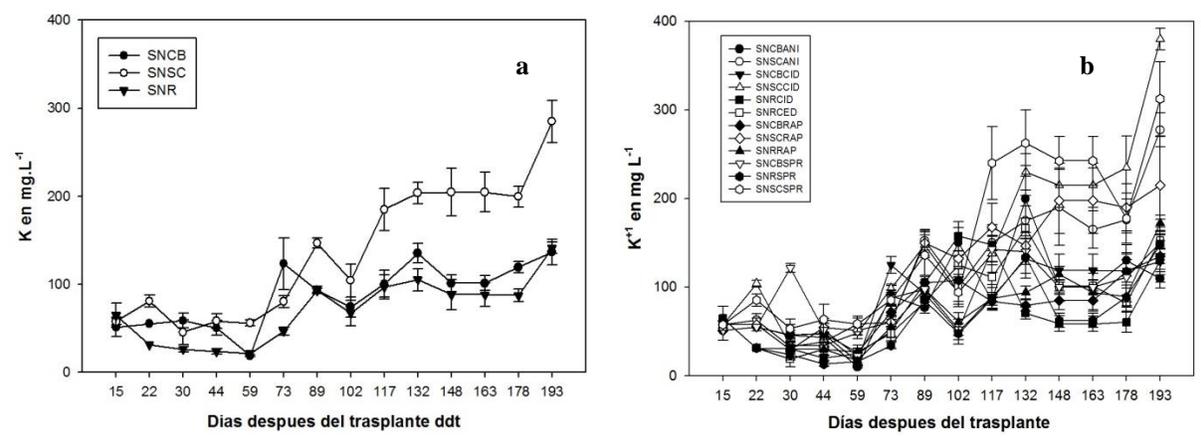


Figura. 4.6. Concentración de K^+ en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2013-2014

Comportamiento del pH en el suelo

El suelo tenía inicialmente una tendencia alcalina con un pH cercano al 8 el cual se mantuvo hasta el día 73 DDT. En el primer ciclo el pH presentó una caída media bastante drástica hasta valores de 5.5 que se mantuvo por el resto del ciclo (Figura 4.7). Esta tendencia fue similar con los tres tratamientos de fertilización SNSC, SNR y SNCB. Un comportamiento similar se presentó en el segundo ciclo evaluado (Figura 4.8.). La posible causa de este fenómeno se explica porque en la etapa de producción máxima se genera un alto consumo de K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} , como resultado de ello la raíz intercambia estos cationes por protones (H^+). La acumulación de iones H^+ explica esta reducción en el pH de la solución de suelo.

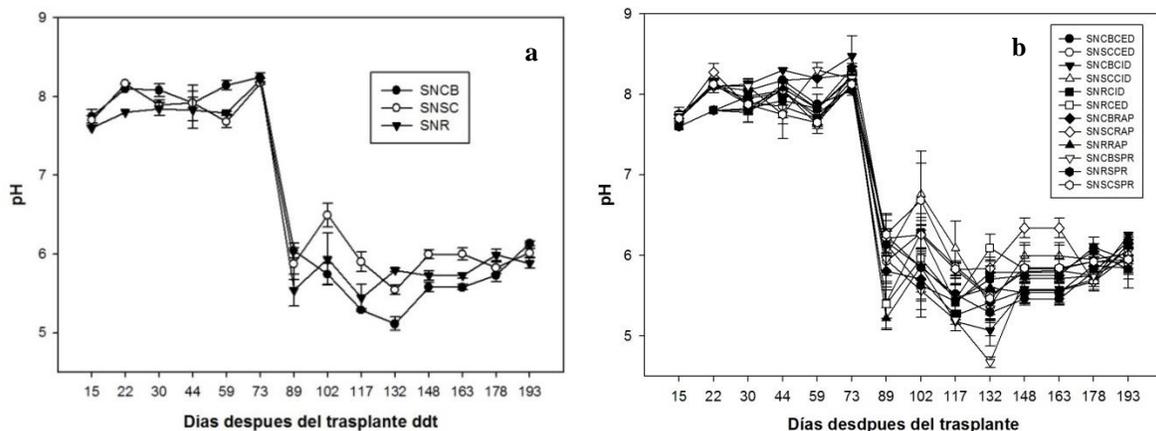


Figura. 4.7. Comportamiento del pH en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2012-2013

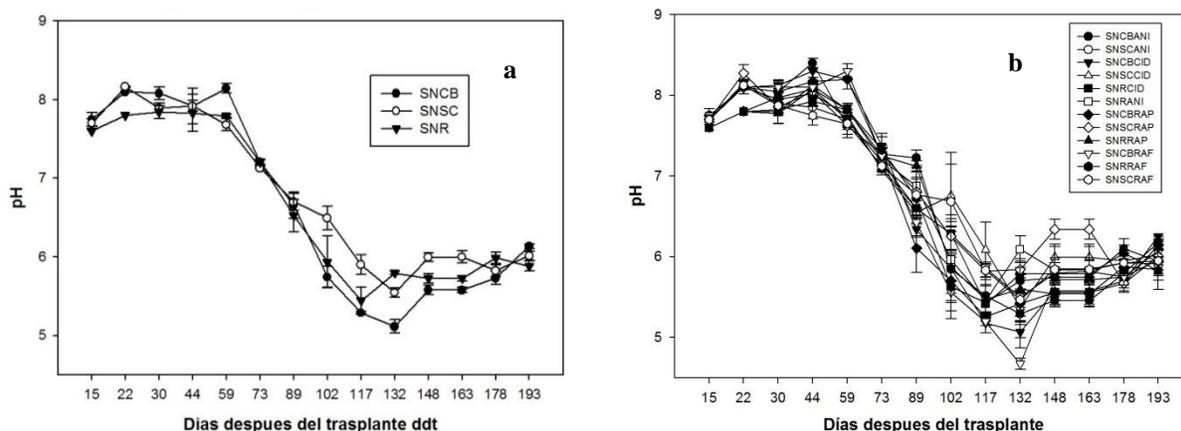


Figura. 4.8. Comportamiento del pH en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2013-2014

Conductividad eléctrica (CE)

A partir del día 22 después del trasplante, el tratamiento con SNSC mostró un incremento en la CE que se mantuvo hasta el fin del experimento, en ambos ciclos, lo cual contrastó con los tratamientos SNR y SNCB que se mantuvieron en concentraciones más bajas y constantes a lo largo del ciclo. Esto es una indicación que la cantidad de sales aportadas por la solución nutritiva de SNSC sobrepasa los requerimientos del cultivo provocando el incremento en la concentración de nutrientes en la solución del suelo e incrementando la conductividad del mismo. Por lo anterior se puede concluir que al utilizar soluciones con altas concentraciones de sales para el manejo del tomate en suelo se favorece un consumo de lujo en la planta y una sobrefertilización del cultivo, que

puede ocasionar impactos en el medio ambiente. Los resultados obtenidos son congruentes con los propuestos por Blanco *et al.* (2012). Mostafa *et al.* (2012) reportan un comportamiento lineal de la CE al incrementar la fertilización y la irrigación con agua salina, por la acumulación de sales en la solución del suelo. La salinidad afecta tanto el crecimiento vegetativo como el desarrollo reproductivo de las plantas puede reducir el número de flores, incrementar la esterilidad y alterar la duración de la floración y la maduración (Ruiz *et al.*, 2014).

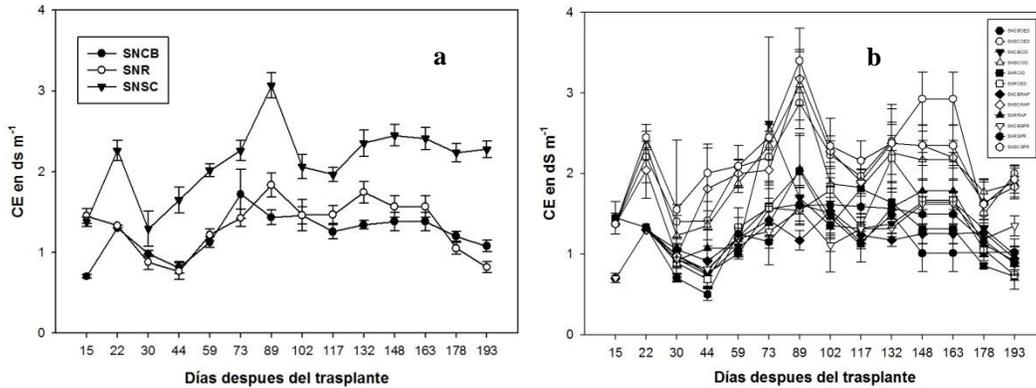


Figura. 4.9. Comportamiento de la CE en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2012-2013

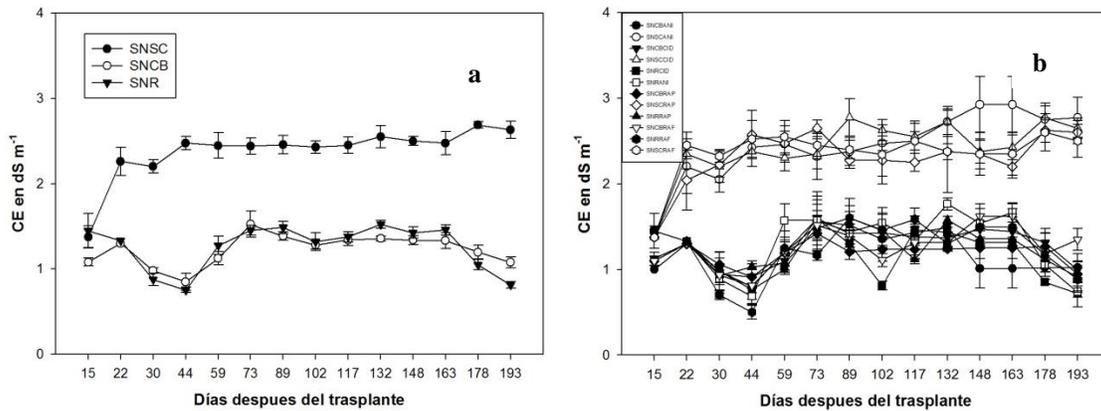


Figura. 4.10. Comportamiento de la CE en el extracto de saturación [a) soluciones b) tratamientos] a lo largo del ciclo 2013-2014

Concentración nutrimental en hoja

El tratamiento de SNSC presentó en el muestreo de los 50 DDT diferencia significativa en la concentración de N, Mg⁺² y Zn⁺² con respecto al resto de los tratamientos. Mientras que en el caso del tratamiento de SNCB sólo se observó diferencia significativa superior al resto de los

tratamientos en el caso del fósforo. Los resultados obtenidos se encuentran dentro de los rangos de suficiencia (Reuter y Robinson, 1997), esto es, todos los tratamientos evaluados satisficieron los requerimientos del cultivo. Los incrementos observados en algunos nutrimentos no influyeron en el rendimiento ya que fueron estadísticamente similares como se reporta en primer trabajo de esta serie. La concentración de un elemento en el tejido vegetal no es homogénea a lo largo de todo el ciclo de desarrollo del cultivo, sino que se encuentra influenciado por el ambiente, la especie, y la edad de la planta.

Cuadro. 4.5. Concentración nutrimental por tratamiento los 50 DDT. Celaya Guanajuato 2012-2013

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
			%				Mg kg ⁻¹	
SNCBCID ^z	3.62 cd	0.66 a	4.04 ab	1.89 cdef	0.47 dfe	153.33 b	17.30 c	101.00 e
SNRCID	3.60 cd	0.63 ab	4.48 ab	2.23 abcd	0.50 cdef	161.67 ab	22.00 bc	233.67 a
SNSC CID	4.08 abcd	0.65 ab	3.89 b	1.55 f	0.63 abc	156.33 b	33.26 ab	178.33 abcd
SNCBRAP	3.57 bcd	0.71 a	4.75 a	2.24 abcd	0.54 bcdef	180.33 ab	25.00 abc	99.77 e
SNRRAP	3.97 abcd	0.68 a	4.57 ab	2.0 cde	0.58 abcd	184.00 ab	24.23 abc	142.00 bcde
SNSCRAP	4.26 ab	0.65 ab	4.09 ab	1.70 ef	0.71 a	163.67 ab	35.66 a	191.00 abc
SNCBCED	4.10 abcd	0.72 a	4.36 ab	2.54 a	0.54 bcdef	179.33 ab	19.90 c	114.67 de
SNRCED	3.57 d	0.51 a	4.35 ab	2.24 abcd	0.43 ef	170.67 ab	17.36 c	172.33 abcde
SNSCCED	4.16 abc	0.62 ab	4.13 ab	2.09 bcde	0.57 abcde	164.67 ab	34.03 a	206.33 ab
SNCBSPR	3.72 bcd	0.71 a	4.18 ab	2.46 ab	0.41 f	200.00 ab	16.33 c	123.67 cde
SNRSPR	3.91 abcd	0.64 ab	4.14 ab	2.28 abc	0.48 dfe	210.00 a	17.63 c	220.00 a
SNSCSPR	4.44 a	0.63 ab	4.18 ab	1.85 def	0.68 ab	187.67 ab	32.40 ab	228.67 a
DMS	0.57	0.15	0.74	0.41	0.14	49.76	11.82	72.97
CV%	4.96	7.72	5.87	6.72	9.04	9.52	16.19	14.65

†: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey (P ≤ 0.05). z: SNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid; SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: solución racional Cedral; SNSCCED: solución Steiner completa Cedral; SNCBSPR: solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

**Cuadro. 4.6 Concentración nutrimental por tratamiento a los 100 DDT. Celaya Guanajuato
2012-2013**

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
	%				Mg kg ⁻¹			
SNCBCID ^Z	4.60 abc	0.39 a	4.30 a	2.86 abc	0.23 bc	101.85 a	21.90 a	104.00 cd
SNRCID	4.60 abc	0.42 a	4.74 a	2.36 cd	0.22 bc	117.95 a	19.75 a	197.50 ab
SNSC CID	4.73 abc	0.52 a	4.91 a	2.22 cd	0.17 c	64.05 a	23.35 a	192.00 abc
SNCBRAP	4.61 abc	0.44 a	3.74 a	3.43 a	0.51 abc	82.90 a	21.70 a	101.10 cd
SNRRAP	4.87 ab	0.44 a	3.94 a	2.34 cd	0.63 ab	78.80 a	20.30 a	160.00 abcd
SNSCRAP	4.80 ab	0.50 a	4.04 a	2.48 bc	0.60 abc	78.75 a	21.95 a	224.50 a
SNCBANI	4.41 abc	0.45 a	4.15 a	2.03 cd	0.40 bc	85.20 a	22.60 a	85.90 d
SNRANI	5.02 a	0.45 a	4.16 a	1.77 d	0.29 bc	73.35 a	20.50 a	131.50 bcd
SNSCANI	5.06 a	0.47 a	4.01 a	2.10 cd	0.25 bc	73.35 a	21.20 a	169.00 abcd
SNCBRAFF	4.09 c	0.46 a	4.97 a	3.25 ab	0.42 bc	77.15 a	21.40 a	92.10 d
SNRRAF	4.89 ab	0.42 a	4.09 a	2.85 abc	0.85 a	71.40 a	17.25 a	203.00 ab
SNSCRAF	4.36 bc	0.50 a	4.36 a	2.77 abc	0.59 abc	63.45 a	18.85 a	171.00 abcd
DMS	0.65	0.13	1.35	0.88	0.42	77.55	8.50	92.51
CV%	3.47	7.51	7.80	8.60	24.43	23.79	10.07	15.00

†: letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey (P ≤ 0.05). z: SNCBCID: solución con biofumigación Cid; SNRCID: solución racional Cid; SNSCCID: solución Steiner completa Cid; SNCBRAP: solución con biofumigación Raptor; SNRRAP: solución racional Raptor; SNSCRAP: solución Steiner completa Raptor; SNCBCED: solución con biofumigación Cedral; SNRCED: solución racional Cedral; SNSCCED: solución Steiner completa Cedral; SNCBSPR: solución con biofumigación Springel; SNRSPR: solución racional Springel y SNSCSPR: solución Steiner completa Springel.

CONCLUSIÓN

Los rendimientos de tomate con las soluciones nutritivas evaluadas SNR, SNCB y SNSC no presentaron marcadas diferencias entre sí por lo cual se concluye que es posible obtener los mismos rendimientos realizando un manejo racional de los nutrimentos, como se presenta en la trabajo I de esta serie. Sin embargo, se demostró que haya un impacto en la concentración nutrimental de la solución del suelo por sobre fertilización, lo que afecta la calidad del suelo. La fertilización racional que se aplicó en los tratamientos SNCB y SNR representó un ahorro importante en el consumo de fertilizantes para la producción de tomate en suelo bajo condiciones de invernadero. Ambas

estrategias presentan un potencial aplicación a nivel comercial, con sustancial ahorro de insumos y costos de producción, con menor peligro al deterioro de la calidad del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

Abdel-Samad, S., Ismail, E.A.M., El-Beltagy, A.S., and Abou-Hadid, A.F. 1996. Tomato growth in calcareous soils in relation to forms and levels of some macro- and micronutrients. *Acta Hort.* 434:85-94.

Alconada M., M. Cuellas, P. Poncetta, S. Barragán, E. Inda y A. Mitidieri. 2011. Fertirrigación en cultivo de tomate protegido: I Nutrición nitrogenada. Efectos en el suelo y en la producción. *Horticultura Argentina* 30 (72):5-13.

Anderson J.M. and J.S.I. Ingram. 1993. *Tropical Soil Biology: A Handbook of Methods*, C.A.B. International. Wallingford, Oxford, UK. 221 pp.

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. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 7:61-75.

Bello A., J.A. López-Pérez, L. Díaz-Viruliche. 2005. Biofumigación y solarización como alternativas al bromuro de metilo. AEC.

Bello A, López-Pérez J. A., García-Álvarez A. (Eds.). 2003. Biofumigación en Agricultura Extensiva de Regadío. Producción Integrada de Hortícolas. CSIC-Caja Rural de Alicante, Mundi-Prensa, Madrid, 670 pp.

Bello A, J.A. López-Pérez, R. Sanz, M. Escuer, J. Herrero.2000. Biofumigación and organic amendments. Regional Workshop on Methyl Bromide Alternatives for North Africa and Southern European Countries, United Nations Environment Programmed (UNEP), Francie, 113-141.

Blanco, F.F., M.V. Folegatti, H.R. Ghazi and P. D. Fernandes. 2008. Growth and yield of corn irrigated with saline water. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 65 (6):574-580.

Castellanos J. Z. y J.L. Ojodeagua. 2009. Manejo de la fertirrigación de tomate en suelo. in : Castellanos (cord).Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Intagri, México. pp 203.

Flores, D., M. Sandoval, P. Sánchez, P. Ramírez y M.N. Rodríguez. 2011. Yield of native of tomato as affected by electrical conductivity of the nutrient solution In: II international symposium

on soilless culture and hydroponics. International society for horticultural science. Acta horticulturae (eds.). Puebla, México, pp 29.

Franco-Navarro, F., I. Cid del Prado-Vera, E. Zavaleta-Mejía y P. Sánchez-García. 2002. Aplicación de enmiendas orgánicas para el manejo de *Nacobbus aberrans* en tomate. *Nematropica* 32:113-124.

Gallardo, M, R.B. Thompson, J.S Rodríguez, F. Rodríguez, M.D. Fernández, J.A. Sánchez, J.J Magán.2009. Simulation of transpiration, drainage, N uptake, nitrate leaching, and N uptake concentration in tomato grown in open substrate. *Agric. Water Manag.* 96: 773-1784.

Karimi, G., M. Ghorbanli, H. Heidari, R. Khavari, and M. H. Assareh. 2005. The effects of NaCl on growth, water relations, osmolytes and ion content in *Kochia prostrata*. *Biol. Plant* 49: 301-304.

Lara-Herrera, A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17:221-229.

Maas, E.V. y G.D. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of the irrigation and Drainage Division, ASCE* 103(2):115-134.

Mostafa A. Z., Y.G.M Galal, and S.M. Loffy. 2012. Monitoring of soil chemical characteristics with time as affected by irrigation with saline water. *Third International Conference on Radiation Sciences and Applications. Hurghada, Egypt* 5(2).

Morad, P., E. Caumes y J. Silvestre. 2003. Influence de la concentration de la solution nutritive sur la croissance et la nutrition minérale de la tomate. *Canadian Journal of Plant Science* 229:304

Needham, P. (1973) Nutritional disorders. In: *The U.K. Tomato Manual*. Grower Books, London.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 AS-16. Obtención del extracto de saturación. *Diario oficial. Segunda sección.* 31 de Diciembre 2002.

Ochoa-Martínez, E., U. Figueroa-Viramontes, P. Cano-Ríos, P. Preciado-Rangel, A. Moreno-Reséndez y N. Rodríguez-Dimas. 2009. Té de compost como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill.) en invernadero. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 15:245-250.

Paul, G.C., M.A. Mannan. 2006. Integrated nutrient management in sugarcane to enhance sugar productivity. In: *Proceedings, international symposium on technologies to improve sugar productivity in developing countries.* Gullin. pp 108-121.

- Quesada-Roldan G. y F. Bertsch-Hernández. 2012.** Fertirriego en el rendimiento de híbridos de tomate producidos en invernadero. *Agronomía Mesoamericana*. 23(1): 17-128.
- Rai, N., P. Ashiya, D.S. Rathore. 2014.** Comparative Study of the Effect of Chemical Fertilizers and Organic Fertilizers on *Eisenia foetida*. *International Journal of Innovative Research in Science*. 3 (5):12991-12998.
- Reuter D.J. and J.B. Robinson. 1997.** *Plant Analysis: an interpretation Manual*. CSIRO publishing. Australia 449-556
- Ruiz-Espinosa, F.H., R.L. Villalpando-Gutiérrez, B. Murillo-Amador, F.A. Beltrán-Morales, L.G. Hernández-Montiel. 2014.** Respuesta diferencial a la salinidad de genotipos de tomate (*lycopersicon esculentum mill.*) en primeras etapas fenológicas. *Terra Latinoamericana* 32:311-323.
- Snyder, R.G. 2006.** Guía del cultivo del tomate en invernaderos. Mississippi, US. Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Mississippi. USA. Publicación N° 2419. 24 p.
- Steiner, A.A. (1961)** A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15:134-154.
- Thompson R.B., C. Martínez-Gaytán, M. Gallardo, C. Jiménez, M.D. Fernández. 2007.** Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. *Agric. Water Manag.* 89:261-274.
- Trinchant, J. C., A. Boscari, G. Spennato, G. Van de Sype, and D. Le Rudulier. 2004.** Proline betaine accumulation and metabolism in alfalfa plants under sodium chloride stress. Exploring its compartmentalization in nodules. *Plant Physiol.* 135:1583-1594.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES

La aplicación de diferentes estrategias de manejo no generó diferencias significativas en el rendimiento, no así en la acumulación de nutrientes en el suelo donde se demostró el tratamiento de SNSC presenta una acumulación de N-NO_3^- , H_2PO_4^- y K^+ conforme transcurre el ciclo, la misma tendencia se mostró para los ciclos 2012-2013 y 2013 -2014. Así mismo se elevó la CE del tratamiento de SNSC como respuesta a la acumulación de nutrientes en el suelo. Se concluye que al realizar un manejo de la nutrición basado en el monitoreo nutrimental de extracto de pasta y el extracto celular de pecíolo es posible reducir la cantidad de fertilizantes aplicados reduciendo los costos de producción y la contaminación por la sobre fertilización del suelo y ecosistema. La ausencia de diferencias en la producción y en calidad del fruto, con diferentes estrategias de manejo de la solución nutritiva, se atribuye a la riqueza de los suelos, condiciones productivas y variedad de tomate utilizado.

La aplicación de diferentes estrategias de manejo de la fertilización, prácticamente no tuvo efectos sobre la mayoría de los parámetros de calidad del fruto y donde se presentó un efecto significativo, estos valores se mantuvieron dentro las características adecuadas de calidad del fruto, y que corresponden a las que demanda el mercado. Esto es de gran relevancia, pues significó una reducción muy importante en el uso de fertilizantes. Este trabajo abre nuevas posibilidades para reducir el suministro de fertilizantes sin deterioro de la calidad del fruto en relación a sus variables más significativas que son: firmeza, grados $^{\circ}\text{Brix}$, acides titulable y relación entre acides titulable y sólidos totales. El impacto de reducir las dosis de fertilizante sin deterioro del rendimiento ni de la calidad del fruto, significa también la posibilidad de reducir riesgos de contaminación de los mantos acuíferos al reducir la inyección de fertilizantes. Por otro lado es posible combinar los beneficios de la aplicación de enmiendas orgánicas y complementar los requerimientos con fertilizantes químicos obteniendo resultados similares en rendimiento y calidad de fruto.