

Efecto de la sustitución parcial de fertilizante inorgánico por compost sobre el rendimiento y la calidad del tomate de invernadero (*Solanum lycopersicum* L.) en Sololá

Rolando Cifuentes¹, Ana Silvia Colmenares², Edwin de León¹ & Ximena González²

¹Centro de Estudios Agrícolas y Forestales, Instituto de Investigaciones / ²Departamento de Ingeniería en Ciencias de Alimentos, Facultad de Ingeniería Universidad del Valle de Guatemala

RESUMEN: El estudio se llevó a cabo en un invernadero del Campus Altiplano de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG Altiplano) ubicado en Sololá a una altitud de 2,334 msnm. El objetivo fue evaluar cuatro mezclas de compost y fertilizante inorgánico con relación a la productividad y la calidad del tomate de invernadero. El compost utilizado fue producido en el año 2,009 en la estación experimental de UVG en la costa sur (UVG Sur) y como parte de la materia prima se utilizó 50 % de caña picada y 50 % de cachaza (v/v). Los tratamientos incluyeron la incorporación de 15, 30, 45 y 60 % de N orgánico en forma de compost (1.36 % N) para cubrir la demanda de N por el cultivo (402 kg N / ha). Se cuantificó la producción a lo largo del período de cosecha y se realizó un único muestreo de frutos en el último tercio del ciclo de las plantas, a fin de realizar los análisis de calidad del tomate. La sustitución parcial del fertilizante inorgánico por compost tendió a reducir el rendimiento de tomate, pero se mantuvo la calidad de los frutos para la mayor parte de parámetros evaluados. El uso de compost incrementó significativamente el contenido de licopeno en tomate en comparación con el uso del 100% de fertilización inorgánica. Los resultados generados pueden ser de utilidad para productores interesados en incorporar abono orgánico a sus programas de fertilización en cultivos bajo invernadero y a campo abierto.

PALABRAS CLAVE: Compost, tomate de invernadero, calidad del tomate, fertilización orgánica.

Effect of partial substitution of inorganic fertilizer by compost on the yield and quality of greenhouse tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) in Sololá

ABSTRACT: The study was conducted in a greenhouse at Universidad del Valle de Guatemala, Altiplano Campus, located in Sololá at 2,334 masl. The objective was to evaluate four mixtures of inorganic fertilizer and compost in relation to the productivity and quality of greenhouse tomatoes. The compost used was produced in 2009 at the UVG experimental station in the South coast (UVG Sur), and as part of the raw materials 50% of chopped cane and 50% press mud (v / v) were used. Treatments included the addition of 15, 30, 45 and 60% of organic N in the form of compost (1.36% N) to meet the demand of N by the crop (402 kg N / ha). Production was quantified throughout the harvest period and tomato fruits were sampled in the last third of the plant cycle in order to carry out the analysis of tomato quality. The partial substitution of inorganic fertilizer by compost tended to reduce tomato yield, but kept the quality of the fruit for most parameters evaluated. Using compost significantly increased tomato lycopene content compared with the use of 100 % inorganic fertilizer. The results may be useful for producers interested in adding organic materials to their fertility programs for crops under greenhouse and open field conditions.

KEY WORDS: Compost, greenhouse tomatoes, tomato quality, organic fertilization.

Introducción

El abono orgánico es un recurso que tiene miles de años de ser utilizado en la agricultura. De acuerdo con Tisdale *et al.* (1993), hay indicios que los griegos hacían uso de los estiércoles en la producción agrícola 900 años AC.

En el caso particular de Guatemala, el uso de estiércoles y de compost producido a partir de diferentes fuentes orgánicas se ha practicado desde mucho tiempo antes de la introducción de los fertilizantes inorgánicos al país, lo cual de acuerdo a Rosales (1994) ocurrió a mediados del siglo pasado. Con el tiempo diferentes tipos de abono orgánico y sus técnicas para producirlos han sido introducidas al país. Ejemplos de ello son el lombricompost o vermicompost, el cual es un producto generado a partir de la digestión del material orgánico que pasa por el tracto digestivo de la lombriz 'coqueta roja' (*Eisenia foetida*) y el bocashi, producto parcialmente descompuesto y de poca estabilidad, de origen Japonés (Soto, 2003).

El compost convencional es un material altamente descompuesto y estable que se ha formado en un proceso que usualmente tarda varios meses y que puede alcanzar temperaturas hasta de 70 °C (Cifuentes *et al.*, 2013; Cifuentes *et al.*, 2011). Bajo esas condiciones, muchos microorganismos perjudiciales para la agricultura son eliminados, lo cual se considera una ventaja sobre el resto de abonos orgánicos.

A diferencia de los fertilizantes inorgánicos, los abonos orgánicos son utilizados no solo para proveer nutrientes a las plantas, sino también para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En la producción agrícola, es deseable tener suelos con alto contenido de materia orgánica (humus), la cual es un indicador de buena calidad del suelo (Doran *et al.*, 1994). El incremento en el contenido de materia orgánica de los suelos se logra mediante la continua incorporación de residuos de origen animal o vegetal, ya sea en forma cruda, parcial o totalmente descompuestos.

A pesar que en las últimas décadas ha habido un incremento en la producción orgánica en nuestro país, la mayor parte de esfuerzos se han orientado hacia el café, el banano y el cacao. El área de producción orgánica de hortalizas y frutas es mucho menor. Adicionalmente, muchos sistemas de producción de hortalizas a nivel convencional, también utilizan pequeñas cantidades de abono orgánico (gallinaza, compost o bocashi)

como parte de la primera fertilización de los cultivos. En los sistemas de producción orgánicos o convencionales de Guatemala, el soporte científico para el manejo de la fertilización orgánica es muy limitado y se requiere de investigación.

Ya sea que el manejo de la fertilización sea por medio de productos sintéticos o bien por medios orgánicos, el aporte de nutrientes a las plantas es esencial ya que esto constituye un factor importante para la sostenibilidad de la producción y de la calidad de los productos. Para muchos autores, la calidad del tomate fresco, medida por medio de parámetros físicos o químicos de los frutos (Gómez y Camelo, 2002), está determinada por la composición del suelo y las prácticas antes y después de la cosecha (Casierra-Posada y Aguilar-Avendaño, 2008).

Con este estudio se evaluaron varias mezclas de compost y fertilizante inorgánico a fin de determinar su impacto sobre la productividad y la calidad del tomate de invernadero.

Metodología

Sitio Experimental

El estudio se llevó a cabo en los invernaderos de la estación experimental de UVG en campus Altiplano, aldea el Tablón, Sololá. El sitio se ubica en las coordenadas geográficas N 14° 47' 08.6" y W 091° 11' 12.6" a una altitud de 2,334 msnm.

La cama de cultivo consistió básicamente del suelo de la región, el cual es clasificado taxonómicamente a nivel de orden como Inceptisol y a nivel de subgrupo como Andic Huustepts (MAGA-DIGEGR-IGAC, 2013). Algunas características de este orden incluyen: suelos que se han desarrollado sobre materiales piroclásticos no consolidados (ceniza y pómez), en pendientes ligeramente inclinadas (3-7%) y moderadamente inclinadas (7-12%), correspondientes al paisaje de altiplano hidro-volcánico en relieve de terraza. Las características químicas del suelo del invernadero se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características químicas del suelo utilizado

| Parámetro Analizado ¹ | Valor | Rango General Adecuado |
|--|-------|------------------------|
| pH | 5.6 | 5.5 – 7.2 |
| Al ³⁺ + H ⁺ intercambiables (Cmol/L) | 0.09 | < 1.2 |
| Conductividad Eléctrica (dS/m) | 0.55 | 0.2 – 0.8 |
| Materia Orgánica (%) | 5.19 | 3.0 – 6.0 |
| ClCe (meq/100 ml) | 10.2 | 5 - 25 |
| Fósforo (mg P/L) | 182.4 | 10 - 20 |
| Potasio (mg K/L) | 0.37 | 0.2 – 0.6 |
| Calcio (mg Ca/L) | 7.89 | 4 - 20 |
| Magnesio (mg Mg/L) | 1.80 | 1 - 5 |
| Cobre (mg Cu/L) | 0.44 | 0.1 – 2.5 |
| Hierro (mg Fe/L) | 1.94 | 2.5 - 16 |
| Manganeso (mg Mn/L) | 0.39 | 1 - 12 |
| Zinc (mg Zn/L) | 0.87 | 0.2 - 2 |

¹ = No se analizó el contenido de N (NO³-N + NH₄-N) disponible en el suelo ya que debido a su alta movilidad y el alto nivel de demanda por los cultivos se le considera usualmente bajo. Adicionalmente no se analizó el elemento azufre (S) ya que en suelos inceptisoles de Sololá, el laboratorio de suelos continuamente reporta bajos niveles de este elemento (Cifuentes *et al.*, 2011-2012).

Plan Experimental

a) Diseño experimental

Se evaluaron 5 tratamientos o programas nutricionales de la mezcla N orgánico (0, 15, 30, 45 y 60 % de N orgánico vía compost) – N inorgánico (100, 85, 70, 55 y 40 % de N vía fuentes inorgánicas) en un diseño en bloques con 3 repeticiones.

Para efectos prácticos, cada cama de 32.5 m de largo x 2.1 m de ancho recibió una sola dosis de compost durante la preparación de la misma, y el programa de fertilización inorgánica, vía fertirriego, fue específico para esa cama a lo largo del ciclo del cultivo. Posteriormente, cada cama fue dividida en tres segmentos de 10.8 m de largo cada uno a fin de contar con 3 repeticiones para realizar un análisis de varianza (Gráfica 1).

Es decir que cada unidad experimental consistió de 10.8 m de largo x 2.1 m de ancho (22.68 m²).

b) Programa Nutricional

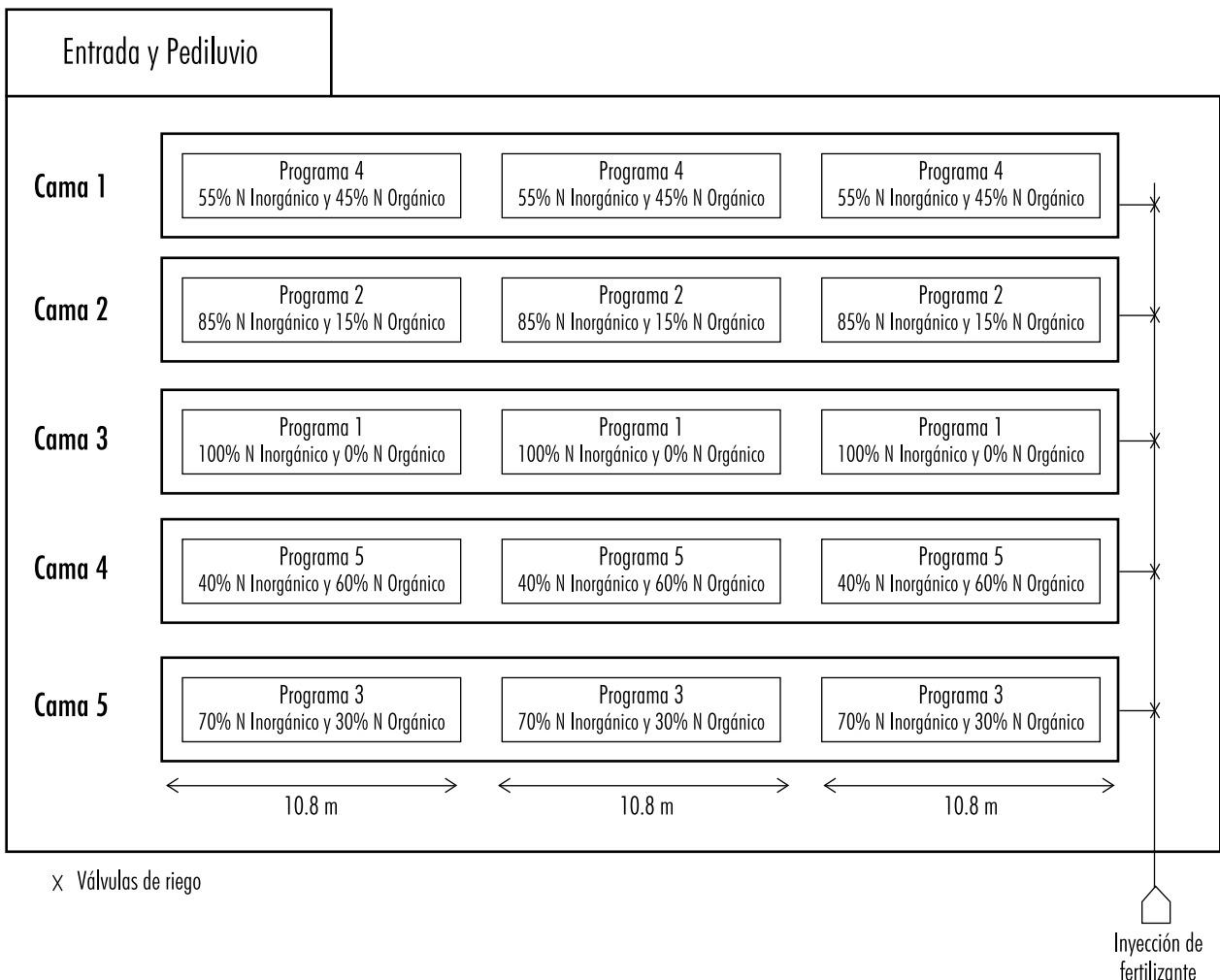
El programa nutricional fue definido con base en el análisis de suelo y la demanda del cultivo para una producción total de 114 t de tomate fresco / ha (25 lbs / m²). Para producir una tonelada de fruto, el cultivo requiere: N = 3.53 kg/t, P = 0.5

kg/t, K = 5.06 kg/t, Ca = 2.5 kg/t, Mg = 1 kg/t y S = 1.4 kg/t) (Bertsch, 2003).

Los elementos considerados en el programa de fertilización fueron N, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn y B. La cantidad de N, K como K₂O, Ca como CaO, Mg como MgO y S que se aplicó en el tratamiento de 100% de fertilización inorgánica fue de 402, 577, 152, 56 y 46 kg/ha, respectivamente. Estos elementos se aplicaron con el agua de riego. Las fuentes y cantidades utilizadas para el suministro de N, K y Ca se presentan en el Cuadro 2. El S y el Mg se aplicaron como sulfato de Magnesio (13% S y 16% MgO) en dosis de 2.39 kg de fertilizante/cama para todo el ciclo de cultivo.

Para los tratamientos que incluyeron la aplicación de compost, se mantuvo constante la cantidad de P, S, Mg, micronutrientes y relativamente K. El suministro de Ca como nitrato de calcio se orientó a los tratamientos con bajos niveles de compost, ya que dicho material también aportó calcio.

Los micronutrientes Fe y Mn, junto a B, se aplicaron de forma foliar a todo el experimento mediante el uso del producto *bayfolan forte* (75 ml/bomba de fumigar con capacidad de 16 L), el cual consiste de una mezcla de micronutrientes.



Gráfica 1. Distribución de los tratamientos en el invernadero

Cuadro 2. Fuente y cantidad de fertilizante aplicado durante el ciclo de cultivo

| Programa | Compost | | Fertilizante Químico | | |
|----------|---------------------------|---------------|----------------------|-------------------------------|---|
| | N inorgánico — N Orgánico | Seco | Húmedo | Nitrato de Amonio (33 % N) | Nitrato de Potasio (13 % N y 46% K ₂ O) |
| | Kg/ha | Kg/cama/ciclo | | Kg/cama/ciclo | |
| 100 - 0 | 0 | 0 | 3.2 | 8.57 | 4.0 |
| 85 - 15 | 4763 | 42.7 | 2.35 | 8.33 | 3.0 |
| 70 - 30 | 9527 | 85.4 | 1.57 | 8.10 | 2.0 |
| 55 - 45 | 14290 | 128.2 | 0.78 | 7.85 | 1.0 |
| 40 - 60 | 19053 | 170.9 | 0.00 | 7.62 | 0.00 |

A pesar que el contenido de P en el suelo se reportó alto, se aplicaron 6.2 ml de ácido fosfórico al 85 % (52 % P₂O₅) a cada cama de cultivo una vez al mes durante el período de producción que fue de 11 meses. Esto con la finalidad evitar la acumulación de sales en la cinta de riego.

a) Compost

El compost que se utilizó fue elaborado, en el campus sur de UVG, a partir del 50 % de caña picada y el 50 % de cachaza. De acuerdo a Cifuentes *et al* (2011), la caña utilizada en la preparación del compost corresponde al material que cae de los camiones durante su transporte al ingenio. Una vez en el pavimento, la caña es aplastada por los vehículos en marcha y posteriormente recogida y desechada por el servicio de limpieza de la Fundación del Azúcar, FUNDAZUCAR. Dependiendo del contenido de agua del material, este fue pasado por una picadora (material entero) o bien por una chipadora (material deteriorado seco) y posteriormente mezclado junto con la cachaza. El producto final se obtuvo a los 90 días después de iniciado el proceso de compostaje. El compost utilizado en el estudio corresponde a un material estable, maduro y sin peligro de daño a las plantas. Detalles del proceso de elaboración del material son descritos por Cifuentes *et al* (2011).

La cantidad de compost utilizada en este estudio fue estimada con base en la demanda de N por el cultivo (402 kg N / ha) y en el contenido total de N (1.36 % de N bs) en un material con 32 % de humedad. La cantidad que se aplicó a cada cama se presenta en el Cuadro 2 y la composición del material en el Cuadro 3.

a) Variedad de tomate

La variedad de tomate utilizada fue 'Dominique'. Es una planta de crecimiento indeterminado, frutos redondos tipo ensalada con un ciclo en invernadero de aproximadamente 11 meses, 8 de los cuales son de producción y tres de inicio al primer corte. Produce frutos que cuando están maduros son de color rojo intenso. A esta variedad se le considera tolerante a la marchitez por *Verticillium* (*Verticillium dahlia*), marchitez por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* razas 1 y 2), virus del Mosaico del Tomate y nematodos del género *Meloidogyne* (Hazera Genetics, 2008).

Cuadro 3. Características del compost utilizado en el estudio

| Parámetro Analizado | Valor |
|--|----------------|
| pH | 7.25 |
| Conductividad Eléctrica (dS/m) | 1.50 ± 0.83 |
| Materia Orgánica (%) | 34.5 ± 4.67 |
| ClCe (meq/100 ml) | 43.3 ± 0.2 |
| N total (%) (Kjeldahl) | 1.36 ± 0.02 |
| Fósforo total (% P ₂ O ₅) | 3.13 ± 0.24 |
| Potasio total (% K ₂ O) | 0.65 ± 0.14 |
| Calcio total (% Ca) | 3.48 ± 0.91 |
| Magnesio total (% MgO) | 0.56 ± 0.08 |
| Cobre total (mg Cu/L) | 44.0 ± 6.1 |
| Hierro total (mg Fe/L) | 5462.1 ± 195.2 |
| Manganeso total (mg Mn/L) | 291.0 ± 7.4 |
| Zinc total (mg Zn/L) | 124 ± 10.6 |

Manejo del Experimento

a) Aplicación de Compost

El 100 % de la cantidad de compost se aplicó durante el proceso de preparación de las camas de acuerdo a las cantidades estimadas para cada programa según el cuadro 2. Una vez aplicado y mezclado con el suelo (Gráfica 2), se procedió a realizar la desinfección del mismo suministrando 67 gramos del bactericida *Agrimycin WP* (i.a. estreptomycin 13.3% y oxitetraciclina 6.7%) para cada cama de cultivo por medio del sistema de riego. Posteriormente se procedió a verificar la franja de mojado del sistema para observar la uniformidad del riego. Luego se llevó a cabo la colocación del plástico en las camas (acolchado) y se procedió con la apertura de agujeros (Gráfica 2).

b) Trasplante y manejo agronómico

El 20 de octubre de 2009 se procedió a realizar el trasplante de las plantas siguiendo un sistema al tresbolillo, a fin de tener dos hileras de tomate por cama y un densidad de 2.5 plantas por metro cuadrado. Previo a su colocación en el suelo, y como parte del proceso de desinfección, las plántulas de tomate fueron desinfectadas sumergiendo las raíces de las plantas por unos



Gráfica 2. Aplicación de compost y preparación de camas de cultivo

2 a 3 segundos en una solución del fungicida *Banrot 40 WP* (Etil-3-triclorometil-1,2,4 (tiadiazol-5-il)-eter 15.0% y Dimetil 4,4'- (O-fenileno) bis (3-tioalofanato 25.0%) al 0.16%, para la prevención de enfermedades de la raíz causadas por hongos como *Phytium*, *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Phytophthora*.

c) Programa de Fertirriego

Se aplicó un programa de fertirriego específico para cada cama de acuerdo al tratamiento según el Cuadro 2 y el período de crecimiento a lo largo del ciclo productivo. En general, para los elementos aportados con el agua de riego, se consideró una aplicación del 5 % del total de fertilizante durante el período 1 (día 8 al 45), 25 % durante el período 2 (día 46 al 120), 45 % durante el período 3 (día 121 al 210) y 25 % durante el período 4 (día 211 al 300). La cantidad correspondiente a cada período de cultivo se distribuyó entre el número de semanas del período correspondiente. Es decir, que las aplicaciones de fertilizante con el agua de riego se hicieron en forma semanal. Cada cama se regó en forma independiente ya que el sistema de riego con que se cuenta en la estación experimental de UVG Altiplano permitió hacer riegos individuales.

d) Clima y manejo del invernadero

Se llevó un registro de la temperatura y humedad relativa dentro del invernadero a una altura de 1.5 m sobre la superficie del suelo. Las mediciones se realizaron a las 8, 13 y 17 horas durante todo el ciclo productivo. Se utilizó un higo-termómetro digital sin capacidad de almacenamiento de datos, lo cual obligó a realizar lecturas presenciales en las horas mencionadas.

El manejo de cortinas de esta unidad fue de forma manual. Las cortinas se bajaron diariamente alrededor de las 15:30 hrs debido a las bajas temperaturas durante la noche y se levantaron a las 7:30 hrs para tener una buena ventilación y evitar condensación del vapor de agua dentro del invernadero.

d) Cosecha y muestreo

La cosecha fue realizada a mano utilizando canastas plásticas para recepción de los frutos. El producto fue pesado inmediatamente después de la cosecha. El período de cosecha

se llevó a cabo de febrero 2010 a septiembre 2010. Una panorámica de la apariencia de las plantas en producción se presente en la Gráfica 3.

Para fines del análisis de laboratorio, las muestras de tomate se colectaron en la última fase de producción del cultivo. De cada unidad experimental se colectaron 8 frutos limpios y sanos. Es decir, sin daños físicos, por insectos o frutos enfermos. Los tomates fueron colocados en bolsas de papel y transportados al laboratorio en hieleras a fin de reducir la pérdida de humedad de los frutos. Una vez en el laboratorio, las muestras fueron almacenadas a 10 °C y posteriormente procesadas para su análisis.

e) Variables de respuesta

Las variables de respuesta incluyeron,

Parámetros agronómicos

Altura de planta a cada dos semanas, número de racimos por planta y rendimiento. El número de frutos para todas las plantas se estandarizó en 5 frutos por racimo.

Parámetros de calidad de fruto

Se incluyó parámetros físicos (peso, dimensiones de fruto, color y firmeza) y químicos (humedad, % de pulpa, sólidos solubles, pH, y contenido de licopeno).



Gráfica 3. Panorámica de las plantas de tomate en producción

Análisis

a) Suelo y compost

Tanto el análisis de suelo como el análisis del compost se realizaron en laboratorios especializados disponibles en el mercado local. En el caso del suelo, para la determinación de fósforo y potasio extraíbles, se utilizó el método Olsen modificado, Fe, Zn, Cu y Mn extraíbles por DTPA y Ca, Mg y Al extraíbles con KCl 1 N. Los diferentes métodos están descritos en Sparks (1996). Para la determinación del contenido total de elementos de interés presentes en el compost, el laboratorio utilizó la metodología descrita en AOAC (1995) en tanto que para determinar el contenido de elementos extraíbles del compost se utilizó los métodos descritos por Sparks (1996).

b) Calidad del tomate

En todos los parámetros seleccionados para medir la calidad del tomate se utilizó la metodología propuesta por Gonzalez y Ruz (1999) y Cliff *et al* (2009) usando los métodos descritos en Nielsen (2007). Las muestras fueron pesadas para determinación del peso promedio de cada fruto, se determinó el diámetro y alto del fruto con el uso de un vernier y se determinó el contenido de humedad (3 g de muestra cruda se pesaron en una cápsula de peso conocido). Se colocó en horno de vacío durante suficiente tiempo para llevar a peso constante. Para llevar a cabo el análisis de firmeza se utilizó un analizador de textura (*Texture Analyzer TA XT2i*).

Posteriormente se llevó a cabo un proceso térmico en microondas que simula el proceso industrial con el fin de inactivar las enzimas y estabilizar el jugo de tomate para prevenir cambios en color, sabor y contenido de nutrientes. Para el efecto, 6 de los 8 tomates se cortaron a la mitad y se colocaron en un beaker de peso conocido. Luego se registró el peso de los tomates, se cubrió con un vidrio de reloj y se colocó en el horno de microondas durante 2 minutos a potencia alta y luego otros 2 a potencia baja. Luego de la cocción, las muestras se pesaron

y se les agregó agua para compensar por pérdidas por evaporación. Se licuaron y tamizaron las semillas y cáscaras. Una vez la suspensión estaba a temperatura ambiente, se determinó el color (relación a/b) con el colorímetro Hunterlab Colorquest II, los sólidos solubles (grados brix) mediante el uso de un refractómetro marca (Atago 0-32 grados brix) y finalmente el pH con un potenciómetro (*Hanna Instruments*, modelo H 198108).

Para cuantificar el contenido de licopeno, con la ayuda de una micropipeta se tomaron 100 μ l de jugo y se transfirieron a un tubo de 25 ml. Se agregó 7 ml de una solución 4:3 (v/v) etanol:hexano, se tapó el tubo y se incubó por 1 hora en la oscuridad. Transcurrido el tiempo de espera se agregó 1 ml de agua a cada muestra y se agitó suavemente. Se esperaron 10 minutos para lograr la separación de fases y posteriormente una muestra de la capa de hexano se llevó a un espectrofotómetro (*Genesys 10 UV, Thermo Electron Corporation*) y se determinó la absorbancia a 503 nm comparándola con hexano. La cantidad de licopeno fue determinada con base en una curva patrón desarrollada para el efecto.

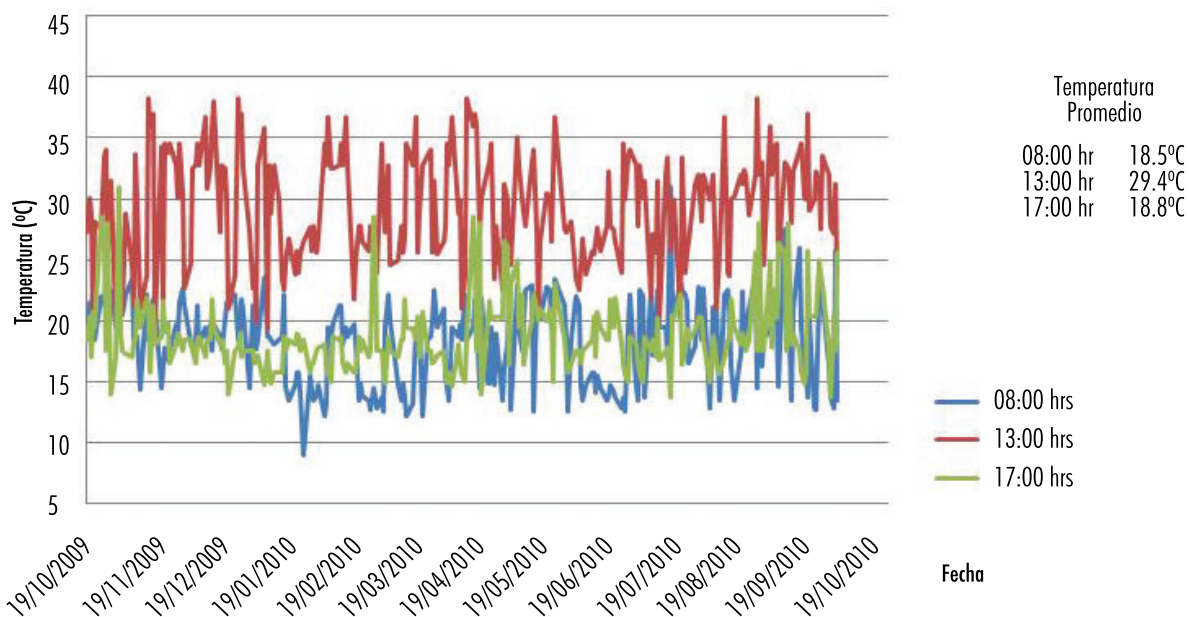
c) Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió de un análisis de varianza para un diseño en bloques al azar. Para discriminar entre tratamientos se utilizó la diferencia mínima significativa y se utilizó MSTATC (MSU, 1989) como herramienta estadística.

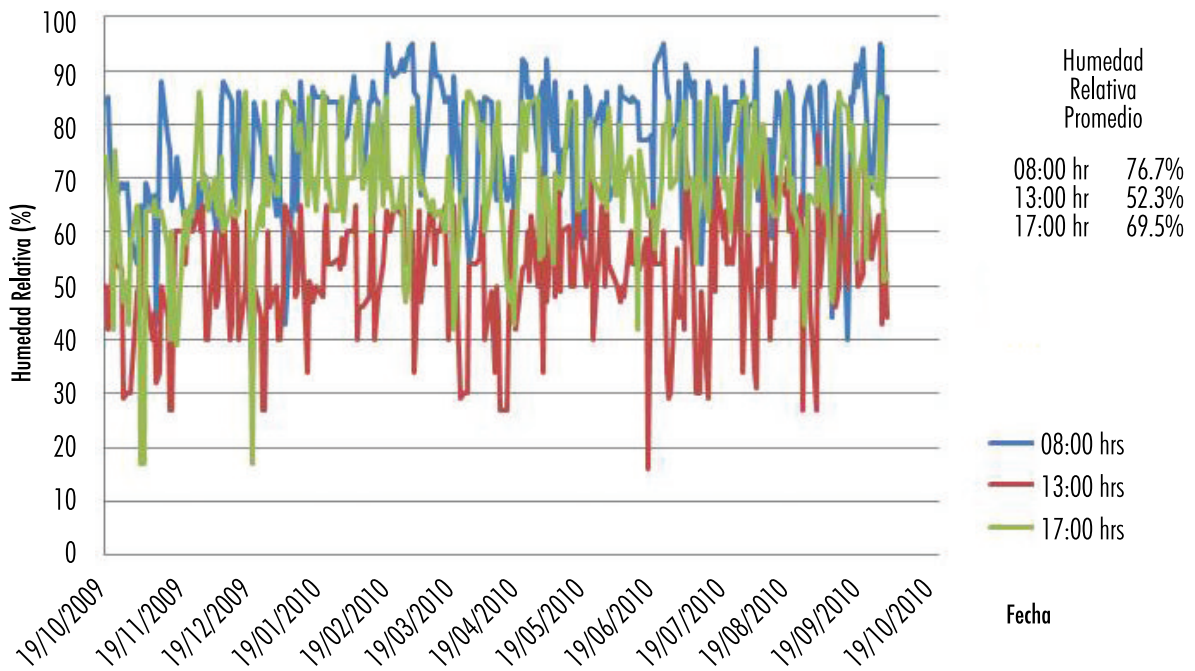
Resultados

Clima

La distribución de la temperatura y la humedad relativa a lo largo del ciclo de cultivo se presenta en las Gráficas 4 y 5 respectivamente. Para una misma hora de registro, ambos parámetros variaron a lo largo del tiempo. En promedio, la temperatura registrada fue de 18.5 °C a las 8 hrs, 29.4 °C a



Gráfica 4. Distribución de la temperatura a lo largo del ciclo de cultivo



Gráfica 5. Distribución de la humedad relativa a lo largo del ciclo de cultivo

las 13 hrs y 18.8 °C a las 17 hrs. La humedad relativa promedio fue de 76.7 % a las 8 hrs, 52.3 % a las 13 hrs y 69.5 % a las 17 hrs.

Crecimiento de planta

El crecimiento de las plantas se ilustra en la Gráfica 6. Se observa claramente que el crecimiento siguió una tendencia lineal y fue independiente del tratamiento de fertilización ($p < 0.05$). En promedio, el crecimiento final de las plantas fue de aproximadamente 5 m, a razón de 1.35 cm/día/planta.

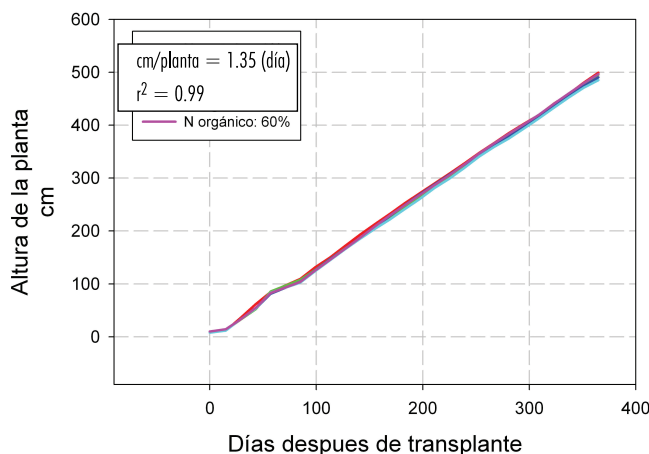
Número de racimos

El número de racimos por planta se ilustra en la Gráfica 7. Se puede observar una tendencia relativamente lineal en la formación de racimos en la planta. Al igual que el crecimiento, el número

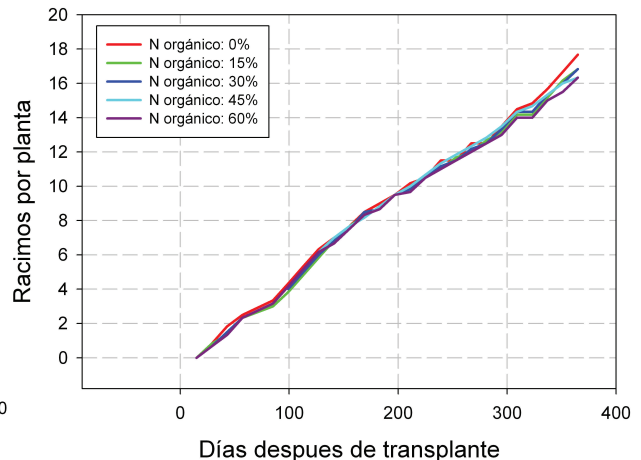
de racimos tampoco fue influenciado significativamente por el tratamiento de fertilización, a pesar que al finalizar el ciclo el tratamiento con 100 % de fertilizante químico produjo de 1 a 2 racimos más por planta.

Producción de tomate

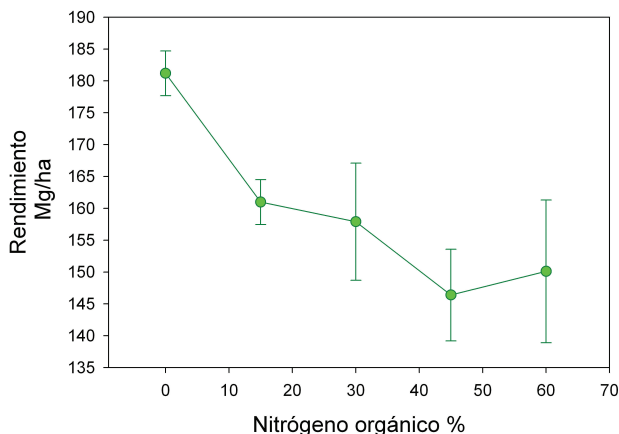
El efecto de la aplicación de las diferentes mezclas de fertilizante inorgánico y compost se presenta en la Gráfica 8. Puede apreciarse que a medida que el % de N orgánico incrementó en la mezcla, el rendimiento se redujo. El tratamiento con el mayor rendimiento fue el de 100 % fertilización inorgánica y el de menor rendimiento correspondió a los niveles más bajos de fertilizante químico. Se encontró diferencia estadística ($p < 0.05$) entre tratamientos, siendo el tratamiento 100 % de fertilización inorgánica superior al resto.



Gráfica 6. Crecimiento de las plantas de tomate durante el ciclo de cultivo



Gráfica 7. Producción de racimos de las plantas de tomate durante el ciclo de cultivo



Gráfica 8. Efecto de la proporción de N orgánico en mezcla con fertilizante inorgánico sobre el rendimiento de tomate en invernadero

Calidad del fruto

Los resultados de los diferentes parámetros físicos y químicos se presentan en el Cuadro 4. El peso de los frutos de tomate varió de 89 a 95 g/fruto, con un diámetro ente 5.1 y 5.3 cm/fruto, una altura de 4.6 a 4.8 cm/fruto y una relación a/b de 1.35 –a 1.53. El contenido de humedad varió entre 92 – 96%; pulpa 55 – 64%; pH 3.8 – 4.0; grados Brix 4.4 – 5.3; licopeno 4.7 – 10.7 mg/100 g. Se encontró diferencia significativa entre tratamientos ($p < 0.05$) únicamente para el contenido de licopeno, en donde la aplicación de compost tendió a incrementar el contenido de dicho compuesto.

Discusión y conclusiones

La temperatura y la humedad relativa registradas en el invernadero estuvieron dentro del rango normal para la producción de tomate. De acuerdo a Jaramillo *et al.* (2007) y Snyder (2006), el rango óptimo de temperatura y humedad relativa para tomate en invernadero es de 21 – 28 °C y 60 – 75 %, respectivamente. Con esas condiciones, todos los procesos bioquímicos se desarrollan normalmente y el crecimiento vegetativo, floración y fructificación son adecuados. De acuerdo a los mismos autores, a temperaturas entre 8 – 12 °C la absorción de nutrientes y el crecimiento de las plantas alcanzan una intensidad mínima y entre 32 – 36 °C los procesos bioquímicos y de toma de nutrientes están al máximo, son excesivos y agotadores para la planta, particularmente cuando esas temperaturas permanecen por largos períodos de tiempo. Bajo las condiciones que prevalecieron la mayor parte del tiempo en el invernadero, la incidencia de enfermedades, particularmente fungosas, fue normal. De acuerdo a nuestra experiencia, con valores de humedad relativa arriba del 80% la incidencia de enfermedades se incrementa. Esa observación está acorde a lo reportado por Jaramillo *et al.* (2006), quienes también indican que altos valores de humedad relativa pueden conducir no solo a la proliferación de enfermedades sino también a una serie de desórdenes que afectan la calidad de los frutos. Algunos desórdenes reportados incluyen manchas, grietas, malformación y vacíos en los frutos así como caída de flores y mala fecundación por compactación del polen.

La tasa de crecimiento (1.35 cm/planta/día), la altura de las plantas y el número de racimos de tomate producidos fueron independientes del programa de fertilización ($p > 0.05$). El programa de fertilización 100% inorgánica produjo cerca de

Cuadro 4. Parámetros físicos y químicos evaluados a muestras de tomate

| Parámetro | Porcentaje de N como Compost | | | | |
|---------------------|------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 |
| Color (a/b) | 1.36 ± 0.17 | 1.50 ± 0.18 | 1.35 ± 0.10 | 1.60 ± 0.08 | 1.53 ± 0.12 |
| Peso (g/fruto) | 93.0 ± 16.6 | 92.4 ± 10.5 | 94.9 ± 7.1 | 88.8 ± 6.7 | 91.4 ± 16.5 |
| Diámetro (cm/fruto) | 5.3 ± 0.4 | 5.1 ± 0.3 | 5.3 ± 0.1 | 5.2 ± 0.2 | 5.1 ± 0.5 |
| Alto (cm/fruto) | 4.7 ± 0.2 | 4.6 ± 0.1 | 4.8 ± 0.2 | 4.6 ± 0.1 | 4.8 ± 0.2 |
| Humedad (%) | 95.9 ± 2.7 | 94.1 ± 1.2 | 94.8 ± 2.0 | 92.3 ± 1.6 | 94.6 ± 1.9 |
| Pulpa (%) | 57.8 ± 2.2 | 61.6 ± 2.9 | 63.5 ± 4.2 | 55.4 ± 5.7 | 59.1 ± 3.2 |
| pH | 3.83 ± 0.20 | 3.91 ± 0.05 | 4.00 ± 0.07 | 3.98 ± 0.02 | 3.98 ± 0.02 |
| Grados Brix | 4.97 ± 0.62 | 5.33 ± 0.63 | 4.39 ± 0.18 | 4.97 ± 0.14 | 4.91 ± 0.47 |
| Licopeno (mg/100g) | 4.72 ± 0.36 | 6.74 ± 1.32 | 5.04 ± 2.50 | 10.71 ± 0.64 | 7.81 ± 2.55 |
| Firmeza (g Fuerza) | 3295 ± 789 | 3335 ± 478 | 3631 ± 486 | 3724 ± 499 | 3048 ± 257 |

dos racimos más de tomate por planta en comparación a los tratamientos que recibieron la mayor cantidad de compost. Aunque no se midió la distancia entre racimo y racimo, es de suponer que el programa de fertilización 100% inorgánica presentó una menor separación entre racimos tomando en cuenta que la longitud total de la planta fue similar entre programas de fertilización.

El mayor número de racimos producidos con el programa de 100% de fertilización inorgánica se vio reflejado en una mayor producción (180 t/ha) en comparación al resto de tratamientos. La producción de 180 t/ha de tomate 'Dominique' obtenida en este estudio fue de aproximadamente un 12% menos a lo reportado en otros estudios para ese mismo cultivar bajo invernadero (205 t/ha) (Siabichay, 2011). Esa diferencia podría estar asociada al manejo y al mayor número de plantas (3.2 p/m²) de tomate utilizadas por Siabichay (2011) en comparación a la densidad de plantas utilizada en nuestro estudio (2.5 p/m²).

La reducción en el rendimiento obtenido a medida que se incrementó el uso de compost en la mezcla de cada programa de fertilización no es algo que deba sorprender. Es importante tomar en cuenta que independientemente del origen de los nutrientes, ya sea orgánico o químico, las plantas obtienen todos los nutrientes en forma inorgánica, usualmente en forma iónica. Debido a que con el fertirriego los nutrientes se suministraron directamente en forma iónica, el programa de 100 % de fertilizante inorgánico tuvo ventaja sobre el uso de un material orgánico ya que los nutrientes estaban inmediatamente disponibles para las plantas.

La liberación de nutrientes de un abono orgánico es un proceso relativamente lento ya que, excepto por los nutrientes adsorbidos sobre la superficie de las partículas de humus o aquellos iones libres en la solución del compost húmedo, la mayor parte de estos debe pasar primero por un proceso de mineralización para convertirse de una forma orgánica a inorgánica. Luego de ello ya pueden ser utilizados por las plantas. El proceso de mineralización de los diferentes nutrientes contenidos en los abonos orgánicos está ampliamente documentado en la literatura (Alexander, 1981), la cual claramente indica que del contenido total de un nutriente en forma orgánica, una fracción de este se mineralizará para uso de las plantas durante el ciclo productivo, por lo que usualmente se deberá suministrar una mayor cantidad de nutrientes en forma orgánica a fin de cubrir la demanda del cultivo.

Aunque el propósito de nuestro estudio no fue comparar un programa de fertilización inorgánica con uno totalmente orgánico, estudios relacionados con ese fin han llegado a concluir que los rendimientos de una producción orgánica es usualmente inferior a la producción convencional. En un análisis realizado a varios experimentos, Seufert *et al.* (2012) determinaron que la razón entre producción orgánica a convencional es de 0.75 para todos los cultivos que analizaron, incluyendo frutas, vegetales y cereales. Para el caso particular del tomate, ese valor es de aproximadamente 0.78. Esto indica una reducción entre 22 – 25 % en la producción obtenida con un manejo orgánico en comparación a un manejo convencional. Otros estudios con

tomate de invernadero indican que la reducción de rendimiento bajo manejo orgánico va de 30 – 40 % en comparación con el manejo convencional (Heeb *et al.*, 2006; de la Cruz-Lázaro *et al.* (2009).

Con relación a los parámetros físicos y químicos obtenidos de las muestras de tomate, excepto por el contenido de licopeno, para el resto de parámetros no se encontró diferencia significativa ($P > 0.05$). Resultados similares han sido reportados en la literatura para algunos de los parámetros químicos evaluados en nuestro estudio (Lumpkin, 2005).

Se encontró que la aplicación del compost aumenta el contenido de licopeno en el tomate. Esto coincide con algunos casos reportados por Lumpkin (2005) quien hizo una comparación de programas orgánicos y convencionales en 5 sitios experimentales. Aunque el contenido de licopeno no es un valor que comúnmente se utilice para verificar la calidad del tomate, si tiene importancia por su valor antioxidante y la coloración roja del fruto (Zapata, 2007). De acuerdo con Lumpkin (2005), el licopeno está asociado con la prevención de enfermedades cardiovasculares y cáncer de próstata y del tracto gastrointestinal.

Debido a que las muestras de tomate se colectaron en el último tercio de la cosecha, es importante que en futuras evaluaciones se evalúen tomates producidos en diferentes momentos del ciclo de la planta a fin de determinar si la calidad varía o se mantiene en el tiempo.

Estudios realizados por otros autores han reportado una clara reducción en el tamaño de los tomates orgánicos en comparación con los tomates convencionales. Sin embargo, el efecto del manejo orgánico sobre la calidad química del tomate es variable, ya que algunos estudios reportan un efecto positivo del manejo orgánico sobre el contenido total de fenoles, sólidos solubles o acidez titulable (Oliveira *et al.*, 2013), mientras que otros estudios no reportan diferencias importantes (Polat *et al.*, 2010). Heeb *et al.* (2006) indican que un suministro adecuado de nutrientes es esencial para la obtención de altos rendimientos y buen sabor del tomate y que la relación entre el suministro de nutrientes y la calidad química del tomate debe seguir siendo investigada.

Adicional a los parámetros físicos, pH y sólidos solubles que se determinaron en nuestro estudio, otros autores también han incluido mediciones del contenido de azúcares (glucosa y fructosa), acidez titulable, ácido cítrico, ácido málico, vitamina C, compuestos fenólicos totales, antocianinas, flavonoides y minerales (Oliveira *et al.*, 2013; Heeb *et al.*, 2006). Esos parámetros deben ser tomados en cuenta en futuras evaluaciones a fin de generar una batería de parámetros físico-químicos para la medición de la calidad de los frutos de tomate.

Algunas conclusiones derivadas del presente estudio incluyen:

- La sustitución parcial de fertilizante inorgánico por compost redujo el rendimiento del tomate de invernadero en un 17% en comparación con la fertilización totalmente química

- El tratamiento con 100% de fertilización inorgánica produjo alrededor de 2 racimos más de tomate en comparación con los tratamientos que recibieron la mayor cantidad de compost, a pesar que todos los programas produjeron plantas de aproximadamente 5 m de longitud.
- Excepto por el contenido de licopeno, el cual se incrementó a medida que aumentó la cantidad de compost en la mezcla de fertilizantes, la calidad del tomate medida por medio de los diferentes parámetros físicos y químicos no fue afectada por el programa de fertilización.
- Es necesario continuar con los estudios sobre el impacto del uso del compost en sustitución, parcial o total, del fertilizante inorgánico sobre el rendimiento y calidad de los productos tanto en cultivos bajo invernadero como a campo abierto.

Agradecimiento

A la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, SENACYT, por el financiamiento del proyecto FODECYT 07-2008. A la Fundación del Azúcar – FUNDAZUCAR – y al Ingenio Madre Tierra por el aporte de las materias primas para la elaboración del compost utilizado en el estudio.

Bibliografía

- Alexander M (1981) *Introducción a la Microbiología del Suelo* AGT Editor, S.A. México
- AOAC (1995) *Official Methods of Analysis* Association of Official Analytical Chemists 16th ed. Virginia, USA
- Bertsch F (2003) *Absorción de nutrientes por los cultivos* Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo ACCS San José, Costa Rica
- Casierra-Posada F, Aguilar-Avendaño, O (2008) *Frutos de tomates cosechados en diferentes estados de madurez* Agronomía Colombiana **26**:300-307
- Cifuentes R, de León R, Porres C, Rolz C (2013) *Windrow composting of waste sugar cane and press mud mixtures* Sugar Tech (en prensa)
- Cifuentes R, Arévalo LA, Beteta C, Sierra AC (2011-2012) *Resultados preliminares de la caracterización de la fertilidad de algunos suelos productores de maíz en Sololá* Food for Progress Project (FFPr10) Universidad del Valle de Guatemala (pendiente de publicación)
- Cifuentes R, de León R, Porres C (2011) *Producción de abono orgánico a partir de cachaza y tallos de caña de azúcar recuperados de las carreteras* Revista UVG **23**:8-17
- Cliff M, Changwen S, Toivonen P (2009) *Effect of 1-methylcyclopropene on the sensory, visual and analytical quality of greenhouse tomatoes* Postharvest Biol Technol **53**:11-15
- De la Cruz-Lázaro E, Estrada-Botello MA, Robledo-Torres V, Osorio-Osorio R, Márquez-Hernández C, Sánchez-Hernández R (2009) *Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato* Universidad Ciencia Trópico Húmedo **25**:59-67
- Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA (1994) *Defining soil quality for a sustainable environment* Soil Science Society of America Madison, Wisconsin, USA
- Gómez PA, Camelo AFL (2002) *Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas* Hort Brasil **20**:38-43
- Gonzalez M, Ruz E (1999) *Efecto de la aplicación de diferentes volúmenes de agua de riego y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de tomate industrial* Agr Tec (Chile) **59**:319-330
- Hazera Genetics (2008) <http://www.hazera.com>
- Heeb A, Lundegårdh B, Savage G, Ericsson T (2006) *Impact of organic and inorganic fertilizers on yield, taste and nutritional quality of tomatoes* J Plant Nutr Soil Sci **169**:534-541
- Jaramillo J, Rodríguez VP, Guzmán M, Zapata M, Rengifo T (2007) *Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de Tomate Bajo Condiciones Protegidas* FAO, Colombia
- Jaramillo J, Rodríguez VP, Guzmán M, Zapata M (2006) *El cultivo de tomate bajo invernadero (Lycopersicon esculentum Mill)* Boletín Técnico 21 Centro de Investigación La Selva, Antioquia, Colombia
- Jones RA, Scott SJ (1984) *Genetic potential to improve tomato flavor in commercial F1 hybrids* J Am Soc Hort Sci **109**:318-321
- Lumpkin H (2005) *A comparison of lycopene and other phytochemicals in tomatoes grown under conventional and organic management systems* Technical Bulletin No. 34 AVRDC publication number 05-623 Shanhua, Taiwan: AVRDC The World Vegetable Center
- MAGA-DIGEGR-IGAC (2013) *Estudio semidetallado de los suelos de Sololá, Guatemala* Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, MAGA Guatemala
- Michigan State University (MSU) (1988) *MSTAC/Crop and Soil Sciences Users Guide: Statistics* East Lansing, Michigan, USA
- Nielsen S (ed) (2010) *Food Analysis* Springer, New York 4th Edition p 610
- Oliveira AB, Moura CFH, Gómez-Filho E, Marco CA, Urban L, Miranda MRA (2013) *The impact of organic farming on quality of tomatoes is associated to increased oxidative stress during fruit development* PLoS ONE **8**(2):e56354
- Polat E, Demir H, Erler F (2010) *Yield and quality criteria in organically and conventionally grown tomatoes in Turkey* Sci Agric **67**:1-7
- Rosales S (1994) *Análisis del comportamiento de la demanda, de la composición de la oferta y de los términos de intercambio de los fertilizantes en Guatemala: 1980-1990* Tesis de Licenciatura. Facultad de Agronomía, USAC. Guatemala
- SeurftV, Ramankkuty N, Foley JA (2012) *Comparing the yields of organic and conventional agriculture* Nature **485**: 229-232
- Siabichay M (2011) *Aclimatación de 10 cultivares de tomate (Lycopersicon esculentum Mill) en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador* Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería Agronómica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador
- Snyder R (2006) *Guía del Cultivo de Tomate en Invernadero* Mississippi State University Extension MSU, USA
- Soto G (2004) *Abonos orgánicos. El proceso del compostaje* En: *Taller de Abonos Orgánicos* G Meléndez, Soto G (eds) pp. 30-56 CATIE/GTZ/CANIAN/UCR Costa Rica
- Sparks D (1996) *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods* American Society of Agronomy Inc., Soil Sci Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA
- Tisdale S, Nelson WL, Beaton JD, Havlin JD (1993) *Soil Fertility and Fertilizers* 5th ed Macmillan Publishing Co, New York, USA
- Zapata L, Gerard L, Davies C, Oliva L, Schvab M (2007) *Mathematical correlation of tomato colour indexes with textural parameters and carotenoids concentration* Cien Doc Tecnol **34**:207-226



(de izquierda a derecha)

Rolando Cifuentes
rcifuen@uvg.edu.gt

Ana Silvia Colmenares
asruiz@uvg.edu.gt

Edwin de León
edeleon@altiplano.uvg.edu.gt

Ximena González
ximena.gn@hotmail.com