



Efecto de dos sustratos mixtos en la producción de dos cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum*

L. cv. Syta y Smarty) bajo un sistema hidropónico recirculante

Llumiyinga Marcillo, José Gabriel

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Flores Flor, Francisco Javier, Ph.D.

30 de septiembre 2020

Urkund Analysis Result

Analysed Document: Efecto de dos sustratos mixtos en la producción de dos cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Syta y Smarty) bajo un sistema hidropónico recirculante

aprobado.pdf (D54403984) Submitted: 26 de agosto de 2020 a las 11:58

Submitted By: fjflores2@espe.edu.ec

Significance: 6%

Sources included in the report:

Trabajo de titulación completa.....

<https://es.....>

<http://www....>

<https://www...>

<https://www...>

Instances where selected sources appear:



Firmado electrónicamente por:
FRANCISCO
JAVIER FLORES
FLOR

.....

Ing. Flores Flor, Francisco Javier, Ph.D

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “Efecto de dos sustratos mixtos en la producción de dos cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Syta y Smarty) bajo un sistema hidropónico recirculante” fue realizado por el señor **Llumiquina Marcellio, José Gabriel** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 29 de septiembre de 2020



Firmado electrónicamente por:
**FRANCISCO
JAVIER FLORES
FLOR**

.....
Ing. Flores Flor, Francisco Javier, Ph.D.

C. C 1713443479



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Llumiyinga Marcillo, José Gabriel**, con cédula de ciudadanía n°1727949230, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Efecto de dos sustratos mixtos en la producción de dos cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Syta y Smarty) bajo un sistema hidropónico recirculante**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 29 de septiembre de 2020

Llumiyinga Marcillo, José Gabriel

C.C.: 1727949230



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Llumiyinga Marcillo, José Gabriel**, con cédula de ciudadanía n°1727949230, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Título: Efecto de dos sustratos mixtos en la producción de dos cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Syta y Smarty) bajo un sistema hidropónico recirculante**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 29 de septiembre de 2020

Llumiyinga Marcillo, José Gabriel

C.C.: 1727949230

Dedicatoria

A mis padres José y Olga por su esfuerzo y apoyo incondicional durante todo mi preparación profesional y humana, son mi fortaleza y modelo a seguir.

A mis hermanos, Roberto y Liliana por su ayuda y consejos.

A todas las personas que, de alguna u otra forma, me motivaron a superar mis límites y que todo es posible con disciplina, ética y trabajo en equipo.

Agradecimiento

A mi familia y a Dios que siempre estuvieron y están con un apoyo y consejo sabio para continuar por el camino del saber y la investigación.

A la Empresa Agrovitech, por la apertura y permitirme ser parte de la misma a través del proyecto de investigación y así aportar un granito de arena a su crecimiento y al desarrollo del sector agropecuario del país, el mismo que necesita nuevos métodos de producción eficientes y amigables con el medioambiente.

A mi director de investigación, Dr. Francisco Flores, por creer y confiar en este proyecto, siempre con el ejemplo de sencillez, de innovar y ser visionario en el ámbito agrícola y de biotecnología.

A mis revisores de tesis, Ing. Emilio Basantes y la Dra. María Emilia Medina, por su ayuda, tiempo valioso invertido en consejos en el desarrollo del proyecto, formación profesional y humana.

A todos mis amigos que han hecho que mi paso por esta hermosa universidad fuera amena y alegre, con subidas y bajadas, pero siempre contando el uno con el otro.

A esta querida universidad, a sus docentes y personal que laboran en ella, en especial de la carrera de Ingeniería Agropecuaria y Biotecnología.

Índice De Contenidos

Carátula.....	1
Urkund Analysis Result.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad De Autoría.....	4
Autorización De Publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice De Contenidos.....	8
Índice De Tablas.....	11
Índice De Figuras.....	12
Resumen.....	13
Abstract.....	14
Capítulo 1.....	15
Introducción.....	15
Antecedentes.....	15
Justificación.....	16
Planteamiento del Problema.....	17
<i>Causas</i>	18
<i>Efectos</i>	18
Objetivos.....	19

	9
<i>Objetivo General</i>	19
<i>Objetivos Específicos</i>	19
Hipótesis	19
Capítulo 2	20
Marco Referencial	20
Generalidades del tomate	20
<i>Tomate riñón</i>	20
<i>Tomate Cherry</i>	21
<i>Origen y distribución geográfica</i>	21
<i>Manejo integral de plagas (MIP)</i>	21
<i>Fisiología</i>	23
Hidroponía	25
<i>Abierta</i>	25
<i>Recirculante o cerrada</i>	26
<i>Sistemas hidropónicos</i>	27
<i>Sustratos en hidroponía</i>	28
<i>Materia orgánica en sustratos hidropónicos</i>	34
<i>Desinfección de sistema hidropónicos cerrados</i>	35
Capítulo 3	36
Metodología	36
Ubicación del lugar de investigación	36

	10
<i>Ubicación Geográfica-Política-Ecológica</i>	36
Métodos	37
<i>Fase Invernadero</i>	37
<i>Manejo del experimento</i>	38
<i>Variables de estudio</i>	40
<i>Diseño experimental y Análisis estadístico</i>	42
Capítulo 4	43
Resultados	43
Caracterización química de los sustratos mixtos de cultivo	43
Parámetros de crecimiento vegetal.....	44
Rendimiento y Calidad de fruto cosechado	48
Discusión	52
<i>Sustrato</i>	52
<i>Parámetros de crecimiento vegetal</i>	54
<i>Rendimiento y calidad de la fruta</i>	55
Capítulo 5	57
Conclusiones Y Recomendaciones	57
Conclusiones	57
Recomendaciones	57
Referencias	59

Índice De Tablas

Tabla 1 <i>Descripción de la ubicación geográfica del proyecto</i>	36
Tabla 2 <i>Tratamientos de la investigación</i>	37
Tabla 3 <i>Solución nutritiva (mg/L) para tomate cultivado en 2 sustratos mixtos</i>	39
Tabla 4 <i>Características químicas de los sustratos mixtos</i>	44
Tabla 5 <i>Correlación entre el índice plastocrónico y tiempo térmico acumulado (°D) de los cultivares Syta y Smarty</i>	47
Tabla 6 <i>Rendimiento de dos cultivares de tomate (Syta y Smarty) producidos en dos sustratos mixtos</i>	48
Tabla 7 <i>Rendimiento y calidad individual de los cultivares: Syta y Smarty cultivados en 20 y 25% de material orgánico inerte</i>	50
Tabla 8 <i>Calidad y peso de fruto del cultivar Syta</i>	51
Tabla 9 <i>Calidad y peso de fruto del cultivar Smarty</i>	51

Índice De Figuras

Figura 1 <i>Desarrollo y crecimiento del fruto de tomate</i>	24
Figura 2 <i>Sistemas hidropónicos según el reciclaje de nutrientes</i>	26
Figura 3 <i>Sistemas hidropónicos</i>	28
Figura 4 <i>Ubicación del proyecto de investigación</i>	36
Figura 5 <i>Distribución de UE en invernadero</i>	37
Figura 6 <i>Esquema del proceso de medición del índice plastocrónico en una planta de tomate ..</i>	41
Figura 7 <i>Efecto de alta salinidad para para los cultivares de tomate Syta (a) ySmarty (b)</i>	43
Figura 8 <i>Crecimiento de los cultivares Syta (S) ySmarty (Sm) en dos sustratos mixtos</i>	45
Figura 9 <i>Promedio \pm error estándar del diámetro de tallo (mm) de los cultivares Syta y Smarty</i>	45
Figura 10 <i>Promedio \pm error estándar del índice plastocrónico y tiempo térmico del cultivar Syta.....</i>	46
Figura 11 <i>Promedio \pm error estándar del índice plastocrónico y tiempo térmico del cultivar Smarty</i>	47
Figura 12 <i>Rendimiento de dos cultivares de tomate: Syta (a) ySmarty (b).....</i>	49

Resumen

La producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero en Ecuador necesita un cambio para reducir la huella ambiental, y suministrar vegetales de alta calidad con métodos de producción sostenibles. Se evaluó el efecto de dos sustratos mixtos de interés de la empresa Agrovitech, sobre la fisiología, rendimiento y calidad de fruto del tomate Syta y Smarty cultivados un sistema hidropónico recirculante: el primer sustrato compuesto por 20% de material orgánico (cascarilla de arroz, de café y aserrín) con 80% de material inorgánico (cascajo) (S20) y el segundo con 25% de material orgánico con 75% de material inorgánico (S25). Se caracterizó los sustratos y se determinó una conductividad eléctrica (CE) inicial alta, de 1,21 y 1,51 dS/m, un pH alto (8.0), una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 11,7 y 13 mEq/100g para S20 y S25 respectivamente, además de un elevado contenido de fosfato y cinc. La CE se redujo a <1 dS/m y pH <7 enjuagando los sustratos antes de su uso. Tanto el CIC como la CE, se incrementaron al final del ciclo productivo, desfavorable para CE, debido a una acumulación de sales y descomposición del material orgánico que afectó al sistema radicular del cultivo, por el contrario, los fosfatos y cinc disminuyeron significativamente para los dos cultivares ($p < 0,05$). El rendimiento estadísticamente fue similar en los dos sustratos, en el cultivar Syta se obtuvo 19,32 y 21,34 kg/m² con S20 y S25 respectivamente. Con el S25 se logró un 10,5% más de rendimiento versus S20, el peso del racimo fue 604,68 g con 40,62% de frutos grandes (70mm < Ø < 100mm) y °Brix entre 4-5. Para Smarty, el rendimiento obtenido con S20 fue de 4,46 kg/m² y con S25, 4,56 kg/m². El incremento en rendimiento con S25 fue del 2,24%, con un peso racimo de 127 g y 8 °Brix. Para ambos sustratos, los parámetros de crecimiento en altura, diámetro de tallo e índice plastocrón fueron similares.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, hidroponía recirculante, sustratos mixtos

Abstract

Greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production in Ecuador needs to change to reduce the environmental footprint and supply high-quality vegetables using sustainable production methods. The effect of two mixed substrates of interest from the Agrovitech company on the physiology, yield and quality of the Syta and Smarty tomato fruit grown in a recirculating hydroponic system was evaluated: first substrate was composed of 20% organic material (rice husk, coffee husk and sawdust) with 80% inorganic material (cascajo) (S20) and the second with 25% organic material with 75% of inorganic material (S25). The substrates were characterized and was determine a high initial electrical conductivity (EC) of 1,21 and 1,51 dS/m, a high pH (=8), a cation exchange capacity (CEC) of 11,7 and 13 mEq/100g for S20 and S25 respectively, in addition to a high content of phosphate and zinc, acceptable to tomato. The CE reduce <1 dS/m and pH <7 by rinsing substrates before use. Both CEC and CE increased at the end of the production cycle, unfavourable for CE, due to an accumulation of salt content and decomposition of organic material that affected the root system, whereas phosphates and zinc decreased significantly for the two cultivars (p <0.05). The yield was statistically similar in the two substrates. However, with the S25 for Syta, 10,5% more yield was achieved (2 kg / m²) versus S20, the truss weight was 604,68 g with 40,62% of large fruits (70mm < Ø <100mm) and °Brix between 4-5. For Smarty, the increase in yield with S25 was 2,24%, the maximum truss weight was 127 g and 8 °Brix. For both substrates, the growth parameters in height, stem diameter, plastochron index were similar.

Key words: *Solanum lycopersicum*, *recirculating hydroponic*, *mixed substrates*

Capítulo 1

Introducción

Antecedentes

En la actualidad, más del 70% de los recursos mundiales de agua dulce se destinan para actividades agropecuarias, y su requerimiento se incrementa cada año debido al crecimiento poblacional, por lo tanto, se espera una escasez crítica de agua para la producción de alimentos bajo una agricultura tradicional (suelo). Para hacer frente a este desafío, los sistemas hidropónicos son una solución porque permiten optimizar el agua de riego, mejorar el control de la nutrición y reducir prácticas agrícolas convencionales (arada y rastra). Sin embargo, los residuos de las soluciones nutritivas en sistemas hidropónicos abiertos, contaminan las aguas subterráneas y facilitan la propagación de patógenos de las especies de *Fusarium*, *Colletotrichum*, *Phytophthora*, *Pythium* y *Rhizoctonia*. Ante esta problemática, los sistemas hidropónicos recirculantes son importantes para conseguir mayor ahorro de recursos. Con esta tecnología se ha logrado incrementar los rendimientos y mejorar la calidad de los alimentos (Constantino *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2014; Schmutz *et al.*, 2016; FAO, 2004).

En los sistemas hidropónicos, no solo la solución nutritiva y el sistema de riego son importantes, sino también, el tipo de sustrato que será el medio de crecimiento para las plantas. Los sustratos deben ser de fácil desinfección, disponibilidad, capacidad de intercambio catiónico, y equilibrio óptimo entre aire y agua para el desarrollo de las raíces. Existe una gran variedad de sustratos del tipo orgánicos, inorgánicos y sintéticos. Por lo tanto, un buen sustrato puede ser el éxito para lograr rendimientos altos en un área limitada, principalmente en hidroponía. En Ecuador, Guanoluisa (2014) evaluó dos sistemas de producción, acolchado e hidropónico Nutrient Film Technique (N.F.T.) para cultivo de tomate Syta, se usó sustrato sintético bajo N.F.T (1,63 plantas/m²), en el cual se obtuvo un rendimiento de 21,24 kg/m², versus las plantas cultivadas en el sistema acolchado (3,76 plantas/m²), en la cual se consiguió 38,05 kg/m². Sin embargo, en el

sistema N.F.T. logró un mayor peso de fruto individual. Choi, Choi, y Lee (2013) evaluaron el efecto de la fibra de coco como medio de crecimiento. El rendimiento de las plantas de tomate cultivadas en fibra de coco fue entre 15,94-18,09 kg/m² (3,79 plantas/m²).

En otra investigación realizada por Ortega Martínez *et al.* (2016) evaluaron tres sustratos. Los sustratos fueron: (1) tezontle (piedra volcánica), (2) fibra de coco, (3) aserrín-compost de ovino (1:1 v/v). Las plantas cultivadas en el sustrato tezontle fueron significativamente mayor en el rendimiento con respecto al resto de sustratos; se obtuvo 25,2 kg/m². Para los sustratos, aserrín-composta el rendimiento total fue de 22,1 kg/m² y en fibra de coco, 16,8 kg/m².

Por todas las investigaciones mencionadas, el cultivo de tomate en un sistema hidropónico con sustratos mixtos o únicos presentan un gran potencial para incrementar la calidad, producción, y reducir la huella de carbono. No obstante, se necesitan de mayores estudios del comportamiento fenológico de las plantas en sistemas hidropónicos recirculantes con sustratos bajo las condiciones climáticas del Ecuador.

Justificación

Los principales sistemas de producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Ecuador se desarrollan bajo invernadero, en el suelo y con hidroponía abierta. Sin embargo, en estos sistemas, principalmente la hidroponía abierta, genera contaminación por los lixiviados del drenaje, provocando pérdidas de agua, fertilizantes y baja rentabilidad al agricultor por los costos productivos altos. Por lo tanto, la implementación de un sistema hidropónico recirculante con un medio de soporte, permite ahorrar un 20% de solución nutritiva, 30% de agua y 60% de fertilizante. De igual manera, para el control de plagas y enfermedades en estos sistemas productivos es casi prohibido el uso de los pesticidas porque contaminan el agua de fertirriego y se translocan a los tejidos de las plantas, por ejemplo, el fungicida metalaxil, que causa irritación al sistema respiratorio. Es así, que el control biológico es la principal herramienta para un manejo plagas y enfermedades (Kubicki *et al.*, 2019; Heuvelink, 2018; Lee y Lee, 2015).

La optimización de los recursos en sistemas hidropónicos recirculantes permite obtener rendimientos altos de tomate desde 16,8, hasta 70 kg/m² por ciclo en los países desarrollados (Heuvelink, 2018). En Ecuador, en cambio bajo invernadero en suelo se obtienen rendimientos entre 2,07-5,17 kg/m² (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2017; Instituto Nacional de Estadística y Censo [INEC], 2018; Varela, 2018). Registros de producción de cultivares de tomate cherry no se encuentran disponibles en el Ecuador por el momento. Sin embargo, producciones de tomate cherry bajo invernadero en suelo en investigaciones son entre 5-15 kg/m² (Conversa *et al*, 2003).

El tomate riñón es una fuente de ingresos económicos de muchos agricultores. Las principales provincias productoras de tomate riñón bajo invernadero son Guayas, Imbabura, Loja, Azuay y Carchi, siendo las principales causas en la pérdida de producción, las sequías y plagas y enfermedades correspondientes al 50,51% y 47,19% respectivamente (López Calvajjar *et al.*, 2017). Por lo tanto, el tomate riñón a pesar de las deficiencias en el proceso productivo, es un cultivo agrícola importante para la seguridad alimentaria de los ecuatorianos con gran potencial para ampliar su industrialización y exportación.

El presente estudio busca contribuir al desarrollo de un sistema productivo, eficiente, amigable con el medio ambiente como es el caso de la hidroponía recirculante con sustratos de crecimiento, elaborados con materiales locales bajo un manejo biológico de plagas y enfermedades que mejoren la productividad y calidad del tomate en Ecuador.

Planteamiento del Problema

El sistema de producción actual de tomate riñón y cherry en Ecuador, bajo sistemas hidropónicos abiertos y en suelo genera una gran contaminación ambiental de los cuerpos de agua (ríos, lagos, aguas subterráneas) por escorrentías superficiales (lixiviación de nitrato), desperdicio de agua de riego y fertilizantes debido a que estos sistemas tradicionales se fertirriegan con un 20 al 40% más de solución nutritiva para evitar la acumulación de sales en el sistema radicular.

Además, el incremento de plagas y enfermedades en los sistemas tradicionales reduce la producción entre el 50 al 90%. Por estas razones, los agricultores se ven en la necesidad de aplicar gran cantidad de plaguicidas para su control, lo que representa el 7% de los costos de producción. Por lo tanto, se deben tomar medidas urgentes para cambiar esta realidad del país, por ejemplo, en Los Países Bajos, se ha prohibido la lixiviación del agua de drenaje de sistemas hidropónicos al suelo para proteger el agua subterránea y también el uso de plaguicidas en sistemas hidropónicos (Choi K. Y. *et al.*, 2016; Heuvelink, 2018; Sela, 2020).

Causas

Sistemas de hidroponía recirculante carecen de personal técnico especializado para el manejo nutricional, sistema de riego y control de plagas y enfermedades.

El costo de instalación de un sistema de hidroponía recirculante es elevado para un agricultor tradicional ecuatoriano, debido a que se necesita de un sistema de riego automatizado, sustratos orgánicos e inorgánicos con parámetros físico-químicos óptimos, equipos para medición de conductividad eléctrica y pH de la solución nutritiva, así como análisis de laboratorio de aguas y foliares para evaluar el funcionamiento del sistema.

La alta concentración de nutrientes presentes en las soluciones nutritivas de los sistemas hidropónicos recirculantes son un medio de cultivo de propagación masiva de plagas y enfermedades que viajan a todo el cultivo por el sistema de fertirriego, además del crecimiento masivo de algas que reduce el desarrollo de las plantas cuando el manejo no es el correcto. Todo esto, obstaculiza el desarrollo del agro con nuevos sistemas de producción.

Efectos

Bajo un sistema productivo tradicional (cultivo en suelo agrícola) se continuarán contaminando los cuerpos de agua (ríos, lagos y lagunas, aguas subterráneas) por los lixiviados de fertilizantes edáficos, la alta concentración de nitratos y otros elementos, además de un desperdicio

del agua de riego. En ese sentido, la falta de implementación de nuevos sistemas de producción, generará un mayor retroceso tecnológico de la agricultura ecuatoriana frente al resto del mundo.

El uso intensivo e inadecuado de los fertilizantes y plaguicidas para incrementar la producción y controlar las plagas en campo como en invernadero, aumentarán los costos de producción del agricultor. En esa línea, los productos agrícolas serán de baja inocuidad debido a la residualidad de moléculas peligrosas de plaguicidas, afectando la salud humana y al medio ambiente.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto de dos sustratos mixtos en la productividad de dos cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Syta y Smarty) bajo un sistema hidropónico recirculante.

Objetivos Específicos

Determinar los parámetros químicos de dos sustratos mixtos: 80:20% y 75:25% en volumen de material inorgánico y orgánico respectivamente, del sistema hidropónico recirculante al inicio y final del ciclo productivo de tomate Smarty F1 y Syta F1.

Identificar en condiciones de invernadero el efecto de los dos sustratos mixtos sobre el desarrollo vegetativo (altura, diámetro de tallo, número de flores cuajadas, grados días desarrollo e índice plastocrónico) y productivo (número de frutos, peso, biomasa).

Determinar la calidad química de tomates híbridos Smarty F1 y Syta F1 (*Solanum lycopersicum* L.) cultivados en dos sustratos mixtos bajo condiciones de hidroponía recirculante.

Hipótesis

H0. No existen diferencias en la productividad de los cultivares de tomate, Syta y Smarty, cultivados en dos sustratos mixtos bajo condiciones de hidroponía recirculante.

H1. Existe un incremento en la productividad de los cultivares de tomate, Syta y Smarty, cultivados en dos sustratos mixtos bajo condiciones de hidroponía recirculante.

Capítulo 2

Marco Referencial

Generalidades del tomate

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es el segundo cultivo vegetal de importancia mundial después de la papa. Se lo consume fresco e industrializado y además es un modelo para el estudio de la fisiología, bioquímica y genética de plantas y frutas debido a su corto ciclo productivo (Thakur, 2017; Lee y Lee, 2015).

En las últimas dos décadas, el cultivo de tomate bajo invernadero se ha incrementado alrededor del mundo, de igual manera, las plagas y enfermedades han aumentado debido al mal manejo de las condiciones climáticas en los invernaderos, en los cuales se emplean cultivares con crecimiento indeterminado, que permiten más tiempo de producción (Gabarra y Besri, 1999; Heuvelink, 2018).

Los principales productores de tomate a nivel mundial son Italia, Estados Unidos, China, España, Israel, México, Turquía y Los Países Bajos, este último se producen tomate con mejor calidad y mayor valor económico (Heuvelink, 2018).

Tomate riñón

Los cultivares de tomate riñón en Ecuador son muy variados. La selección del cultivar se basa en la selección del color de la fruta, el tamaño, resistencia a enfermedades, resistencia a trastornos fisiológicos etc. (Hochmuth y Hochmuth, 1995; Boyhan y Kelley, 2010). Los principales cultivares que las casas comerciales ofrecen son:

Tomate híbrido Pietro, tomate híbrido Candela, tomate híbrido Kartier, tomate híbrido Syta F1, tomate híbrido Tamaris, tomate híbrido Atala, tomate híbrido Alambra, tomate híbrido Airton, tomate híbrido Naty, tomate híbrido Sheila y tomate híbrido Zodiac.

Para el cultivar Syta F1, la producción bajo un sistema N.F.T. fue de 21,24 kg/m² (1,63 plantas/m²) (Guanoluisa, 2014). En cambio, en un sistema acolchado fue de 16,30 kg/m² (3,61 plantas/m²) (Alemán Pérez *et al.*, 2016).

Tomate Cherry

El tomate cherry en Ecuador y en el mundo es muy cotizado por su sabor, mayor °Brix, así como por su tamaño (Heuvelink, 2018). Existen distintos cultivares, los principales ofertados por las casas comerciales en Ecuador son:

Tomate cherry híbrido Regy, tomate cherry híbrido Smarty F1, tomate cherry híbrido Betatini y tomate cherry híbrido Stella.

Registros de productividad sobre el cultivar Smarty F1 no se encuentran disponibles por el momento en Ecuador o su información es muy reservada. Sin embargo, las producciones en los Países Bajos y Europa, están entre 5-15 kg/m² (Conversa *et al.*, 2003)

Origen y distribución geográfica

El tomate es originario de Centro América y América del Sur, desde la región Andina de Colombia, Ecuador hasta Chile, incluyendo las Islas Galápagos. Las tres especies silvestres más relacionadas con el tomate cultivado hoy en día, incluyen la especie de frutos rojos *S. pimpinellifolium* y las especies de frutos naranjas que se encuentran en las Islas Galápagos, *S. galapagense* y *S. cheesmaniae*. La domesticación del tomate en cambio se origina en México, donde los españoles en la época de conquista se llevaron semillas a Europa y en el siglo 18 retornó al continente americano y se distribuyó en todo el territorio como un nuevo cultivo de alto valor nutricional (López, 2016; OECD, 2017; Boyhan y Kelley, 2010).

Manejo integral de plagas (MIP)

En los últimos años, se ha incrementado la contaminación de fuentes de agua, suelo y aire por el uso intensivo de pesticidas. Además, el efecto perjudicial para los polinizadores (abejas,

abejorros) y resistencia de las plagas a los ingredientes activos han promovido la creación de programas para reducir y prohibir su uso (Heuvelink, 2018).

El control biológico es el método más seguro que no causa daños colaterales al medio ambiente y a la salud humana como lo hacen los pesticidas. El uso de microorganismos benéficos (*Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., hongos micorrícicos arbusculares, entomopatógenos etc.) y extractos botánicos son las principales herramientas implementadas para el control de plagas y enfermedades en sistemas hidropónicos y a campo abierto. Sin embargo, el MIP va de la mano con una buena nutrición vegetal (Gabarra y Besri, 1999; Vitti *et al.*, 2015).

Plagas

Las principales plagas son del tipo polífagas que atacan a las hojas y a los frutos en desarrollo (Gabarra & Besri, 1999). Están son: mosca blanca en zonas templadas (*Trialeurodes vaporariorum*) y zonas cálidas (*Bemisia tabaci*), minadores (*Liriomyza trifolii*, *Tuta absoluta*), pulgones (*Aphis gossypii*, *Myzus persicae*), cogollero o barrenador del fruto (*Helicoverpa armigera*), medidor del tomate (*Chrysodeixis chalcites*), gusano trozador (*Agrotis* sp.), gusano soldado o rosquilla negra (*Spodoptera exigua*) y ácaros (Reddy, 2014).

Enfermedades

Las principales enfermedades que se presentan en el cultivo de tomate son: *Alternaria solani* (tizón temprano), *Fusarium oxysporum*, *Pseudomonas syringae*, virus del mosaico del tomate (ToMV) que se transmiten por semilla. *Botrytis cinerea* (pudrición gris), *Pythium aphanidermatum* (podredumbre basal), *Leveillula taurica* (oídio, cenicilla o moho polvoriento), *Clavibacter michiganensis* (cancro bacteriano), *Verticillium dahliae* (marchitez), *Ralstonia solanacearum* (marchitamiento bacteriano) y *Phytophthora infestans* (tizón tardío) que están presentes en el suelo (Heuvelink, 2018; Reddy, 2014; Allende *et al.*, 2017).

Fisiología

La planta de tomate es decumbente, es decir, que no puede soportar su propio peso y necesita de una conducción o tutorado para facilitar su manejo agronómico y mejorar la productividad. Cada etapa fisiológica del tomate está dada por la acumulación de grados días de crecimiento ($^{\circ}\text{D}$) que se define como un índice agroclimático para estimar la fenología de los cultivos basado en el cálculo de acumulación de unidades de calor diarias considerando temperaturas bases y límites superiores de cada cultivo para su buen desarrollo, además de que se utiliza como un predictor de plagas y enfermedades y aplicación de insumos agrícolas. Es así que, para la germinación de las semillas, se necesitan 88 $^{\circ}\text{D}$ y una temperatura mínima de 13 $^{\circ}\text{C}$. En general para un buen crecimiento y desarrollo de la planta de tomate se ha estimado una temperatura base (T_{base}) de 10 $^{\circ}\text{C}$ (<10 $^{\circ}\text{C}$ afecta la fecundación de los óvulos) y un límite superior (T_{cutoff}) de 32,2 $^{\circ}\text{C}$ (>32,2 $^{\circ}\text{C}$ reduce fructificación y fecundación de los óvulos). Finalmente, los $^{\circ}\text{D}$ se relacionan con el índice plastocrócrino (ID), que se define como el intervalo de tiempo entre la formación de un primordio foliar y el inicio del próximo que nos permite determinar la tasa de crecimiento morfológico en una etapa fenológica fija basada en primordios foliares sin destruir la planta. Es un indicador no destructivo del desarrollo de la planta (Erickson y Michelini, 1957; Zalom y Wilson, 1999; López, 2016; Heuvelink, 2018).

Cuajado

El número de flores cuajadas está influenciado por la temperatura. Temperaturas superiores a 40 $^{\circ}\text{C}$ disminuyen la viabilidad del óvulo entre 5-9 días antes de la antesis. En cambio, temperaturas menores a 10 $^{\circ}\text{C}$ y por encima de 35 $^{\circ}\text{C}$ reducen la tasa de crecimiento del tubo polínico. Por lo tanto, para un buen cuajado y desarrollo de la planta de tomate el rango de temperatura óptima bajo invernadero es de 18-32.5 $^{\circ}\text{C}$ (Shamshiri *et al.*, 2018; Heuvelink, 2018).

Desarrollo y Crecimiento del fruto

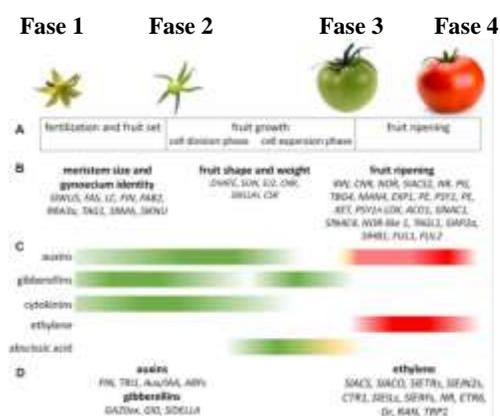
El fruto del tomate es climatérico tipo baya con dos o más carpelos. De acuerdo al número de carpelos se clasifican en tomates redondos (2-3 carpelos), tomates de ternera (>5 carpelos) e intermedios (3-5 carpelos). El desarrollo del fruto presenta un comportamiento de una curva sigmoidea bajo un control genético y hormonal (Figura 1), con cuatro fases diferenciadas con distintos tiempos. El tiempo desde la antesis hasta la cosecha va a depender del cultivar, la nutrición y condiciones climáticas. Por ejemplo, el crecimiento del fruto puede ser de 73 días a 17°C o en 42 días a 26°C (Heuvelink, 2018;Quinet *et al.*, 2019).

Las cuatro fases del desarrollo y crecimiento del fruto como se presenta en la Figura 1 son:

- Fase 1: iniciación floral, formación de carpelo y crecimiento (antesis)
- Fase 2: Polinización, cuajado de frutas y reinicio de la división celular (10 días después de la antesis-DDA)
- Fase 3: expansión celular (de 10-40 DDA)
- Fase 4: maduración de la fruta (de 40-70 DDA)

Figura 1

Desarrollo y crecimiento del fruto de tomate



Nota. El gráfico representa las fases de crecimiento de tomate: (A) Etapas de desarrollo. (B) Genes de control del desarrollo. (C) Hormonas involucradas durante el cuajado y el crecimiento de la fruta (verde) y la maduración de la fruta (rojo). (D) Genes involucrados en la regulación hormonal (Quinet *et al.*, 2019).

Hidroponía

La hidroponía es uno de los sistemas de producción de vegetales más utilizados en todo el mundo y los principales países desarrolladores de la hidroponía, utilizan soluciones nutritivas en lugar de suelo son: Estados Unidos, China, Los Países Bajos, Israel y Japón. Su origen se remonta al año 600 A. C. en los jardines colgantes de Babilonia, y en las culturas; Egipcia, China e India hace unos 1000 años atrás. En el continente Americano, el origen de la hidroponía se centra en la cultura Azteca, con sus jardines flotantes denominados “chinampas” que se extendieron hacia Perú, Bolivia y Ecuador. El sistema hidropónico permite optimizar el consumo del agua, uso eficiente de fertilizantes y reducción de las prácticas agrícolas, sobre todo ha logrado incrementar los rendimientos, mejorar la calidad de los alimentos y reducir el tiempo de maduración en un 25% menos del tiempo normal (Constantino *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2014; Heuvelink, 2018; Beltrano y Gimenez, 2015; Lee y Lee, 2015).

Abierta

La hidroponía abierta es un sistema en el cual los cultivos sembrados en un sustrato se riegan con un 20 al 40% más de solución nutritiva para evitar la acumulación de sales en el medio y el lixiviado no se recicla, sino que se drena en el ambiente, contaminando aguas subterráneas además de que provoca deterioro de la microbiota benéfica y fertilidad del suelo. Este sistema es el más usado en el mundo, incluyendo el Ecuador (Thakur, 2017).

La problemática de la contaminación del ambiente por los lixiviados del agua de drenaje de los sistemas hidropónicos abiertos ha promovido la creación de leyes que prohíban su eliminación al ambiente. Los Países Bajos son un ejemplo de estas políticas que protegen la calidad del agua subterránea (Thakur, 2017).

La solución a los problemas de contaminación por los efluentes, es la implementación de un sistema de riego sin drenaje como son los sensores de reflectometría de dominio de tiempo (TDR) y de reflectometría de dominio de frecuencia (FDR) en lugar de un riego por temporizador

convencional (TIMER), pero el costo de instalación es alto para un agricultor tradicional. Asimismo, el desarrollo de un sistema hidropónico recirculante es otra solución, más accesible para los agricultores (Choi *et al.*, 2015).

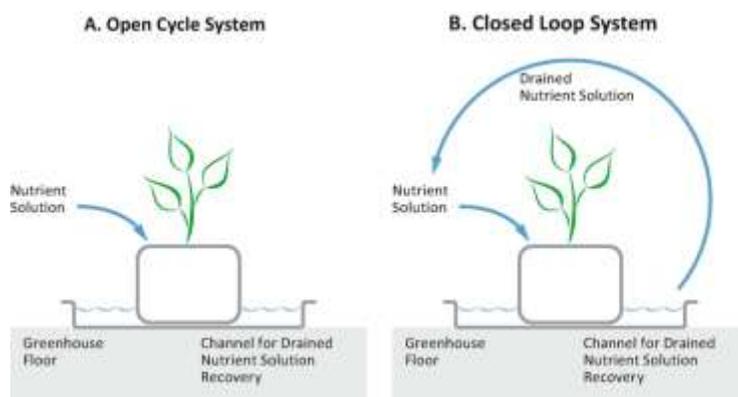
Recirculante o cerrada

Los sistemas de hidroponía cerrados o recirculantes se caracterizan por la recolección del exceso de lixiviados y su reciclaje dentro del sistema. El principal país donde se utiliza con éxito este sistema hidropónico es en Los Países Bajos. Se cabe que la hidroponía recirculante es un gran potencial ecológico, económico y productivo. Se estima que una hectárea de tomate bajo esta tecnología, ahorra un 20% de solución nutritiva, 30% de agua y 60% de fertilizante. Por lo tanto, son más rentables y amigables con el medio ambiente (Gabarra y Besri, 1999; Lee y Lee, 2015).

El principal problema de este sistema es el riesgo de acumulación de compuestos tóxicos (elementos) y patógenos nocivos para el cultivo. Se necesita desarrollar una técnica económica de desinfección de la solución nutritiva a escala industrial y el proceso óptimo de reposición de los nutrientes. Por lo tanto, se requiere de personal técnico calificado para el manejo de cultivos bajo esta tecnología, debido a que un fallo en la solución nutritiva o reposición de la misma, se presentan graves consecuencias fisiológicas y productivas en las plantas (Lee y Lee, 2015).

Figura 2

Sistemas hidropónicos según el reciclaje de nutrientes



Nota. A. Sistema abierto, B. Sistema de circuito cerrado o recirculante (Maucieri *et al.*, 2019).

Sistemas hidropónicos

Nutrient Film Technique (N.F.T.)

La solución nutritiva circula constantemente sin un control de tiempo. No requiere oxigenación (Figura 3e) (Lee y Lee, 2015).

Sistema de goteo (Drip)

Es el sistema más utilizado por muchos años. La solución nutritiva se entrega a las plantas por medio de emisores o goteros. La cantidad de agua se ajusta por medio de un temporizador, TIMER (Figura 3b) (Lee y Lee, 2015).

Sistema de flujo y reflujo (Ebb and Flow)

Las plantas se colocan en el medio de soporte, el cual se inunda periódicamente, acumulándose hasta un nivel. Después de un tiempo, la solución se drena y retorna al tanque (Figura 3c) (Lee y Lee, 2015).

Sistema del reservorio (Deep Water Culture) o raíz flotante

Las raíces se suspenden en la solución nutritiva. Se necesita una bomba de aire para oxigenar la solución y así evitar que las raíces se ahoguen (Figura 3d) (Lee y Lee, 2015).

Sistema de mecha (wick)

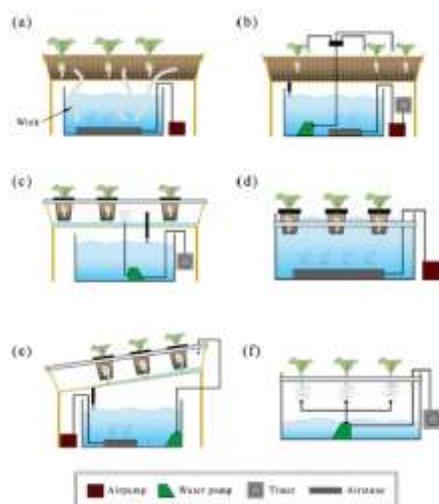
Es un sistema de auto alimentación de menor costo que no necesita una bomba de agua. Las plantas se colocan en un medio absorbente y una mecha de nylon o algodón que comunica las raíces con la solución nutritiva y por capilaridad, el agua y nutrientes ascienden a la zona radicular (Figura 3a) (Lee y Lee, 2015).

Sistema Aeropónico

La solución nutritiva se rocía por medio de una boquilla de microinyección. Los ciclos de nebulización deben ser controlados para evitar que las raíces se marchiten (Figura 3f) (Lee y Lee, 2015).

Figura 3

Sistemas hidropónicos



Nota. La imagen representa los principales sistemas hidropónicos: (a) sistema de mecha. (b) sistema de goteo. (c) sistema de flujo y refluo. (d) sistema de cultivo de agua. (e) sistema N.F.T. (f) sistema aeropónico (Lee y Lee, 2015).

Sustratos en hidroponía

Muchos sistemas hidropónicos utilizan medios de soporte (sustratos) que son variados dependiendo del cultivo y la disponibilidad de la región. Los principales sustratos utilizados son: turba, aserrín, cerámica, perlita, fibra de coco, lana de roca, piedra pómez entre otros. La inclusión de sustratos orgánicos y materia orgánica (humus o compost) benefician el desarrollo de biopelículas de microorganismos benéficos en el sistema radicular de los cultivos hidropónicos orgánicos como en convencionales, por consiguiente, la productividad se incrementa debido al control de enfermedades radiculares, toxicidad del medio nutritivo reciclado y promoción del crecimiento. Sin embargo, el conocimiento sobre las biopelículas en hidroponía orgánica y uso de extractos orgánicos como el vermicompost, bioles, té de frutas etc., está en desarrollo ya que su uso incorrecto puede causar toxicidad en las plantas (Fujiwara *et al.*, 2012; Shinohara *et al.*, 2011; Choi K. Y., Choi, Kim, y Lee, 2016; Arancon, Owens, y Converse, 2019).

En resumen, los tipos de sustratos o medios de crecimiento son de origen orgánico, inorgánico y sintético. No obstante, no existe un sustrato único para todos los cultivos. Se pueden usar sustratos solos o en mezcla, pero estos deben cumplir ciertas condiciones químicas, físicas y nutricionales óptimas y estables para el éxito del cultivo hidropónico (Maucieri *et al.*, 2019).

Sustratos orgánicos

Son de origen natural provenientes de residuos y subproductos de la agricultura y de la industria maderera. Se utilizan generalmente para cultivos con un ciclo de producción corto (<6 meses) debido a que su descomposición aeróbica puede modificar la materia orgánica y provocar un desbalanceo nutricional por la inmovilización de algunos nutrientes como calcio y fósforo en cultivos con ciclos productivos largos (>6 meses) (Domeño, Irigoyen, y Muro, 2009; Maucieri *et al.*, 2019).

Los sustratos orgánicos no son lo mismo que la materia orgánica. Por un lado, la materia orgánica aporta nutrientes a las plantas en forma inmediata, presenta una alta conductividad eléctrica (CE) de hasta 16 dS/m que puede causar daños a nivel radicular de las plantas (Maucieri *et al.*, 2019).

Por otro lado, los sustratos orgánicos deben pasar por la descomposición microbiológica para ser una fuente de nutrientes para las plantas y por lo general presentan una baja CE desde 0,04 a 5,64 dS/m por lo que son óptimos como medios de crecimiento permitiendo un mejor manejo de la fertilización, evitando así problemas de fitotoxicidad por elementos (Domeño, Irigoyen, y Muro, 2009).

Los principales sustratos orgánicos son:

Turba. – es el material más utilizado en hidroponía como en viveros por su excelente estabilidad estructural, buena retención de agua, pH ácido (3-5), alta capacidad de intercambio catiónico (CIC: 100-175 mEq/100g), efecto tamponante y su disponibilidad baja de nutrientes (0,5-0,6 dS/m). Sin embargo, es un recurso no renovable debido a que la industria de la turba está

agotando los pantanos liberando dióxido de carbono al ambiente, erosión del suelo de pantano y secamiento de las fuentes de agua (Maucieri *et al.*, 2019).

Fibra de coco. – es un subproducto de la industria de aceite de coco. Se obtiene de la cáscara del coco y se considera un recurso renovable para la hidroponía y viveros. La fibra de coco tiene un pH más alto que de la turba (5-6,8), un CIC similar a la turba (60-175mEq/100g) y una CE menor a 1 dS/m (Maucieri *et al.*, 2019; Tangolar *et al.*, 2019).

Fibra de madera. – son la corteza, astillas y aserrín. Estos subproductos de la industria maderera se los considera sustratos renovables y aptos para la hidroponía. Sin embargo, se debe utilizar en mezcla con otras fuentes debido a su baja retención de agua, baja aireación y la inmovilización de nutrientes como acumulación de sal y otros elementos tóxicos. Además, presenta un CIC bajo de 1,8 mEq/100g, pH de 4-5 y una CE de 0,6 dS/m (Maucieri *et al.*, 2019; Andika y Ngamau, 2009).

Cáscara de arroz. – se utiliza como cascarilla o biochar para la conformación de sustratos hidropónicos. Se recomienda su mezcla con otras fuentes debido a su rápida descomposición, alta compactación afectando a las raíces. Es un material con alta retención de humedad, alto contenido en potasio por lo que se debe lavar antes de trasplantar las plántulas, también presenta un pH ácido (4-5), un CIC bajo de 1,1 mEq/100g y una CE de 0.4 dS/m (Andika y Ngamau, 2009).

Cáscara de café. – de igual manera que la cáscara de arroz, presenta un contenido alto de potasio, además de taninos y cafeína. Tiene una baja descomposición, y retención de humedad, un pH ácido de 6-7, un CIC de 40-50 mEq/100g y una CE de 2 dS/m (Kassa y Workayehu, 2014).

Otros sustratos. – Kraska *et al.* (2018) demostraron que fibra y astillas de *Miscanthus* como medio de crecimiento para tomate y pepino es una alternativa de reemplazo para los sustratos de lana de roca o turba que no son sostenibles. Así mismo, la incorporación en un 25% de desechos de nidos de hormigas cortadoras de hojas (*Atta opaciceps* y *Acromyrmex balzani*) son una opción prometedora para sustratos orgánicos en hidroponía (Santos *et al.*, 2018).

Sustratos inorgánicos

Son de origen natural o subproductos de procesos industriales relacionados a la obtención de materias primas pétreas. Las características físico-químicas varían mucho dependiendo del sitio, no aportan nutrientes a las plantas, presentan una baja retención de agua, tamaño de partícula recomendado es menor a 5mm de diámetro. Aun así, se puede utilizar materiales con un tamaño de partículas mayor a 5 mm de diámetro. Finalmente se recomienda mezclar con sustratos orgánicos o solos dependiendo del cultivo (Maucieri *et al.*, 2019; Sela, 2020).

Los materiales inorgánicos más utilizados son:

Arena. - de origen natural con un tamaño de partícula entre 0,05 y 2 mm. Presenta pH alcalino de 6 a 8, un CIC (20-25 mEq/100g) y CE (0,1 dS/m) por lo que se recomienda en mezclas con sustratos orgánicos. También se puede usar arenas con mayor tamaño de partícula para mejorar el drenaje del sustrato (Maucieri *et al.*, 2019).

Piedra pómez. - de origen volcánico, muy porosa y ligera con gran capacidad de retención de calcio, potasio, magnesio, y fósforo. Presenta pH muy alcalino de 7 a 9 y una baja CE de 0,08-0,12 dS/m (Maucieri *et al.*, 2019).

Vermiculita. - contiene un alto poder tampón con un CIC de 80-150 mEq/100g. Sin embargo, su estructura se deteriora muy rápido por lo que se recomienda su mezcla con perlita, turba o arena (Maucieri *et al.*, 2019).

Perlita. - es un material ligero con una alta porosidad y un CIC casi neutro de 1,5-3,5 mEq/100g. Asimismo, su CE es baja (0,02-0,04 dS/m) por lo que es muy utilizada en sistemas productivos de hortalizas, además el tamaño de partícula más adecuado es de 2-5 mm y se puede reutilizar después de su desinfección. No obstante, su capacidad tampón es baja por lo que el pH de la solución nutritiva menores a 5, puede causar problemas de fitotoxicidad por aluminio (Maucieri *et al.*, 2019).

Arcilla expandida. - material elaborado a partir del polvo de arcilla tratado a 700°C. se utiliza en combinación con sustratos orgánicos, lo que ayuda a mejorar la aireación y el drenaje de la solución nutritiva. Se recomienda su incorporación entre el 10 y el 35% en volumen (Maucieri *et al.*, 2019).

Lana de roca. - es un material no renovable con cualidades excelentes en mejorar la porosidad y drenaje, permitiendo de esta manera un buen desarrollo del sistema radicular. Su reciclaje es escaso debido a que se compacta fácilmente en un primer ciclo productivo (Maucieri *et al.*, 2019; Domeño, Irigoyen, y Muro, 2009).

Zeolitas. - sustrato conformado por silicatos de aluminio con gran porosidad y liberación lenta de potasio y amonio. Se utilizan preferiblemente en la fase de propagación de plantas y enraizamiento (Maucieri *et al.*, 2019).

Sustratos sintéticos

Están elaborados a partir de materiales plásticos y de resinas sintéticas que se descomponen durante varios años. Entre los principales materiales están:

Poliestireno expandido. - se caracteriza por una baja retención de agua, y efecto tampón del pH. Se utiliza tamaños de partículas entre 4-5 mm (Maucieri *et al.*, 2019).

Espuma de poliuretano. - es un material totalmente inerte, pH neutro y sin aporte de nutrientes, con excepción de que se caracteriza por una capacidad alta de retención de agua (Maucieri *et al.*, 2019).

Sustratos mixtos

Los sustratos mixtos son la combinación de los sustratos anteriormente mencionados para mejorar características físico-químicas, así como reducir costos y la huella de carbono. La combinación de los distintos sustratos (orgánicos, inorgánicos e inertes) es variado y depende de la localidad y del tipo de cultivo. Por lo general se recomienda que la combinación de como resultado un sustrato con baja CE, alto CIC, pH neutro, buena porosidad y retención de agua óptimo.

Para el cultivo de tomate se han probado distintos sustratos mixtos comparándolos con sustratos únicos. Es así como Xing *et al.* (2019) al evaluar dos sustratos, fibra de coco y turba-vermiculita (2:1 en volumen), concluyeron que el sustrato turba-vermiculita es el mejor debido a que incrementa la absorción de calcio, nitrato, azufre, y magnesio por las plantas a excepción del potasio y fósforo, los cuales están más disponibles en la fibra de coco, aun así, el mejor crecimiento radicular se dio en el sustrato mixto turba-vermiculita. En otro estudio realizado por Kraska *et al.* (2018), se evaluó el uso de astillas, fibras de *Miscanthus* comparado con la lana de roca. Al final de la investigación se concluyó que las plantas de pepino y tomate cultivadas en fibras y astillas de *Miscanthus* obtuvieron una productividad similar a la lana de roca y es un sustrato sostenible de reemplazo a la lana de roca que es un recurso no renovable.

Para el cultivo de hortalizas hidropónicas (repollo, malva, eneldo, lechuga roja y tatsoi) se probó el biochar de cáscara de arroz (BC), solo o en combinación con perlita (P). Los sustratos fueron perlita, biochar de cáscara de arroz y perlita-biochar de cáscara de arroz (1:1 v/v). La mayor producción de follaje vegetal y reducción del crecimiento de algas en la solución nutritiva se logró con el sustrato mixto, P:BC. Es así, que Awad *et al.* (2017) recomiendan que la combinación de perlita con biochar es una tecnología prometedora para el cultivo de hortalizas de hoja.

Por otro lado, la combinación de distintos tamaños de partículas de perlita se investigó por Asaduzzaman *et al.* (2013) en el cultivo de zanahoria. Se ensayó con perlitas de 0,3, 0,6, 1,2, 2,5 y 5 mm de diámetro. Se concluyó que las plantas de zanahoria cultivadas en perlitas de 0,3 mm produjeron raíces cortas debido a la falta de oxígeno del sustrato, en cambio perlitas con mayor a 1,2 mm, la retención de agua y nutrientes fue mínimo y se obtuvo rendimientos significativamente bajos con respecto a las plantas cultivadas en perlitas de 0,6 mm, sustrato con el que se logró rendimientos altos de zanahoria. Sin embargo, la combinación de perlitas de tamaño mayor a 1,2 en la base del recipiente y 0,6 mm en la parte superficial mejora las condiciones físico-químicas

del medio de crecimiento para obtener rendimientos altos con un manejo óptimo de la solución nutritiva.

Materia orgánica en sustratos hidropónicos

Para la agricultura e hidroponía orgánica la incorporación de materia orgánica como humus, compost es necesario para obtener un sustrato con suficientes elementos nutritivos debido a que no se pueden usar fertilizantes sintéticos. Sin embargo, se debe tener mucho cuidado con la cantidad de inclusión de materia orgánica, que presenta una CE alta, entre 4 a 16,1 dS/m, lo cual puede provocar fitotoxicidad y quemazón de las raíces. En sistemas hidropónicos recirculantes convencionales, la incorporación excesiva de materia orgánica causa cambios químicos (alta conductividad eléctrica, pH alcalino) de la solución nutritiva, lo cual reducen el crecimiento de las plantas. Por lo tanto, la cantidad recomendada de materia orgánica (humus o compost) que aportan nutrientes de forma inmediata a las plantas, en sustratos para hidroponía orgánica es del 20 al 50% en volumen. En el caso de hidroponía convencional, se recomienda porcentajes más bajos para evitar los problemas antes mencionados. Los porcentajes pueden variar de acuerdo a la cantidad de materiales orgánicos incluidos en sustratos mixtos o únicos (Burnett, Mattson, y Williams, 2016).

Surrage *et al.* (2010), investigaron la incorporación de humus de lombriz o también llamado vermicompost en sustratos mixtos comparado con la lana de roca para cultivo de tomates orgánicos. Los cuatro sustratos estudiados fueron: (1) fibra de coco-humus (porcentajes no dados), (2) fibra de coco-estiércol compostado (30 y 70% en volumen respectivamente), (3) fibra de coco-estiércol compostado-perlita-vermiculita (40-30-15 y 15% v/v), y (4) corteza de pino envejecida-fibra de coco-humus (porcentajes no dados) y el control 100% lana de roca. Las plantas de tomate cultivadas en todos los sustratos orgánicos presentaron mayor rendimiento que las plantas cultivadas en lana de roca, además se redujo la incidencia de pudrición del extremo de la flor. Por lo tanto, la inclusión de materia orgánica en bajos porcentajes permite un efecto significativo en el crecimiento de las plantas y la productividad.

Como se mencionó anteriormente, la cantidad de material orgánico depende del contenido de materiales orgánicos incluidos en los sustratos mixtos o solos. Es así que Domeño, Irigoyen, y Muro (2009), evaluaron la estabilidad de dos sustratos orgánicos, fibra de coco y fibra de madera en cultivo de tomate y como control usaron la perlita. Al final del cultivo, ambos sustratos perdieron materia orgánica por la acción microbiana y liberaron nutrientes a las plantas, de igual manera, la porosidad se redujo provocando procesos anaeróbicos a nivel de raíz que disminuyeron el desarrollo de las plantas. Los rendimientos en los tres sustratos fueron similares, sin diferencias significativas, se obtuvieron 16, 14,4 y 14,6 kg/m² en fibra de madera, fibra de coco y perlita respectivamente. Todos los cambios físico-químicos antes mencionados, deben considerarse antes de la adición de materia orgánica para un manejo eficiente de la solución nutritiva y evitar CE y pH elevados que causan desequilibrios nutricionales y baja productividad en tomate y otros cultivos.

Desinfección de sistema hidropónicos cerrados

La contaminación de aguas subterráneas y suelo por los efluentes de sistema productivos hidropónicos abiertos ha generado que se desarrollen métodos para reutilizar el exceso de solución nutritiva y de tal manera se reduzca el riesgo de propagación de enfermedades o toxicidad para las plantas. Las principales medidas de desinfección y tratamiento de los efluentes son: tratamiento térmico (90°C por 30 segundos, 85°C por 3 minutos), radiación ultravioleta, ozonificación, filtración, uso de sustancias oxidantes (peróxido de hidrógeno) (Runia y Amsing, 2001).

Capítulo 3

Metodología

Ubicación del lugar de investigación

El presente estudio de investigación se ubicará en las instalaciones de la empresa Agrovitech (Figura 4), parroquia de Cotogchoa, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Figura 4

Ubicación del proyecto de investigación



Nota. Instalaciones de la empresa Agrovitech (Google Maps, 2019).

Ubicación Geográfica-Política-Ecológica

La Parroquia de Cotogchoa está localizada al sur occidente del Cantón Rumiñahui, con una superficie de 34,60 km² (Tabla 1).

Tabla 1

Descripción de la ubicación geográfica del proyecto

Variable	Agrovitech
Altitud	2544 m.s.n.m.
Latitud	0°, 21', 36" N
Longitud	78°, 27', 19" O
Temperatura media anual	11,6 °C
Temperatura media máxima anual	25°C
Temperatura media mínima anual	8,7°C
Precipitación anual	1421 mm
Humedad relativa media anual	81%
Zona vida Holdridge	Bosque húmedo-montano
Suelo	Limo-arenoso

Nota. Ubicación y variables climáticas de la empresa Agrovitech (SIGMA Consultores, 2015).

Métodos

Fase Invernadero

Se evaluaron dos sustratos compuestos por material inorgánico (cascajo) al 75 y 80% en volumen), y material orgánico (cascarilla de arroz, cascarilla de café y aserrín) en 20 y 25% en volumen, para dos cultivares de tomate, Syta (R) y Smarty (C). Se colocaron 4 tratamientos con 3 repeticiones (R1, R2, R3 y C1, C2, C3) (Tabla 2). La unidad experimental (UE) estuvo conformada por 14 plantas de cada cultivar, en total 12 UE dispuestas bajo un diseño completamente al azar (DCA). La disposición de los tratamientos se presenta en la figura 5.

Figura 5

Distribución de UE en invernadero

R3-S2	Pasillo	C3-S2
R2-S1		C2-S1
C1-S1		R2-S2
C2-S2		R1-S1
R3-S1		C3-S1
R1-S2		C1-S2
ENTRADA		

Tabla 2

Tratamientos de la investigación

N°	Cultivar de tomate	Sustrato mixto	Tratamiento	Nomenclatura
T1	Syta	A	Tomate riñón cultivado en sustrato con 20% de material orgánico y 80% de material inorgánico.	R-S1
T2		B	Tomate riñón cultivado en sustrato con 25% de material orgánico y 75% de material inorgánico.	R-S2
T3	Smarty	A	Tomate cherry cultivado en sustrato con 20% de material orgánico y 80% de material inorgánico.	C-S1
T4		B	Tomate cherry cultivado en sustrato con 25% de material orgánico y 75% de material inorgánico.	C-S2

Manejo del experimento

Se realizó la siembra, nutrición, control de plagas y enfermedades, entrenamiento y tutorío, podas sanitarias y de formación, en base a las prácticas recomendadas por Hochmuth y Hochmuth (1995), Heuvelink (2018), Boyhan y Kelley (2010), Allende *et al.* (2017), Escobar y Lee (2009) y López (2016).

Siembra

Semillas de tomate variedad Smarty F1 y Syta F1 se sembraron en semilleros con turba a una profundidad de 3 mm (Hoyle, 1983).

Trasplante

A los 45 días después de la siembra (DDS), las plantas con cuatro a cinco hojas verdaderas se trasplantaron a recipientes de 21 L (0,28*0,25*0,30m) con su tratamiento respectivo de sustrato (Boyhan y Kelley, 2010; Ivors y Sanders, 2010). Cada recipiente tendrá dos agujeros en la parte inferior para el drenaje y recolección de lixiviados.

Marco de plantación

Se distribuyó 3,57 recipientes por metro cuadrado, con 2 plantas en cada uno. Cada planta de tomate se manejó a un eje, obteniendo así una densidad de 7,14 plantas/m². Cada recipiente se ubicó en una hilera con pendiente del 2,5%, haciendo coincidir los agujeros con el canal de recolección del sistema recirculante.

Fertirriego

Se utilizó un sistema de riego por goteo, compuesto por un controlador de riego automático controlado por TIMER, además se empleó un tanque de 220 L, bomba eléctrica de agua de ½ HP y una línea de emisores tipo estaca que suministran 40 L/h (regulable) a una distancia de 0,30 m entre emisores. Se utilizó la solución nutritiva estándar, modificada para la presente investigación (Tabla 3). La misma se ajustó a un pH entre 5,5-6,0 y a una conductividad eléctrica de 0,51-2,4

dS/m, acorde a cada etapa fenológica del tomate. Finalmente, los lixiviados se desinfectaron semanalmente con peróxido de hidrógeno al 50% a una dosis de 0,1 ml/L lixiviado.

Tabla 3

Solución nutritiva (mg/L) para tomate cultivado en 2 sustratos mixtos

Nutriente	Etapas fenológicas				
	Trasplante al Primer racimo	Primer racimo al Segundo racimo	Segundo racimo al Tercer racimo	Tercer racimo al Quinto racimo	Quinto racimo a Terminación
N-NO ₃	49,75	155,48	161,08	158	168,08
N-NH ₄	3,36	10,51	12,61	10,08	14,01
P	7,43	23,23	30,97	34,07	44,6
K	60,05	187,67	225,2	273,69	375,34
Ca	40,4	126,25	151,49	180,35	192,37
Mg	12,25	38,29	45,95	48,62	46,19
S	20	50,49	88,17	112,21	169,28
Fe	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Cu	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Mn	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Zn	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
B	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Mo	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
CE (dS/m)	0,51	1,58	1,84	2,01	2,4

Nota. Recuperado de Hochmuth & Hochmuth (1995) y Heuvelink (2018).

Control fitosanitario

El control de plagas y enfermedades se realizó con aplicaciones de formulados en base a *Trichoderma* sp. a una concentración de 2×10^7 UFC/ml y *Bacillus thuringiensis* a 4×10^{10} UFC/ml.

Poda de formación y sanitarias

Se realizó el desbrote de hijuelos (chupones) semanalmente. La poda de foliolos se hará acorde a la etapa fisiológica del cultivar (Heuvelink, 2018).

Tutoreo

Las plantas se tutoraron con cinta de tutoreo enrollando la planta cada 30 cm en la dirección de las manecillas del reloj (García, Narváez-Vásquez, y Orozco-Cárdenas, 2015).

Variables de estudio

Sustrato hidropónico. - Las variables químicas de los sustratos mixtos fueron: Conductividad eléctrica (CE, dS/m), pH y capacidad de intercambio catiónico, macro y micronutrientes.

Fisiológicas y productivas. - Se evaluó las siguientes variables semanalmente desde el trasplante: altura de planta, diámetro del tallo, número y peso de frutos por planta, número de racimos (frutos y flores) materia seca de los frutos, calidad de fruto. Además, se determinó el índice plastocrónico es decir la tasa de crecimiento morfológico (hasta el quinto racimo floral) y grados días de crecimiento ($^{\circ}\text{D}$ o GDC) o también conocido como unidades calor.

Altura de planta y diámetro del tallo. - La altura se midió con un metro desde la base de la planta (pilón) hasta la altura del peciolo de la hoja crítica. El grosor del tallo se tomó al primer, tercer y quinto racimo floral con un Calibrador Pie de Rey digital (Vernier) (Lone *et al.*, 2015; Guanoluisa, 2014).

Número, peso y materia seca de frutos, y número de inflorescencia. - Se contabilizó el número de frutos por planta y se pesó en una balanza digital (Diamond). Para la materia seca, la misma se determinará secando los frutos a 105°C en una estufa por 72 h. El tamaño de muestra fue 20 frutos por tratamiento (Alfano *et al.*, 2007; Kreuger, Meeuws, y Meeuws, 2018). El número de inflorescencia y frutos se contabilizó por cada racimo floral.

Índice plastocrónico (IP). -. El ID se midió en cada etapa fenológica de inflorescencia hasta el quinto racimo floral (Figura 5). Se calculó con la siguiente fórmula propuesta por Erickson y Michelini (1957):

$$\text{IP} = n + (\ln L_n - \ln L_{nR}) / (\ln L_n - \ln L_{n+1})$$

Donde:

n= número de serie o índice secuencial del órgano es decir de la hoja más cercana que excede la longitud crítica (Ej. 7)

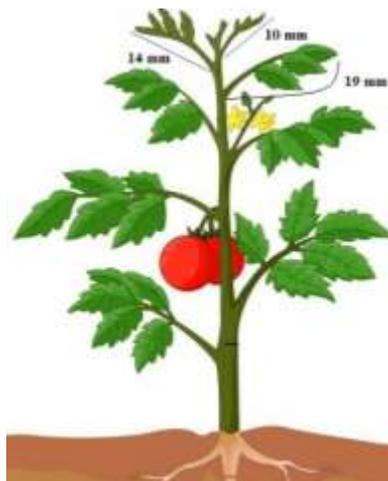
L_n =longitud de un órgano que es igual a, o ligeramente más largo que R (hoja crítica) (Ej. 19 mm)

L_{n+1} =longitud de un órgano que es sólo ligeramente más corta que R (hoja crítica) (Ej. 10 mm)

L_R = longitud de referencia del órgano es decir “hoja crítica” (Ej. 14 mm)

Figura 6

Esquema del proceso de medición del índice plastocrónico en una planta de tomate



Nota. La imagen representa la medición del índice plastocrónico en etapa de floración desde la primera hasta la quinta floración.

Grados días de crecimiento (GDC o °D).- Para el cultivo de tomate se ha estimado una temperatura base (T_{base}) de 10°C y una límite superior (T_{cutoff}) de 32.2°C (Erickson y Michelini, 1957; Zalom y Wilson, 1999; López, 2016). La fórmula para calcular GDC es la siguiente:

$GDD = [(T_{max} + T_{min})/2] - T_{base}$; si $(T_{max} + T_{min})/2 > T_{base}$ y $(T_{max} + T_{min})/2 < T_{cutoff}$

$GDD = T_{cutoff} - T_{base}$; si $(T_{max} + T_{min})/2 \geq T_{cutoff}$

$GDD = 0$; si $(T_{max} + T_{min})/2 \leq T_{base}$

Donde:

T_{max} y T_{min} = temperaturas diarias máximas y mínimas respectivamente

T_{base} y T_{cutoff} = temperatura base (10°C) y temperatura de corte (32.2°C) respectivamente.

Calidad de fruto. - los frutos cosechados de todos los racimos para el cultivar Syta se clasificaron de acuerdo a la normativa del Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) en base

al calibre medido con un Calibrador Pie de Rey digital (Vernier), las categorías fueron; gigante ($\emptyset > 100\text{mm}$), grande ($70\text{mm} < \emptyset < 100\text{mm}$), mediano ($56\text{mm} < \emptyset < 70\text{mm}$), y pequeño ($40\text{mm} < \emptyset < 56\text{mm}$). Para el cultivar Smarty, no se estableció una categorización debido a que se valora más el peso del fruto, pulpa firme y forma (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013). Para todos los tratamientos se determinó los sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$) y pH-zumo, el zumo se obtuvo de 20 tomates por tratamiento. Los $^{\circ}\text{Brix}$ se midieron con un brixómetro digital (Atajo) y el pH-zumo con un pH metro digital (Boeco) (INEN, 1990).

Diseño experimental y Análisis estadístico

El experimento se dispuso bajo un diseño completamente al azar, bifactorial (2×2) con tres repeticiones (Figura 5). Los datos se evaluaron con un Análisis de Varianza (ANAVA) y un ANAVA no paramétrico. Las medias de los tratamientos se compararán con la prueba post-hoc Tukey ($p < 0,05$) y Kruskal y Wallis ($p < 0,05$) utilizando el paquete estadístico InfoStat versión 2018 (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

El modelo matemático será el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + M_j + (CM)_{ij} + e_{ijk},$$

con $i=1, \dots, a$; $j=1, \dots, b$; $k=1, \dots, c$; donde

Y_{ijkl} = variables de respuesta productivas y fisiológicas

μ = media general

C_i = efecto del i -ésimo cultivar de tomate

M_j = efecto del j -ésimo tipo de sustrato

$(CM)_{ij}$ = efecto de la interacción del cultivar de tomate y tipo de sustrato

e_{ijkl} = error experimental

Capítulo 4

Resultados

Caracterización química de los sustratos mixtos de cultivo

Se observaron diferencias significativas de los sustratos antes y al final del ciclo de cultivo para fosfatos ($F_{1,1}=598,14$; $p=0,0260$), cloruros ($F_{1,1}=189,06$; $p=0,0462$) y cinc ($F_{1,1}=206,01$; $p=0,0443$). La concentración de fosfatos, cloruros y zinc en los dos sustratos mixtos presentaron un menor valor en partes por millón (mg/L) al final del ciclo (Tabla 4). Lo que mostró que ambos cultivares de tomate (Syta y Smarty) presentan un requerimiento nutricional significativo, especialmente de fósforo y zinc, lo cual debe ser considerado en la solución nutritiva para próximos ciclos productivos. Los demás parámetros fueron similares, pero se destaca la conductividad eléctrica (CE) y capacidad de intercambio catiónico (CIC). La conductividad eléctrica (CE) en el sustrato con 20% de material orgánico inerte al final del ciclo, independiente del cultivar, fue entre 0,3-0,4 unidades más que el sustrato con 25%. A nivel de producción comercial, esta diferencia, estadísticamente no significativa, genera un efecto negativo en la fisiología de la planta y productividad para plántulas jóvenes (Figura 7). Con respecto al CIC, se evidenció un incremento en ambos sustratos, debido a la degradación del material orgánico (Tabla 4).

Figura 7

Efecto de alta salinidad para para los cultivares de tomate Syta (a) y Smarty (b)



Nota. Las imágenes representan el enrollamiento apical y pérdida de crecimiento por alta salinidad de la solución nutritiva y sales acumuladas en el sustrato.

Tabla 4*Características químicas de los sustratos mixtos*

Parámetros	Unidad	Sin cultivo		Con cultivo (fin del ciclo de 140 días)			
		S20	S25	Sm-S20	S-S20	Sm-S25	S-S25
CIC	mEq/100g	11,7	13	14,8	13,9	28,7	17,4
pH	-	8	8	7,3	7,4	7,5	7,5
CE	dS/m	1,21	1,51	1,92	1,7	1,29	1,58
Nitrato (NO ₃)	mg/L	228	225	238	236	67,8	146
Amonio (NH ₄)	mg/L	0,3	0,3	0,7	0,4	0,6	0,6
Fosfato (PO ₄)	mg/L	103 b ^a	95 b	20,2 a	13,9 a	17,9 a	12,9 a
Potasio (K)	mg/L	207	276	123	115	133	165
Magnesio (Mg)	mg/L	20,3	23,8	61,8	60	43,2	54,8
Calcio (Ca)	mg/L	25,4	29,6	191	169	91,8	136
Sulfato (SO ₄)	mg/L	137	236	390	328	320	351
Sodio (Na)	mg/L	100	120	91,3	75,8	69	77,8
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	64 b	75 b	15	13 a	12	16 a
Hierro (Fe)	mg/L	0,41	0,367	0,134	0,129	0,146	0,13
Manganeso (Mn)	mg/L	0,255	0,207	0,051	0,037	0,048	0,045
Cobre (Cu)	mg/L	0,677	0,572	0,024	0,019	0,015	0,013
Zinc (Zn)	mg/L	0,278 b	0,236 b	0,017 a	0,01	0,009 a	0,008
Boro (B)	mg/L	1,69	1,97	1,91	1,72	1,14	1,36

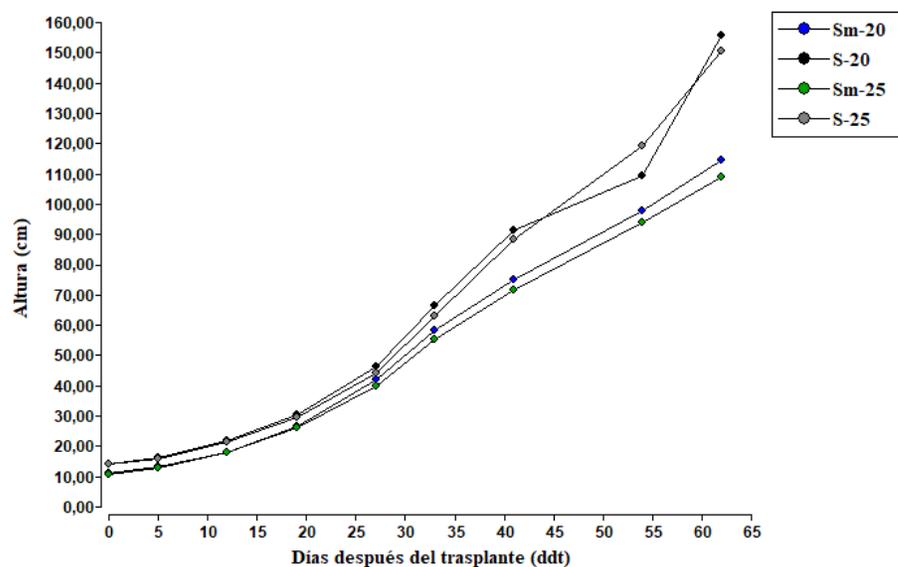
Nota. Caracterización química de los sustratos sin y con cultivo, ^a Medias ± error estándar con la misma letra denota que no hay diferencias significativas (Tukey, p<0,05).

Parámetros de crecimiento vegetal

No se encontraron diferencias significativas de los sustratos sobre la altura de los dos cultivares de tomate pero si fue significativo entre cultivares. Las plantas del tomate Syta a los 62 días después del trasplante, fueron más altas que las plantas de tomate Smarty (Figura 8), un valor a tener en cuenta para el diseño de la infraestructura del invernadero. El diámetro del tallo medido a la altura del racimo 1, 2 y 3 fueron significativos entre cultivares ($F_{1,32}=4,95$; $p=0,0332$). Las plantas del cultivar Syta presentaron al racimo 1 y 3 mayor diámetro de tallo que las plantas de tomate Smarty, el diámetro de tallo al racimo 5 fue similar en ambos cultivares (Figura 9).

Figura 8

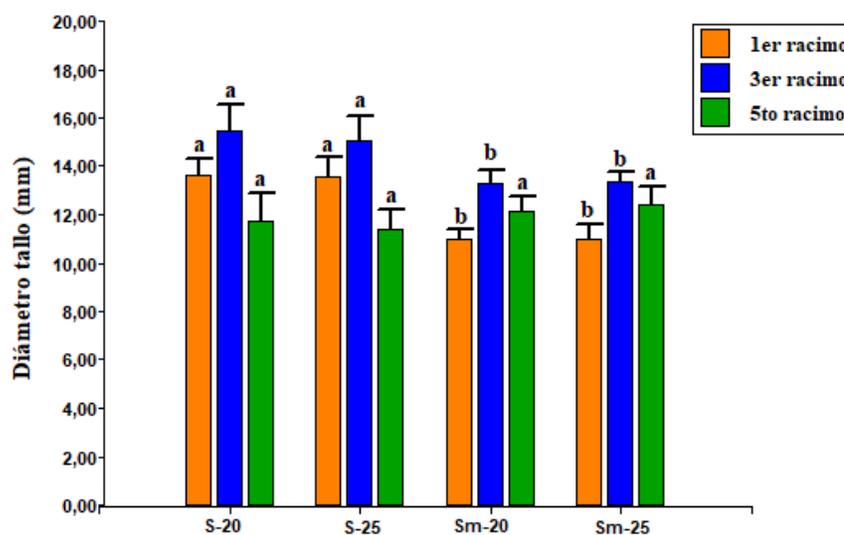
Crecimiento de los cultivares Syta (S) y Smarty (Sm) en dos sustratos mixtos



Nota. El gráfico representa el crecimiento de los cultivares, Syta y Smarty en dos sustratos: 20% y 25% de materia orgánica inerte.

Figura 9

Promedio \pm error estándar del diámetro de tallo (mm) de los cultivares Syta y Smarty

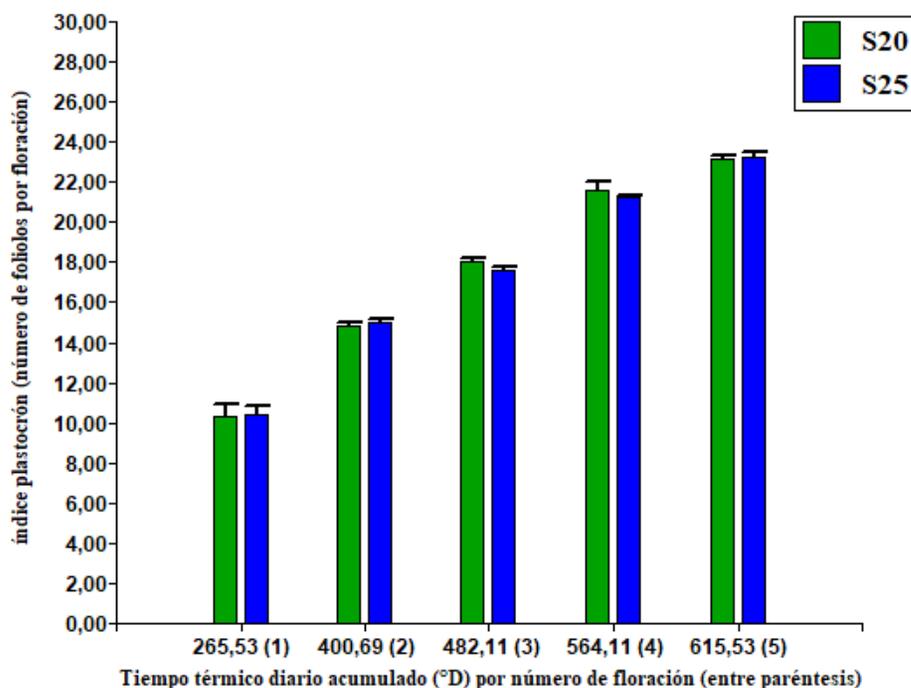


Nota. El gráfico representa el crecimiento del diámetro medido al 1er, 2do y 3er racimo de los cultivares, Syta (S) y Smarty (Sm) cultivados en dos sustratos: 20% y 25% de materia orgánica inerte (Tukey, $p < 0,05$).

La variación del índice platocrónico se correlacionó linealmente con el tiempo térmico diario ($^{\circ}\text{D}$) para todos los tratamientos. Los valores del coeficiente de Pearson (r) fueron significativos ($r=0.9979-0.9986$) (Tabla 5). No se encontraron diferencias significativas del sustrato en la variación del índice platocrónico en ambos cultivares. Si embargo, las plantas de tomate Syta necesitan acumular más días de tiempo térmico que las plantas del cultivar Smarty. Para la primera floración, Syta requiere 37°D más que las plantas de Smarty (Figura 10 y 11). Las otras floraciones presentaron la misma tendencia, más tiempo térmico diario para Syta que Smarty (Figura 10-11).

Figura 10

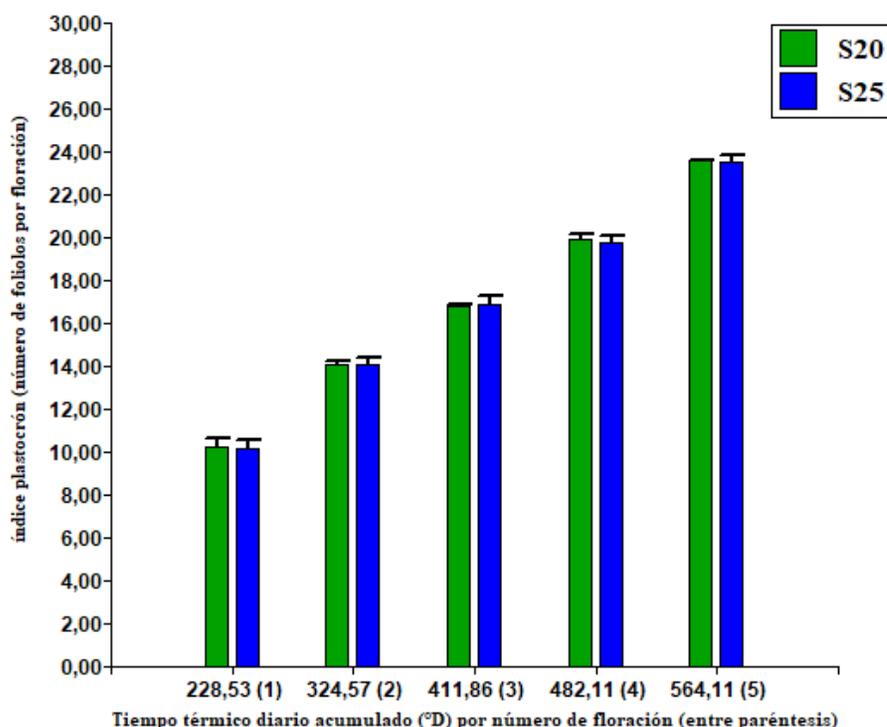
Promedio \pm error estándar del índice plastocrónico y tiempo térmico del cultivar Syta



Nota. El gráfico representa la variación del índice plastocrónico y tiempo térmico diario acumulado por floración en el cultivar Syta producido en dos sustratos: 20% y 25% de materia orgánica inerte.

Figura 11

Promedio \pm error estándar del índice plastocrónico y tiempo térmico del cultivar Smarty



Nota. El gráfico representa la variación del índice plastocrónico y tiempo térmico diario acumulado por floración en el cultivar Smarty producido en dos sustratos: 20% y 25% de materia orgánica inerte.

Tabla 5

Correlación entre el índice plastocrónico y tiempo térmico acumulado (°D) de los cultivares Syta y Smarty

Cultivar	Sustrato	Coefficiente de Pearson	Prueba de la desviación de cero (p-valor)
Syta	20% Material orgánico inerte-	0,9986	0,0001
Smarty	80% cascajo	0,9980	0,0001
Syta	25% Material inorgánico	0,9979	0,0001
Smarty	inerte-75% cascajo	0,9981	0,0001

Nota. La tabla representa el coeficiente de correlación entre el índice plastocrónico (nro. floración) y el tiempo térmico acumulado por floración de los cultivares Syta y Smarty producidos en dos sustratos: 20 y 25% de materia orgánica inerte.

Rendimiento y Calidad de fruto cosechado

El rendimiento de tomate (Figura 12) presentó diferencias significativas entre los dos cultivares ($F_{1,8}=621,01$; $p=0,0001$). Durante un periodo de cosecha de un mes, el sustrato no tuvo efecto significativo sobre el rendimiento acumulado por cultivar, cantidad de frutos por racimo y planta (Tabla 6). Para el cultivar Syta, el rendimiento con 25% de material orgánico inerte fue un 10,5% más de producción por planta (2,99 kg/planta) y metro cuadrado (21,34 kg/m²) que las plantas cultivadas en 20% de material orgánico inerte. El número de frutos por planta fue similar en ambos sustratos, 24,35 y 24,45 frutos/planta respectivamente. En el caso del cultivar Smarty, el rendimiento fue de 0,62 kg/planta y 0,64 kg/planta para el sustrato con 20% y 25% de material orgánico inerte respectivamente.

Tabla 6

Rendimiento de dos cultivares de tomate (Syta y Smarty) producidos en dos sustratos mixtos

Cultivar	Sustrato	Kg/planta ^a	kg/m ^{2c}	Frutos/racimo	Total frutos/planta
Syta	20% Material orgánico inerte- 80% cascajo	2,71 ± 0,13 b ^b	19,32 ± 0,90 b	4,98 ± 0,16 a	24,45 ± 1,07 a
Smarty		0,62 ± 0,04 a	4,46 ± 0,29 a	13,12 ± 0,35 b	65,62 ± 1,73 b
Syta	25% Material inorgánico inerte- 75% cascajo	2,99 ± 0,17 b	21,34 ± 1,2 b	4,93 ± 0,08 a	24,35 ± 0,55 a
Smarty		0,64 ± 0,05 a	4,56 ± 0,32 a	12,63 ± 0,36 b	63,16 ± 1,80 b

Nota. ^a Cosecha al racimo número 5, ^b Medias ± error estándar (n=3) con la misma letra denota que no hay diferencias significativas entre los diferentes tratamientos (Tukey, $p<0,05$), ^c Densidad de 7,14 plantas por metro cuadrado.

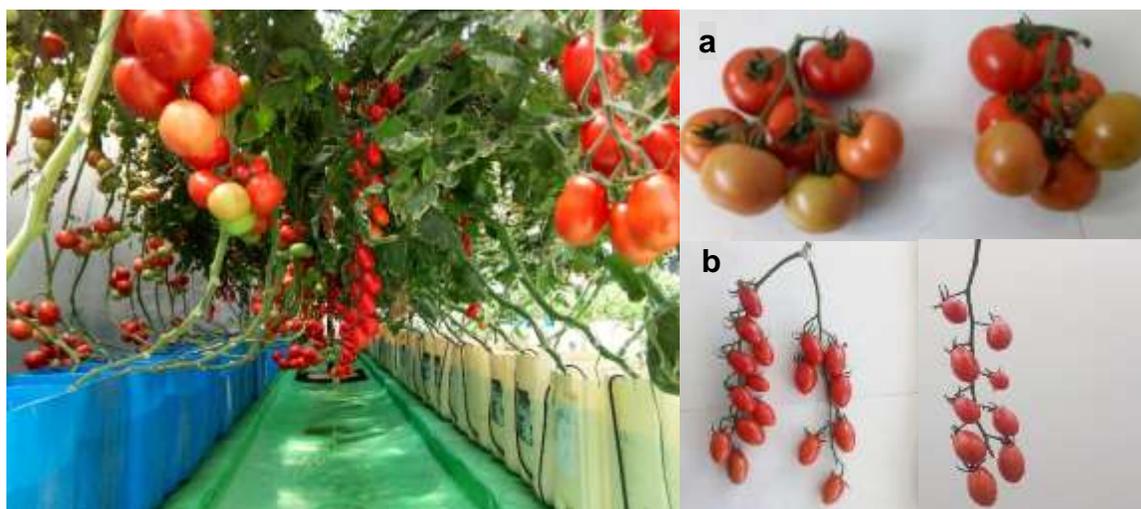
El peso de racimo individual fue significativo entre cultivares en todos los cinco racimos evaluados ($H=44,88$; $p=0,0001$). El promedio de racimo del cultivar Syta fue mayor que del cultivar Smarty, 578,90 gramos y 126,28 gramos respectivamente (Tabla 7). El efecto del sustrato no fue significativo para ambos cultivares. Sin embargo, el efecto de la solución nutritiva (datos no

mostrados) promovió un 9,3% más de peso promedio final para el cultivar Syta cultivado en 25% de material orgánico inerte. Así mismo, los grados brix y materia seca de los últimos racimos en ambos cultivares fueron más altos que los primeros (Tabla 7).

No se encontraron diferencias significativas en el promedio del peso de fruto individual en los sustratos, no obstante, las plantas del cultivar Syta con el sustrato, 25% de material orgánico inerte, se obtuvieron un 9,45% más de frutos de la categoría grande ($70\text{mm} < \varnothing < 100\text{mm}$) y 4,9% menos de frutos pequeños ($40\text{mm} < \varnothing < 56\text{mm}$) que las plantas cultivadas en 20% de material orgánico inerte. Asimismo, la materia seca del fruto fue mayor pero no significativo (Tabla 7). Para el cultivar Smarty, el peso de fruto individual fue similar para ambos sustratos sin diferencias significativas (Tabla 9).

Figura 12

Rendimiento de dos cultivares de tomate: Syta (a) y Smarty (b)



Nota. Las imágenes representan el rendimiento y cosecha en racimo de los cultivares Syta y Smarty producido en dos sustratos mixtos: 20 y 25% de material orgánico inerte.

Tabla 7

Rendimiento y calidad individual de los cultivares: Syta y Smarty cultivados en 20 y 25% de material orgánico inerte

Parámetros	Tratamiento	1er racimo	2do racimo	3er racimo	4to racimo	5to racimo	Promedio	Total
Peso (g)	S-20	590,64 ± 47,65 b ^a	593,93 ± 32,22 ab	549,90 ± 54,98 bc	558,00 ± 51,73 b	473,07 ± 30,25 ab	553,11 ± 20,48 b	-
	S-25	620,47 ± 36,71 b	684,03 ± 33,98 b	643,05 ± 47,58 c	566,45 ± 22,33 b	509,38 ± 40,29 b	604,68 ± 21,49 b	-
	Sm-20	80,37 ± 4,65 a	142,35 ± 20,15 a	146,77 ± 6,09 ab	127,29 ± 3,49 a	127,64 ± 15,36 a	124,88 ± 7,75 a	-
	Sm-25	90,7 ± 4,13 ab	139,42 ± 8,19 a	131,62 ± 10,48 a	147,67 ± 7,26 ab	129,63 ± 18,77 a	127,68 ± 6,73 a	-
°Brix	S-20	3,45 ± 0,12 a	3,51 ± 0,17 a	3,87 ± 0,11 a	4,40 ± 0,18 a	4,54 ± 0,09 a	3,95 ± 0,13 a	-
	S-25	3,78 ± 0,03 ab	3,92 ± 0,14 ab	4,15 ± 0,27 ab	4,57 ± 0,05 ab	4,70 ± 0,09 ab	4,23 ± 0,11 a	-
	Sm-20	7,23 ± 0,03 bc	6,93 ± 0,22 b	7,10 ± 0,06 b	7,86 ± 0,43 c	8,27 ± 0,34 bc	7,48 ± 0,17 b	-
	Sm-25	7,53 ± 0,09 c	7,07 ± 0,09 b	7,10 ± 0,15 b	8,09 ± 0,07 bc	8,77 ± 0,48 c	7,71 ± 0,19 b	-
pH zumo	R-20	4,24 ± 0,06 a	4,39 ± 0,05 ab	4,22 ± 0,05 a	4,23 ± 0,06 ns	4,29 ± 0,05ns	4,27 ± 0,03 a	-
	R-25	4,26 ± 0,04 a	4,22 ± 0,01 a	4,27 ± 0,02 ab	4,21 ± 0,03 ns	4,27 ± 0,01 ns	4,24 ± 0,01 a	-
	C-20	4,55 ± 0,02 b	4,51 ± 0,07 b	4,52 ± 0,02 c	4,26 ± 0,10 ns	4,16 ± 0,07 ns	4,40 ± 0,05 b	-
	C-25	4,48 ± 0,03 ab	4,50 ± 0,02 b	4,48 ± 0,05 bc	4,30 ± 0,12 ns	4,36 ± 0,12 ns	4,42 ± 0,04 b	-
Materia seca (g)	S-20	19,28 ± 0,69 ab	18,35 ± 0,64 ab	25,69 ± 3,25 b	25,09 ± 2,25 bc	23,84 ± 1,49 c	22,45 ± 1,09 b	-
	S-25	23,32 ± 0,73 b	23,00 ± 0,18 b	29,68 ± 7,02 b	27,57 ± 2,28 c	23,36 ± 0,67 c	25,39 ± 1,56 b	-
	Sm-20	9,55 ± 1,01 a	11,21 ± 1,05 a	12,46 ± 1,62 a	12,69 ± 1,19 a	13,34 ± 1,37 bc	11,85 ± 0,60 a	-
	Sm-25	8,16 ± 1,01 a	10,39 ± 0,35 a	11,07 ± 1,33 ab	12,97 ± 0,20 ab	13,63 ± 1,75 a	11,25 ± 0,67 a	-
Número de flores	S-20	6,16 ± 0,13 a	7,10 ± 0,45 ab	7,56 ± 0,21 ab	7,15 ± 0,12 a	7,29 ± 0,48 ab	7,05 ± 0,17 a	35,26 ± 0,46 a
	S-25	6,12 ± 0,15 a	6,82 ± 0,31 a	6,93 ± 0,27 a	7,46 ± 0,17 ab	6,27 ± 0,08 a	6,72 ± 0,15 a	33,59 ± 0,26 a
	Sm-20	13,45 ± 0,19 ab	19,43 ± 2,07 c	22,43 ± 2,16 b	21,83 ± 2,36 b	20,52 ± 1,79 b	19,53 ± 1,12 b	97,67 ± 7,63 b
	Sm-25	14,75 ± 1,17 b	18,61 ± 1,43 bc	23,45 ± 4,39 b	21,27 ± 1,17 b	22,09 ± 1,28 b	20,03 ± 1,19 b	100,16 ± 6,83 b
Número de frutos	S-20	5,28 ± 0,15 ab	5,24 ± 0,17 ab	5,14 ± 0,25 a	4,89 ± 0,20 a	4,37 ± 0,35 a	4,98 ± 0,13 a	24,45 ± 1,08 a
	S-25	5,21 ± 0,08 a	5,02 ± 0,24 a	5,15 ± 0,25 a	4,77 ± 0,21 a	4,52 ± 0,07 ab	4,93 ± 0,10 a	24,35 ± 0,55 a
	Sm-20	10,50 ± 0,29 c	13,57 ± 1,16 c	15,26 ± 0,37 b	12,57 ± 0,51 ab	13,72 ± 1,00 c	13,12 ± 0,51 b	65,62 ± 1,72 b
	Sm-25	10,67 ± 1,27 bc	12,88 ± 0,28 bc	12,72 ± 0,46 ab	13,75 ± 0,62 b	13,14 ± 1,13 bc	12,63 ± 0,42 b	63,16 ± 1,80 b

Nota. ^a Medias ± error estándar (n=3) con la misma letra denota que no hay diferencias significativas entre los diferentes tratamientos (Kruskal y Wallis, p<0,05), ns=no significativo.

Tabla 8*Calidad y peso de fruto del cultivar Syta*

Parámetros	Tratamiento	Clasificación por calibre (diámetro ecuatorial en mm)			
		Extra grande (Ø>100mm)	Grande (70mm<Ø<100mm)	Mediano (56mm<Ø<70mm)	Pequeño (40mm<Ø<56mm)
Peso fruto (g)	S-20	360,00 ± 2,89 cd ^a	172,74 ± 6,03 bcd	110,58 ± 1,13 abc	64,20 ± 1,39 a
		0,63 ± 0,63% ^b	31,37 ± 7,20%	55,8 ± 6,49%	11,7 ± 1,28%
	S-25	365,00 ± 2,89 d	176,51 ± 3,30 bcd	109,15 ± 1,12 ab	66,60 ± 0,90 ab
		0,61 ± 0,61%	40,62 ± 3,71%	51,53 ± 4,54%	6,80 ± 0,60%
%Brix	S-20	4,25 ± 0,03 ns	3,98 ± 0,14 ns	4,00 ± 0,11 ns	3,87 ± 0,16 ns
	S-25	4,79 ± 0,02 ns	4,27 ± 0,15 ns	4,24 ± 0,08 ns	4,16 ± 0,02 ns
Materia seca (g)	S-20	13,57 ± 0,32 cd	5,54 ± 0,26 abcd	5,21 ± 0,27 abc	2,80 ± 0,31 a
	S-25	16,50 ± 0,29 d	7,27 ± 0,55 bcd	4,48 ± 0,27 ab	3,52 ± 0,32 a

Nota. La calidad y peso de fruto es dado por categoría cultivado en dos sustratos mixtos: 20 y 25% de material orgánico inerte, ^a Medias ± error estándar (n=3) con la misma letra denota que no hay diferencias significativas en dirección de filas (Tukey, p<0,05), ns=no significativo, ^b Porcentaje del total de rendimiento (kg/m²).

Tabla 9*Calidad y peso de fruto del cultivar Smarty*

Tratamiento	Peso fruto (g)	%Brix	Materia seca (g)
Sm-20	10,69 ± 0,35 ^a	7,74 ± 0,11	0,92 ± 0,01
Sm-25	10,74 ± 0,50	7,94 ± 0,06	0,90 ± 0,04

Nota. ^a Medias ± error estándar (n=3) con la misma letra denota que no hay diferencias significativas (Tukey, p<0,05)

Discusión

Sustrato

Los sustratos en hidroponía cumplen la función de ser un soporte, retener humedad y brindar aireación al sistema radicular (Maucieri *et al.*, 2019). Sin embargo, también deben cumplir los siguientes parámetros químicos de gran importancia en la nutrición: alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH neutro o medio ácido y conductividad eléctrica (CE) baja. Los sustratos evaluados sin cultivo, registraron un pH de 8, una CE entre 1,21 y 1,51 dS/m y un CIC (mEq/100g) de 11,7 y 13 para 20 y 25% de material orgánico inerte respectivamente. El pH de formulaciones de los sustratos es alto comparado a los de Xiong *et al* (2017) que registraron valores de pH de 7,1 para el sustrato mixto, turba-vermiculita (material pétreo) (2:1, v/v). De igual manera Surrage *et al.* (2010), registraron para los sustratos 100% vermiculita y 100% perlita, un pH de 8,66 y 7,54 respectivamente. Por lo que se recomienda, que todo sustrato de origen pétreo usado para hidroponía, debe ser lavado y retirado la partícula fina para eliminar el exceso de carbonatos y bicarbonatos presentes. Para mejorar el pH de los sustratos hidropónicos, recomiendan que se puede añadir material orgánico inerte (aserrín, cascarilla de arroz), estos materiales contienen sustancias ácidas y material de sílice que bajan el pH, al 100% de concentración tienen un pH de entre 4-4,3.

La CE sin cultivo, fue similar, entre 1,21-1,51 dS/m, estos valores son corroborados por Xiong *et al.* (2017) que determinaron un CE de 1,10 dS/m para el sustrato mixto, turba-vermiculita (2:1, v/v). Asimismo, Andika y Ngamau (2009) al incorporar compost entre el 25-75%, determinaron una conductividad eléctrica alta entre 1,5-1,8 dS/m. Para el valor del CIC en sustratos hidropónicos, este debe ser alto porque es una medida que indica las cargas eléctricas negativas totales para atraer y retener eléctricamente nutrientes. Además, los materiales orgánicos como la cascarilla de arroz y aserrín al 100% presentaron un CIC bajo, 1,1 y 1,8 mEq/100cc respectivamente. En cambio, para sustratos inorgánicos de origen pétreo como la arena, vermiculita, piedra pómez y cascajo tienen un CIC alto entre 20-55 (Maucieri *et al.*, 2019). De tal

manera, el CIC recomendado en sustratos hidropónicos es 6-15mEq/100cc (Nelson, 2014). Para los sustratos evaluados, el CIC fue aceptable, al combinar ambos materiales, los valores fueron entre 11,7-13,0 mEq/100g. Así pues, la combinación de material orgánico inerte e inorgánico en las proporciones idóneas, mejora el CIC, disminuye la CE y permite regular pH para un mejor manejo de la solución nutritiva en hidroponía recirculante, en el caso de una hidroponía abierta, se recomienda una adición de material orgánico y materia orgánica (compost) entre 20-50% (Burnett, Mattson, y Williams, 2016). Los sustratos al final del ciclo productivo, experimentaron un aumento no significativo del CIC, CE y disminución del pH en ambos sustratos mixtos conformados por cascarilla de arroz, cascarilla de café y aserrín (material orgánico inerte) por la actividad microbiana. Domeño, Irigoyen, y Muro (2009), por su parte obtuvieron resultados similares, no registraron cambios significativos en estos parámetros para los sustratos de fibra de coco (FC) y fibra de madera (FM). Sin embargo, la CE presentó un incremento de 3875% (de 0,04 a 1,55 dS/m) para FM, al contrario que la FC, en la cual, la CE, disminuyó al final del ciclo productivo de (6 meses), de 5,64 bajo a 2,32 dS/m. Además, en ambos sustratos se perdió contenido de materia orgánica (MO) entre 16-22% del total y capacidad de aireación (CA) de 15% y 67% para FM y FC respectivamente. Por lo tanto, se debe considerar la retención de nutrientes, degradabilidad de la MO y disminución de la CA en los sustratos con material orgánico que influyen a lo largo del ciclo del cultivo. Por esto último, Kleiber, Markiewicz, y Niewiadomska (2012) recomiendan que una vez finalizado el ciclo del cultivo con sustratos 100% de materiales orgánicos, estos son una fuente de fertilizante e inóculo de microorganismos beneficiosos (hongos, bacterias y actinomicetos) así como una actividad deshidrogenasa, que ayudan a mejorar la fertilidad de los suelos.

Finalmente, los iones minerales influenciados por los sustratos mixtos fueron los fosfatos, zinc y cloruros, este último se encuentra en el rango recomendado (<106 mg/L Cl⁻) por Sonneveld y Voogt (2009), para los fosfatos como zinc, los valores son altos en ambos sustratos. Los fosfatos y el zinc (Zn) disminuyeron significativamente al final del ciclo para ambos cultivares debido al

elevado requerimiento nutricional en la etapa de floración, engrose y maduración del tomate (Heuvelink, 2018). De igual manera, Besford (1979) y Zhu *et al.* (2017), corroboran con sus estudios del efecto del fósforo (P) en el cultivo de tomate y concluyeron que el P promueve un mayor número de flores, mejor desarrollo de los frutos (cuajado y engrosamiento), un mejor crecimiento vegetativo (altura, área foliar) y resistencia a enfermedades. Para el caso del Zn, aplicaciones foliares conjuntamente con boro también promueven una mejor floración, cuajado de las flores y baja incidencia de enfermedades (Ali, Mehraj, y Jamal Uddin, 2015). Por lo tanto, estos dos nutrientes deben ser incrementados en la solución nutritiva para una mejor disposición y absorción constante por parte de las plantas de tomate, cultivar Syta y Smarty.

Parámetros de crecimiento vegetal

El desarrollo fenológico y el índice plastocrón como una herramienta de predicción fenológica para cada floración presentó una asociación positiva para todos los tratamientos ($r=0.99$; $p<0,05$), es decir, que un aumento del índice plastocrón también se incrementa el tiempo térmico diario o unidades calor ($^{\circ}D$). Riga (2015), obtuvieron resultados similares en la predicción de la fenología de plantas de tomate Jack injertadas en 9 patrones, las correlaciones fueron positivas ($r=0,71-0,94$; $p<0,05$). Para la primera floración en el cultivar Syta, se necesitó $265^{\circ}D$ (15 días después del trasplante-ddt) en promedio ($10^{\circ}C < T^{\circ} > 32,2^{\circ}C$), en el cultivar Smarty se necesitó menos $^{\circ}D$, $228^{\circ}D$ (12 ddt). Pasorn *et al.* (2018) por su parte, para una nueva variedad de tomate cherry (F6) de la Universidad de Mahasarakham, para la primera floración se necesitó más tiempo, 31-36 ddt, y mayor $^{\circ}D$. Esta herramienta de predicción fenológica es muy robusta y recomendable para invernaderos con condiciones controlados, pero en campo abierto e invernaderos sencillos, presenta muchas fluctuaciones debido a la región geográfica y clima cambiantes de un año a otro (Zalom y Wilson, 1999).

La longitud de las plantas de los dos cultivares no fue influenciado por los sustratos mixtos. A los 62 ddt, el cultivar Syta alcanzó una altura promedio de 153,20 cm (7 racimos florales). En

cambio, en la misma variedad, cultivada en condiciones de la amazonia ecuatoriana (Provincia del Napo), a los 72 ddt, la altura fue de 293,3 cm (21 hojas) (Alemán Pérez *et al.*, 2016). En otro estudio realizado por Guanoluisa (2014), en la Provincia de Pichincha, al décimo racimo, la altura promedio fue de 2,41 m, en este mismo estudio, el diámetro de tallo al primer y quinto racimo fue de 9,15 y 7,65 mm respectivamente. En cambio, en el presente estudio, el diámetro fue mayor al primer (13,61mm) y quinto racimo (11,59mm). Para el cultivar Smarty, no se ha encontrado investigaciones nacionales, sin embargo, se ha determinado que la altura a los 62 ddt (8 racimos florales) es de 111,68 cm, con 10,96 mm y 12,29 mm de diámetro de tallo al primer y quinto racimo respectivamente. Por su parte, Hidayat, Frasetya, y Syamsudin (2018), para el cultivar Tropical Ruby, con forma y tamaño similares a Smarty, obtuvieron a los 49 ddt, una altura de planta entre 141,2-166,6 cm con diferentes niveles de fósforo en la solución nutritiva.

Rendimiento y calidad de la fruta

El rendimiento promedio del cultivar Syta cultivado con 25% de material orgánico inerte y 75% de material inorgánico fue de 2,99 kg/planta y 21,34 kg/m² (7,14 plantas/m²), el promedio de peso de racimo alcanzó 604,68g (4,93 frutos). Este valor supera en un 1036% y 944% al valor promedio nacional del 2018 y 2019, que fueron de 2,06 kg/m² y 2,26 kg/m² respectivamente (INEC, 2020). Guanoluisa (2014), bajo un sistema hidropónico N.F.T. con 10 racimos cosechados obtuvo un rendimiento similar, de 21,24 kg/m² (1,63 plantas/m²), con un promedio de peso por racimo de 1303 gramos. Por su parte, Alemán Pérez *et al.* (2016), con 8 racimos cosechas del mismo cultivar, consiguieron un rendimiento menor, de 16,30kg/m² (3,61 plantas/m²) bajo un sistema acolchado, el peso de racimo promedio fue de 561 g. Para el tomate Smarty, el rendimiento logrado con el sustrato con 25% de material orgánico fue de 4,56 kg/m² (7,14 plantas/m²), con un peso racimo de 127,687 gramos (12,63 frutos). De la misma manera, Pasorn *et al.*, (2018), para la variedad MSU50-1 y MSU50-6, de forma y tamaño similares a Smarty, consiguieron una productividad de 1,47 y 1,08 kg/planta respectivamente. Asimismo, Hidayat, Frasetya, y Syamsudin (2018), para el cultivar

Tropical Ruby, producidos en un sustrato de carbón y cascarilla (1:1 v/v), el rendimiento con distintos niveles de fósforo, se consiguió una productividad entre 0,83-1,39 kg/planta. Finalmente, para el tomate cherry, variedad Naomi, la productividad por planta fue de 2,9 kg/planta (Conversa *et al.*, 2003).

En relación a la calidad de la fruta, los tomates del cultivar Syta, alcanzaron un valor de grados brix entre 3-5, siendo los frutos de los últimos racimos con mejor sabor. Asimismo, con el sustrato con mayor contenido de material orgánico, se obtuvo un 40,62 % de frutos de categoría grande ($70\text{mm} < \varnothing < 100\text{mm}$) con un peso de 176,51 gramos del total. Para el cultivar Smarty, los grados brix fueron entre 7-8 y un peso de fruto individual de 11 gramos. En ambos cultivares el porcentaje de fruta no comerciable por calibre menor a 40 mm de diámetro (Syta) y por defectos fisiológicos fue menor al 1%. Los valores de grados brix alcanzados son similares a otros cultivares de tomate riñón, que están entre 4,2-5 (Riga, 2015) y 4,2-5,7 (Fanasca *et al.*, 2007). Para tomate cherry, se reportan pesos individuales de fruto de 11 gramos con 8,5 °Brix para las variedades MSU50-1 y MSU50-6 (Pasorn *et al.*, 2018). Venkadeswaran *et al.*, (2018), para distintos genotipos de tomate cherry, lograron un peso de fruto individual entre 3,28-15,96 gramos. Además, en la variedad Naomi, los valores de grados brix promedio están entre 6,2-9 con un peso de fruto individual entre 20-24 gramos (Conversa *et al.*, 2003).

Capítulo 5

Conclusiones Y Recomendaciones

Conclusiones

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas de los sustratos en el rendimiento, sin embargo, la combinación de 25% de material orgánico inerte y 75% de material inorgánico son una proporción adecuada para cultivo de tomate riñón y cherry en hidroponía recirculante que permiten en buen desarrollo radicular y nutrición, debido a una buena capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica baja. Además, al mantener la humedad por mayor tiempo, permite ampliar la frecuencia de riego y ser eficiente con el uso de agua.

Se obtiene un incremento del 10,45% y 2,22% en rendimiento por metro cuadrado en los cultivares Syta y Smarty respectivamente con el sustrato que contiene un 25% de material orgánico. De igual manera se obtuvo un mayor porcentaje de frutos de la categoría grande (Tomate Syta) y aumento de los grados brix en ambos cultivares. Sin embargo, aún existe una brecha para mejorar los rendimientos y la calidad de la fruta individual mejorando el manejo cultural y corrigiendo los nutrientes en la solución nutritiva.

En la fisiología de la planta, ambos sustratos permitieron un buen desarrollo fisiológico: tasa de crecimiento de altura semanal, diámetro de tallo, número de flores cuajadas y biomasa del fruto. Por lo tanto el sistema hidropónico recirculante es recomendado para los cultivares Syta y Smarty por la eficiencia del uso de agua, por cada kilogramo de fruta fresca se necesitaron 60 litros (140 ddt).

Recomendaciones

La materia orgánica, no se recomienda en hidroponía recirculante debido a que cambia la conductividad eléctrica y pH de la solución nutritiva. Al final e inicio de cada ciclo productivo, es recomendable lavar y desinfectar los sustratos evaluados para bajar cantidad de sales retenidas en las partículas. En climas calurosos, es necesario manejar un 25% de material orgánico para retener

humedad y en climas templados se puede usar solo material inorgánico o combinado con un 10% de material orgánico.

El consumo de fósforo y zinc por parte de ambos cultivares es alto, y favorece una mejor floración, cuajado, y resistencia a enfermedades, por lo que se recomienda incrementar su concentración en la solución nutritiva desde el momento del trasplante.

Con base en el índice plastocrónico y grados días desarrollo, se recomienda realizar podas de hojas del primer racimo cuando se tenga 25 hojas y luego podas semanales de 2 hojas hasta dejar entre 15-18 foliolos durante todo el ciclo del cultivo. Igualmente, el aclareo de flores y frutos, el número recomendado a dejar por racimo es de 5-6 frutos para tener homogeneidad en peso y maduración.

Referencias

- Alemán Pérez, R. D., Domínguez Brito, J., Rodríguez Guerra, Y. y Soria Re, S. (2016). *Indicadores morfológicos y productivos del cultivo del tomate en Invernadero con manejo agroecológico en las condiciones de la Amazonía Ecuatoriana*. *Centro Agrícola*, 43(1), 71-76. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852016000100010
- Alfano, G., Lewis Ivey, M. L., Cakir, C., Bos, J. I., Miller, S. A., Madden, L. V., Kamoun, S. y Hoitink, H. A. (2007). *Systemic Modulation of Gene Expression in Tomato by Trichoderma hamatum* 382. *Phytopathology*, 97(4), 429-437. doi:10.1094/phyto-97-4-0429
- Ali, M. R., Mehraj, H. y Jamal Uddin, A. F. (2015). *Effects of foliar application of zinc and boron on growth and yield of summer tomato*. *Journal of Bioscience and Agriculture Research*, 6(1), 512-517. doi:10.18801/jbar.060115.61
- Allende, M., Salinas, L., Rodríguez, F., Olivares, N., Riquelme, J., Antúñez, A., Martínez, J., Corradini, F., Sepúlveda, P., Abarca, P., Guzmán, A. y Felmer, S. (2017). *Manual de cultivo del tomate bajo invernadero*. Boletín Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/12_Manual_de_Tomate_Invernadero.pdf
- Andika, D. O. y Ngamau, K. (2009). *Chemical properties of some organic materials available in Kenya as components of potting substrate*. *World Applied Sciences Journal*, 7(8), 1016-1022. [http://www.idosi.org/wasj/wasj7\(8\)/12.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj7(8)/12.pdf)
- Arancon, N. Q., Owens, J. D. y Converse, C. (2019). *The effects of vermicompost tea on the growth and yield of lettuce and tomato in a non-circulating hydroponics system*. *Journal of Plant Nutrition*, 42(19), 2447-2458. doi:10.1080/01904167.2019.1655049

- Asaduzzaman, M., Kobayashi, Y., Mondal, M. F., Ban, T., Matsubara, H., Adachi, F. y Asao, T. (2013). *Growing carrots hydroponically using perlite substrates. Scientia Horticulturae, 159*, 113-121. doi:10.1016/j.scienta.2013.04.038
- Awad, Y. M., Lee, S. E., Ahmed, M. B., Vu, N. T., Farooq, M., Kim, I. S., Kim., H. S., Vithanage., M., Usman., A. R., Al-Wabel., M., Meers., E., Kwon., E. E. y Ok, Y. S. (2017). *Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. Journal of Cleaner Production, 156*, 581-588. doi:10.1016/j.jclepro.2017.04.070
- Beltrano, J. y Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Edulp. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Besford, R. T. (1979). *Effect of phosphorus nutrition in peat on tomato plant growth and fruit development. Plant and Soil, 51*, 341-353. doi:https://doi.org/10.1007/BF02197781
- Boyhan, G. y Kelley, W. T. (2010). *Transplant Production*. En T. U. Georgia (Ed.), *Commercial tomato production handbook*.(pp. 9-10). Colleges of Agricultural and Environmental Sciences y Family and Consumer Sciences. https://www.researchgate.net/publication/277828005_Commercial_tomato_production_handbook
- Burnett, S. E., Mattson, N. S. y Williams, K. A. (2016). *Substrates and fertilizers for organic container production of herbs, vegetables, and herbaceous ornamental plants grown in greenhouses in the United States. Scientia Horticulturae, 208*, 111-119. doi:10.1016/j.scienta.2016.01.001
- Choi, E. Y., Choi, K. Y. y Lee, Y. B. (2013). *Non-drainage irrigation scheduling in coir substrate hydroponic system for tomato cultivation by a frequency domain reflectometry sensor.*

doi:10.12791/ksbec.2013.22.3.248

- Choi, E. Y., Yoon, Y. H., Choi, K. Y. y Lee, Y. B. (2015). *Environmentally sustainable production of tomato in a coir substrate hydroponic system using a frequency domain reflectometry sensor. Horticulture Environment and Biotechnology*, 56(2), 167-177. doi:10.1007/s13580-015-0036-y
- Choi, K. Y., Choi, E. Y., Kim, I. S. y Lee, Y. B. (2016). *Improving water and fertilizer use efficiency during the production of strawberry in coir substrate hydroponics using a FDR sensor-automated irrigation system. Horticulture Environment and Biotechnology*, 57(5), 431-439. doi:10.1007/s13580-016-0072-2
- Constantino, , N., Mastouri, , F., Damarwinasis, , R., Borrego, , E., Moran-Diez, , M., Kenerley, C., Gao., X. y Kolomiets, , M. (2013). *Root-expressed maize lipoxygenase 3 negatively. Frontiers in Plant Science*, 4(510). doi:<https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00510>
- Conversa, G., Santamaria, P., Carofiglio, O., Gonnella, M. y Parente, A. (2003). *Response of cherry tomato to the electrical conductivity of the nutrient solution. Acta Horticulturae*, 609, 159-164. doi:10.17660/ActaHortic.2003.609.21
- Domeño, I., Irigoyen, N. y Muro, J. (2009). *Evolution of organic matter and drainages in wood fibre and coconut fibre substrates. Scientia Horticulturae*, 122(2), 269-274. doi:10.1016/j.scienta.2009.05.006
- Erickson, R. O. y Michelini, F. J. (1957). *The Plastochron Index. American Journal of Botany*, 44(4), 297-305. doi:10.2307/2438380
- Escobar, H. y Lee, R. (2009). *Manual de producción de tomate bajo invernadero*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13534>
- Fanasca, S., Martino, A., Heuvelink, E. y Stanghellini, C. (2007). *Effect of electrical conductivity, fruit pruning, and truss position on quality in greenhouse tomato fruit. Journal of*

doi:10.1080/14620316.2007.11512263

- FAO. (2004). *The role of water in agricultural development*. Economic valuation of water resources in agriculture. <http://www.fao.org/3/y5582e/y5582e04.htm#bm04>
- Fujiwara, K., Aoyama, C., Takano, M. y Shinohara, M. (2012). *Suppression of Ralstonia solanacearum bacterial wilt disease by an organic hydroponic system*. *Journal of General Plant Pathology*, 78(3), 217-220. doi:10.1007/s10327-012-0371-0
- Gabarra, R. y Besri, M. (1999). *Tomatoes*. En R. Albajes, M. Lodovica Gullino, J. C. Van Lenteren, y Y. Elad (Ed.), *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops* (pp. 420-434). Springer. doi:10.1007/0-306-47585-5
- García, D., Narváez-Vásquez, J. y Orozco-Cárdenas, M. L. (2015). *Tomato (Solanum lycopersicum)*. En K. Wang (Ed.), *Agrobacterium Protocols. Methods in Molecular Biology* (Vol. 1223, pp. 349-361). Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1695-5_28
- Google Maps. (2019). *Ubicación geográfica*. <https://www.google.com/maps/@-0.3601368,-78.4554849,117m/data=!3m1!1e3>
- Guanoluisa, R. (2014). *Evaluación fenológica y rendimiento de dos sistemas de producción bajo Invernadero, en suelo acolchado e hidropónico, para 2 cultivares de tomate (Lycopersicon esculentum, Mill)* [Tesis]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8469>.
- Heuvelink, E. (2018). *Tomatoes* (2 ed.). CABI. doi:10.1192/bjp.112.483.211-a
- Hidayat, C., Frasetya, B. y Syamsudin, I. N. (2018). *Adjustment of phosphorus concentration to increase growth and yield of cherry tomato using hydroponic drip system*. *Jurnal Agro*, 5(2), 140-147. doi:10.15575/3658

- Hochmuth, G. y Hochmuth, B. (1995). *Challenges for growing tomatoes in warm climates*. En A. S. Science (Ed.), *Greenhouse Tomato Seminar* (pp. 34-36). Agricultural Products Inc. (API).
- Hoyle, B. J. (1983). *Crust control aids seedling emergence*. *California Agriculture*, 37, 25-26.
<http://calag.ucanr.edu/archive/?type=pdf&article=ca.v037n01p25>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1990). *NTE INEN 1745: Hortalizas frescas. Tomate riñón. Requisitos*. NTE INEN. <https://archive.org/stream/ec.nte.1745.1990>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Norma para el tomate (CODEX STAN 293-2007, MOD)*. CODEX-INEN.
http://www.fao.org/input/download/standards/11013/CXS_293s.pdf
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censo. (2020). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)* [Archivo Excel]. Estadísticas Agropecuarias.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2018). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)* [Archivo Excel]. Estadísticas Agropecuarias.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Ivors, K. y Sanders, D. (Ed.) (2010). *Commercial Production of Staked Tomatoes in the Southeast*. NC State University. <https://content.ces.ncsu.edu/commercial-production-of-staked-tomatoes-in-the-southeast>
- Kassa, H. y Workayehu, T. (2014). *Evaluation of some additives on coffee residue (coffee husk and pulp) quality as compost, southern Ethiopia*. *International Invention Journal of Agricultural and Soil Science*, 2(2), 14-21.
<http://internationalinventjournals.org/journals/IJAS>
- Kleiber, T., Markiewicz, B. y Niewiadomska, A. (2012). *Organic substrates for intensive horticultural cultures: Yield and nutrient status of plants, microbiological parameters of*

- substrates. Polish Journal of Environmental Studies*, 21(5), 1261-1271.
<http://www.pjoes.com/Organic-Substrates-for-Intensive-Horticultural-r-nCultures-Yield-and-Nutrient-Status,88867,0,2.html>
- Kraska, T., Kleinschmidt, B., Weinand, J. y Pude, R. (2018). *Cascading use of Miscanthus as growing substrate in soilless cultivation of vegetables (tomatoes, cucumbers) and subsequent direct combustion. Scientia Horticulturae*, 235, 205-213. doi:10.1016/j.scienta.2017.11.032
- Kreuger, M., Meeuws, L. y Meeuws, G. (2018). *Applications for Breeding and High-Wire Tomato Production in Plant Factory*. En T. Kozai, *Smart Plant Factory*. Springer. doi:10.1007/978-981-13-1065-2_18
- Kubicki, M., Lamshöft, M., Lagojda, A. y Spiteller, M. (2019). *Metabolism and spatial distribution of metalaxyl in tomato plants grown under hydroponic conditions. Chemosphere*, 218, 36-41. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.11.069
- Lee, S. y Lee, J. (2015). *Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. Scientia Horticulturae*, 195, 206-215. doi:10.1016/j.scienta.2015.09.011
- Li, M., Ishiguro, Y., Otsubo, K., Suzuki, H., Tsuji, T., Miyake, N., Nagai., H., Suga., H. y Kageyama, K. (2014). *Monitoring by real-time PCR of three water-borne zoosporic Pythium species in potted flower and tomato greenhouses under hydroponic culture systems. European Journal of Plant Pathology*, 140(2), 229-242. doi:10.1007/s10658-014-0456-z
- Lone, R., Shuab, R., Sharma, V., Kumar, V., Mir, R. y Koul, K. K. (2015). *Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on growth and development of potato (Solanum tuberosum) plant. Asian Journal of Crop Science*, 7(3), 233-243. doi:10.3923/ajcs.2015.233.243

- López Calvajjar, G. A., López Fernández, R. y León González, J. L. (2017). *Análisis de la influencia de factores climatológicos en la pérdida de superficie sembrada de cultivos transitorios en el Ecuador*. *Revista Científica Agroecosistemas*, 5, 176-183.
<https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/155>
- López, L. M. (2016). *Manual técnico del cultivo de tomate (Solanum lycopersicum)*. INTA.
<http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/3143/1/BVE17079148e.pdf>
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Os, E., Anseeuw, D., Havermaet, R. V. y Junge, R. (2019). *Hydroponic Technologies*. En S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen y G. Burnel (Ed.), *Aquaponics Food Production Systems* (pp. 77-110). Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_4
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). *Boletín Situacional Tomate riñón*. Coordinación General del Sistema de Información Nacional - CGSIN.
<https://fliphtml5.com/ijia/ajne/basic>
- Nelson, P. V. (2014). *Greenhouse Operation and Management*. Pearson Education Limited.
doi:10.1002/9781118895238.ch8
- OECD. (2017). *Tomato (Solanum lycopersicum)*. En Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology (Ed.), *Safety Assessment of Transgenic Organisms in the Environment* (Vol. 7, pp. 69-104). doi:<https://doi.org/10.1787/9789264279728-en>
- Ortega Martínez, D. L., Martínez Valenzuela, C., Ocampo Mendoza, J., Sandoval Castro, E. y Pérez Armendáriz, B. (2016). *Efficiency of substrates in soil and hydroponic system for greenhouse tomato production*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 643-653.
https://www.researchgate.net/publication/328093932_Efficiency_of_substrates_in_soil_and_hydroponic_system_for_greenhouse_tomato_production
- Pasorn, P., Senakun, C., Saensouk, S., Sinsiri, W. y Somboonwattanakul, I. (2018). *Evaluate Characteristics of new cherry tomato varieties of Mahasarakham University*. *International*

Journal of Agricultural Technology, 14(7), 1583-1588. http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v14_n7...

- Quinet, M., Angosto, T., Yuste-Lisbona, F. J., Blanchard-Gros, R., Bigot, S., Martinez, J. P. y Lutts, S. (2019). *Tomato Fruit Development and Metabolism*. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1-23. doi:10.3389/fpls.2019.01554
- Reddy, P. (2014). *Solanaceous Vegetable Crops*. En P. P. Reddy (Ed.), *Biointensive Integrated Pest Management in Horticultural Ecosystems* (pp. 73-130). Springer. doi:10.1007/978-81-322-1844-9
- Riga, P. (2015). *Effect of rootstock on growth, fruit production and quality of tomato plants grown under low temperature and light conditions*. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 56(5), 626-638. doi:10.1007/s13580-015-0042-0
- Runia, W. T. y Amsing, J. J. (2001). *Disinfection of recirculation water from closed cultivation systems by heat treatment*. *Acta Horticulturae*, 548, 215-222. doi:10.17660/ActaHortic.2001.548.23
- Santos, R. S., Bueno Guerra, M. B., Ambrogi, B. G. y Sousa-Souto, L. (2018). *Nest refuse of leaf-cutting ants as a growing substrate for organic farming systems*. *Organic Agriculture*, 8(4), 315-324. doi:10.1007/s13165-017-0199-1
- Schmautz, Z., Loeu, F., Liebisch, F., Graber, A., Mathis, A., Bulc, T. G. y Junge, R. (2016). *Tomato productivity and quality in aquaponics: Comparison of three hydroponic methods*. *Water*, 8(11), 1-21. doi:10.3390/w8110533
- Sela, G. (2020). *Fertilización y riego - teoría y mejores prácticas*. Cropaia. <https://cropaia.com/es/libro-fertilizacion-riego/#:~:text=%C2%ABFertilizaci%C3%B3n%20y%20riego%20E2%80%93%20teor%C3%ADa%20y%20mejores%20pr%C3%A1cticas%C2%AB&text=A%20lo%20largo%20de%20las,en%20el%20suelo%20y%20agua>

- Shamshiri, R. R., Jones, J. W., Thorp, K. R., Ahmad, D., Man, H. C. y Taheri, S. (2018). *Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: A review. International Agrophysics*, 32(2), 287-302. doi:10.1515/intag-2017-0005
- Shinohara, M., Aoyama, C., Fujiwara, K., Watanabe, A., Ohmori, H., Uehara, Y. y Takano, M. (2011). *Microbial mineralization of organic nitrogen into nitrate to allow the use of organic fertilizer in hydroponics. Soil Science and Plant Nutrition*, 57(2), 190-203. doi:10.1080/00380768.2011.554223
- SIGMA Consultores. (2015). *Plan de Desarrollo Estratégico y Ordenamiento Territorial: Parroquia Cotogchoa 2015-2019. SIGMA.* http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1768097440001_DIAGNOSTICO_PDyOT_GAD_PARROQUIAL_COTOGCHOA_2015_2019_29-10-2015_11-50-42.pdf
- Sonneveld, C. y Voogt, W. (2009). *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Springer. doi:10.1007/978-90-481-2532-6
- Surrage, V. A., Lafrenière, C., Dixon, M. y Zheng, Y. (2010). *Benefits of vermicompost as a constituent of growing substrates used in the production of organic greenhouse tomatoes. HortScience*, 45(10), 1510-1515. doi: 10.21273/HORTSCI.45.10.1510
- Tangolar, S., Baştaş, P. C., Torun, A. A. y Tangolar, S. (2019). *Effects of Substrate and Crop Load On Yield and Mineral Nutrition of 'Early Sweet' Grape Cultivar Grown in Soilless Culture. Erwerbs-Obstbau*, 61, 33-40. doi:10.1007/s10341-019-00446-0
- Thakur, N. (2017). *Increased Soil-Microbial-Eco-Physiological Interactions and Microbial Food Safety in Tomato Under Organic Strategies*. En V. Kumar, M. Kumar, S. Sharma y R. Prasad (Ed.), *Probiotics and Plant Health* (pp. 215-232). Springer. doi:10.1007/978-981-10-3473-2

- Varela , A. (2018). *Estudio de la producción y comercialización del tomate riñón (Lycopersicum esculentum) en el cantón Pimampiro, de la provincia de Imbabura* [Tesis]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8810>.
- Venkadeswaran, E., Irene Vethamoni, P., Arumugam, T., Manivannan, N. y Harish, S. (2018). *Evaluation and Selection of Cherry Tomato [Solanum lycopersicum (L.) var. cerasiforme Mill.] Genotypes for Growth and Yield Contributing Characters. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 1155-1165. doi:10.20546/ijcmas.2018.706.289
- Vitti, A., La Monaca, E., Sofo, A., Scopa, A., Cuypers , A. y Nuzzaci, M. (2015). *Beneficial effects of Trichoderma harzianum T-22 in tomato seedlings infected by Cucumber mosaic virus (CMV). BioControl*, 60(1), 135-147. doi:10.1007/s10526-014-9626-3
- Xing, J., Gruda, N., Xiong, J. y Liu, W. (2019). *Influence of organic substrates on nutrient accumulation and proteome changes in tomato-roots. Scientia Horticulturae*, 252, 192-200. doi:10.1016/j.scienta.2019.03.054
- Xiong, J., Tian, Y., Wang, J., Liu, W. y Chen, Q. (2017). *Comparison of coconut coir, rockwool, and peat cultivations for tomato production: Nutrient balance, plant growth and fruit quality. Frontiers in Plant Science*, 8, 1-9. doi:10.3389/fpls.2017.01327
- Zalom, F. G. y Wilson, L. T. (1999). *Predicting phenological events of California processing tomatoes. Acta Horticulturae*, 487, 41-47. doi:10.17660/actahortic.1999.487.2
- Zhu, Q., Ozores-Hampton, M., Li, Y., Morgan, K., Liu, G. y Mylavarapu, R. S. (2017). *Effect of phosphorus rates on growth, yield, and postharvest quality of tomato in a calcareous soil. HortScience*, 52(10), 1406-1412. doi:10.21273/HORTSCI12192-17