




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 20 de enero del año 2020, el que suscribe Marino Valenzuela López, alumno del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 1173274-1, de la Unidad Académica Facultad de Agronomía, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Tomás Díaz Valdés y Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba cede los derechos del trabajo titulado "Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco", a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE



Marino Valenzuela López



UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL Y REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El uso excesivo de agroquímicos en la agricultura preocupa a los consumidores a nivel mundial, debido al alto grado de contaminantes que los frutos pudieran contener; además, de los problemas ambientales que estos pueden generar en los suelos agrícolas y aguas (superficiales y subterráneas) del planeta. Para reducir el impacto negativo de los agroquímicos en el medio ambiente y en la inocuidad de los diferentes cultivos, se recomiendan sistemas de producción orgánica u orgánica-mineral que supriman o reduzcan el uso de fertilizantes, insecticidas, herbicidas. En general de agroquímicos sintéticos. Entre los abonos orgánicos de origen animal o vegetal, la vermicomposta, los biofertilizantes y los ácidos fúlvicos, entre otros, son buenas opciones para complementar la nutrición de los cultivos y así reducir significativamente el uso de fertilizantes sintéticos y los costos de producción (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010). El uso intensivo de fertilizantes inorgánicos en la agricultura, ha causado problemas de contaminación ambiental (Polat *et al.*, 2010; Durdane *et al.*, 2011); agudizándose más al aplicarlos en dosis superiores a los requerimientos de los cultivos (Peña-Cabrales *et al.*, 2001). La nutrición balanceada obliga a sincronizar la demanda y el suministro de nutrimentos, lo que permite optimizar el uso de fertilizantes y evita la contaminación de mantos acuíferos y la salinización de los suelos (Villarreal-Romero *et al.*, 2006), esto ha conllevado a la necesidad de aplicar elementos nutritivos en forma racional, ya que, con el paso de los años, se han hecho evidentes los riesgos que implica el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas sobre la salud humana (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2007), por lo que para disminuir problemas de contaminación, los sistemas de producción han sido modificados al combinar fertilización orgánica con mineral (Rinaldi *et al.*, 2007). Sin embargo, para reducir y eliminar los efectos adversos de los fertilizantes sintéticos sobre el medio ambiente, nuevas prácticas agrícolas se han desarrollado en la llamada agricultura orgánica, ecológica y agricultura sustentable (Chowdhury, 2004). El humus de lombriz, como sustrato, permite

satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos en invernadero, y reducir significativamente el uso de fertilizantes sintéticos (Manjarrez-Martínez *et al.*, 1999; Rodríguez-Dimas, 2009), además de ser un mejorador de suelo que no contamina (Urrestarazu *et al.*, 2001). Según Márquez y Cano (2005), los elementos nutritivos contenidos en el humus de lombriz son suficientes para obtener producciones aceptables de tomate cherry. Incluso, cuando éste es mezclado en concentraciones de 12.5 y 50% con arena (Moreno-Reséndez *et al.*, 2005). Las características antes referidas acerca de los sustratos, han originado que en la industria hortícola el humus de lombriz se considere con alto potencial comercial para proporcionar el medio de crecimiento de plántulas en almácigos y plantas en recipientes mayores (Ndegwa y Thompson, 2000). Rodríguez-Dimas *et al.* (2008) citan que además de satisfacer la demanda nutricional de los cultivos hortícolas en invernadero y reducir significativamente el uso de fertilizantes sintéticos, contiene sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento, tiene alto contenido de ácidos húmicos, en el suelo elevan la capacidad de intercambio catiónico, aumenta la porosidad y capacidad de retención de humedad, y facilita la aireación y el drenaje. La fertilización mineral es una de las prácticas agrícolas que conllevan a incrementos notables del rendimiento; sin embargo, su uso inapropiado afecta el ambiente de modo adverso, creando relaciones entre nutrimentos desfavorables que pueden provocar desequilibrios nutricionales en las plantas; acidificando o salinizando los suelos; alterando la biota del suelo; contaminando el manto freático debido al lavado de los nitratos y contribuyendo al calentamiento global con la liberación de gases nitrogenados hacia la atmósfera. El uso de una solución nutritiva equilibrada repercute en la cantidad total de fertilizantes utilizados, así como en el cuidado de los recursos naturales, porque contribuye a desperdiciar menos fertilizantes al medio ambiente. Existen diferentes formulaciones de soluciones nutritivas, como la universal de Steiner y la de Hoagland, entre otras. Su uso al 100% de su concentración depende de diversos factores, como los ambientales, por lo que una forma de proceder es estudiar soluciones nutritivas diluidas en las que se puede regular la cantidad y la proporción relativa de las sales minerales

(Gómez-Hernández y Sánchez-del-Castillo, 2003). También existe un creciente interés por utilizar fuentes orgánicas de fertilización para utilizarlos como sustratos para la producción de hortalizas, en un intento por regresar a los sistemas naturales de producción.

El uso de estos sustratos orgánicos ha cobrado mayor importancia por diversas razones; desde el punto de vista económico ya que son de bajo costo y como fomento hacia una agricultura orgánica. En este sentido, los residuos orgánicos procesados con métodos de solarización (Vázquez-Vázquez *et al.*, 2010) y vermicompost (Domínguez *et al.*, 2010) tienen un potencial comercial amplio en la industria hortícola, como medio de crecimiento para almácigos y plantas. El vermicompost es una fuente sostenible de macro y micronutrientes y tienen una influencia considerable para mejorar el crecimiento de plantas de manera significativa cuando se utilizan como componentes de los suelos hortícolas o medios de contenedores (Sahni *et al.*, 2008). Además permite satisfacer la demanda nutricional de los cultivos hortícolas en invernadero, y reducir significativamente el uso de fertilizantes sintéticos (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2008). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar las respuestas de crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas con diferente concentración de nutrimentos aplicadas en sustratos constituidos a base de humus de lombriz y fibra de coco en dos estudios realizados durante los ciclos agrícolas 2011-2012 y 2013-2014 con los cultivares Imperial y Girona respectivamente.

1.2. Problema científico

Por la incertidumbre acerca de lo adecuado o excesivo que pudiera representar la fórmula nutrimental Steiner como tecnología que se aplica para el cultivo del tomate bajo sistemas protegidos, así como el desconocimiento de la interacción de dicha fórmula con los sustratos humus de lombriz y fibra de coco, para practicar agricultura más sustentable, contribuir menos en el deterioro del medio ambiente y hacer más competitivos a los sistemas de producción, fue necesario investigar con respecto a la posibilidad de generar una tecnología que proporcione esos beneficios para el productor y la sociedad en general.

1.2.1. Hipótesis

El nivel de concentración de la solución nutritiva Steiner es elevado, por lo que de esta tecnología se puede generar otra con menos concentración nutrimental que ocasione las mismas respuestas en el crecimiento y rendimiento del tomate en condiciones protegidas, sin que la eficacia disminuya por su aplicación en el sustrato humus de lombriz-fibra de coco, de tal manera que en las hojas de tomate se incremente la concentración de nutrientes y disminuyan en la solución de drenaje, y de esta manera contaminar menos el medio ambiente sin deteriorar al sistema de producción, la competitividad del productor y la salud de los consumidores.

1.2.2. Objetivo general

Determinar la eficacia de diferentes niveles de concentración nutrimental de la solución Steiner y la interacción de éstas con diferentes proporciones de sustrato humus de lombriz-fibra de coco, en el crecimiento y rendimiento de frutos del tomate en invernadero.

1.2.3. Objetivos específicos

Determinar la influencia de las soluciones nutritivas aplicadas en mezclas de humus de lombriz-fibra de coco sobre el índice de verdor, longitud y diámetro de tallo y rendimiento de frutos en las plantas de tomate.

Determinar las concentraciones de nutrimentos en las hojas de tomate, conductividad eléctrica, iones nutritivos (NO_3^- , K, Ca y Mg) en drenaje por efecto de las soluciones nutritivas aplicadas en sustratos humus de lombriz-fibra de coco.

1.3. REVISIÓN DE LITERATURA

1.3.1. Producción intensiva de la horticultura protegida

La agricultura protegida es el sistema de producción realizado bajo diversas estructuras y cubiertas, entre los que destacan los invernaderos, que tienen como característica básica la protección contra los riesgos inherentes a la producción de cultivos a libre exposición, su función principal es recrear las condiciones óptimas y apropiadas de radiación, temperatura, humedad y dióxido de carbono, para generar la reproducción, desarrollo y crecimiento de plantas, incrementando la producción en cantidad, calidad y oportunidad comercial (Castañeda *et al.*, 2007; Bastida, 2008; Moreno-Reséndez *et al.*, 2011). El invernadero es el elemento cualitativamente más importante del sistema de producción en agricultura protegida, debido a que de él depende en gran medida la capacidad productiva (Fernández, 2012), su estructura está conformada por el conjunto de elementos verticales, horizontales y curvos, que son los que le otorgan la forma y resistencia de la carga. Los materiales más comunes que lo constituyen son: madera, fierro o acero, su función es soportar la carga y esfuerzos que ocasionan el montaje de la cubierta; además de los aparatos de climatización o de riego, las plantas y los frutos (Alpi y Tognonni, 1999).

En México, la horticultura protegida en los últimos años está en constante crecimiento y Desarrollo, sin embargo, Nieves *et al.*, (2011) mencionan que la información existente sobre agricultura protegida no está lo suficientemente actualizada, es incompleta y no siempre fidedigna, pero por otra parte existen estadísticas, como lo señala el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), que en el 2007 reportó 12,540 hectáreas; mientras que la Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en 2010 reportó 11,760 ha, cifra menor a lo reportado por el INEGI; por su parte, la Asociación Mexicana de Agricultura Protegida Asociación Civil (AMHPAC) censó 15,300 ha en el mismo año. En el año 2013, la SAGARPA menciona que en México existen 19,985 unidades de cultivo protegido; 66 % corresponden a invernaderos, 11 % a macro túneles, 10 % a casa sombra, 5 % a micro túneles, 5

% techo sombra y 3 % pabellón (SIAP, 2013). Los Estados que concentran el mayor número de hectáreas de cultivo en invernadero son: Sinaloa (22%), Baja California (14%), Baja California Sur (12%) y Jalisco (10%); en estas cuatro entidades se encuentra más del 50% de la producción total de cultivos protegidos (Juárez-López *et al.*, 2011).

1.3.2. Importancia de los sustratos en sistema hidropónico

Sobre el término sustrato aplicado a la horticultura, existen diversas definiciones. Burés (1997) señala que sustrato es cualquier medio que se utilice para el cultivo de plantas en contenedores, donde se entiende por contenedor cualquier recipiente que tenga altura limitada. Por su parte, Abad-Berjon *et al.*, (2004) señalan que sustrato es todo material sólido distinto del suelo in situ, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta y que éste puede intervenir o no en la nutrición vegetal. El cultivo en hidroponía requiere de ciertas condiciones y medios para llevarse a cabo y lograr un aumento en la producción. Uno de los principales factores que determinan el éxito o fracaso en sistemas hidropónicos es el sustrato o medio de crecimiento (Cabrera, 1999; Howard, 1998; Pastor, 2000). Un aspecto importante en la producción en invernadero es el medio que se utiliza para el crecimiento de la planta, que puede ser el suelo o un sustrato orgánico o inorgánico. Una de las ventajas que representa el uso de los sustratos regionales es la disponibilidad y menor costo, y más aún los de origen orgánico dada la tendencia al manejo de sistemas de producción con enfoque sustentable (Porter-Humpert, 2000). Muchos autores han comparado la eficiencia de los sustratos en la producción de tomate (Sezen *et al.*, 2010). El uso de la fibra de coco para tomates en invernadero ha proporcionado desarrollo aceptable y alto rendimiento de fruto (Pires *et al.*, 2009). De hecho, la característica de retención de agua de un medio de crecimiento, suelo y otros sustratos interfieren con la fisiología de la planta, crecimiento y rendimiento de fruto (Sezen *et al.*, 2006).

Debido a la progresiva demanda de productos orgánicos libres de agroquímicos, los productores agrícolas, forestales y ornamentales han comenzado a adoptar nuevas tecnologías agrícolas para la producción de cultivos que satisfagan las necesidades del mercado, y con bajo impacto ambiental (Márquez-Hernández *et al.*, 2006; Acosta-Duran, 2012) mediante fertilización orgánica y uso de sustratos alternativos, así como también la inoculación de microorganismos vivos (Valenzuela y Gallardo, 2002), como alternativas para lograr cultivos superiores de manera sustentable (Gómez-Tovar y Gómez-Cruz, 2004). Actualmente, la sustitución del suelo por sustrato ha dado solución a la problemática de los suelos degradados y de algunos factores limitantes de los cultivos intensivos, como la salinidad y la incidencia de fitopatógenos. Hoy en día existe creciente necesidad de encontrar técnicas que contribuyan al uso eficiente del agua y nutrientes, lo cual se pretende lograr con el uso de diferentes sustratos inorgánicos y orgánicos (Lazcano y Domínguez, 2010). Sin embargo, un sustrato para el cultivo de plantas hortícolas debe reunir ciertas características físicas y químicas que un solo material no las puede cumplir, por lo que es necesario llevar a cabo mezclas de materiales hasta detectar el adecuado balance entre ellas (Cruz-Crespo *et al.*, 2010). El uso de sustratos en contenedores presenta ventajas sobre el cultivo tradicional en suelo, debido a que las características físico-químicas del sustrato utilizado, tales como la disponibilidad de nutrientes y condiciones de aireación y retención de agua, pueden ser controladas para mejorar el rendimiento y calidad de los cultivos.

1.3.3. La solución nutritiva aplicada en sustratos orgánicos

La producción de cultivos hortícolas en condiciones protegidas y el uso de sistemas hidropónicos han permitido incrementos en rendimientos y calidad de frutos, al propiciar un ambiente poco restrictivo facilitando el crecimiento y desarrollo de especies hortícolas. En estos sistemas de producción intensiva la fertilización se realiza por medio de una solución nutritiva que se elabora con fertilizantes de alta solubilidad, generalmente importados, lo que incrementa

significativamente los costos de producción. En general, el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), recibe altas dosis de fertilizantes, especialmente nitrogenados (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2001), los cuales han probado afectar negativamente al medio ambiente (Gallardo *et al.*, 2009). Al aplicar la solución nutritiva se provoca una alta presión osmótica y, además, ocasiona un desbalance nutrimental, pues afecta principalmente a aquellos nutrimentos que se mueven por flujo de masas, como el Ca^{2+} y Mg^{2+} , los cuales se absorben en menor cantidad (Ehret y Ho, 1986); Estos problemas han impulsado la búsqueda de alternativas de fertilización sustentables que, además de suplir los requerimientos nutrimentales de los cultivos, no afecten significativamente el rendimiento y la calidad de los frutos (Nieto-Garibay *et al.*, 2002). El alto rendimiento y calidad de los productos de los cultivos en los sistemas sin suelo sólo son posibles si la nutrición es optimizada. Esto implica el manejo preciso de todos los factores que intervienen en la nutrición de los cultivos: la composición de la solución nutritiva, suministro de agua, concentración de oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica y pH de la solución nutritiva. Si cualquiera de estos factores no están en condiciones óptimas, las plantas pueden sufrir de estrés que conduce a una disminución de rendimiento y calidad de producto (Gorbe and Calatayud, 2010). Cruz-Crespo *et al.* (2012), encontraron que las dosis de la dilución nutritiva difirieron en su efecto en todas las variables de crecimiento de chile serrano, excepto en el número de ramificaciones por planta a los 40 días después del trasplante (ddt). A los 80 ddt los valores de diámetro de tallo, número de ramificaciones y biomasa seca de planta fueron mayores en los tratamientos con las diluciones a 50 y 75%, con respecto de la dilución a 25% de fuerza iónica. El rendimiento de fruto fue significativamente mayor en aproximadamente 12 y 41% en las plantas tratadas con dilución a 75%, con respecto del obtenido con 50 y 25%. Estas diferencias se atribuyen a que en la dilución de 75% los nutrimentos estuvieron en mayor disponibilidad para la planta de chile durante la etapa de fructificación cuando hay mayor demanda de nutrimentos. En tomate (*Solanum lycopersicum* L.), Cruz-Crespo *et al.*, (2012) no encontraron diferencia significativa entre las diluciones nutritivas a 50 y 75% para diámetro de tallo,

biomasa seca de planta y rendimiento de fruto de tomate, mientras que en Chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) Villa-Castorena *et al.* (2009) reportan que las diluciones a 75 y 90% fueron similares entre sí pero con mayor rendimiento de fruto que la dilución a 60%. En cambio, Valentín-Miguel *et al.* (2013) mostraron que para Chile de agua (*Capsicum annuum* L.) hubo incremento significativo de biomasa seca de planta y rendimiento de fruto al aumentar la concentración de las diluciones de 25, 50 y 75%. Estos mismos autores, señalan que la solución de Steiner a concentración de 100% no fue evaluada, por lo que, en estudios posteriores se recomienda considerarla, ya que la magnitud del rendimiento incrementó significativamente al aumentar su concentración de la solución nutritiva de 25 a 75%. No obstante, con base en los resultados obtenidos de biomasa seca de planta y rendimiento de fruto se propone aplicar la dilución nutritiva a 75% desde el momento del trasplante. Valenzuela-López *et al.*, (2014) citan que el rendimiento de tomate indeterminado tipo bola fue similar al aplicar las soluciones nutritivas concentradas al 50 y 100% superando a la solución del 25% y testigo (aplicación de solamente agua), aplicadas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco en sistema hidropónico bajo invernadero. En cambio, Cruz-Crespo *et al.*, (2012) encontraron que la solución nutritiva al 50% aplicada en sustrato tezontle-vermicompost (65:35) fue viable dado que el rendimiento no mostró diferencias significativas respecto a las soluciones de 75 y 100%. Preciado-Rangel *et al.*, (2011) señalan mayor rendimiento y tamaño de fruto con la solución de Steiner (100%) comparada con fuentes de fertilización orgánica (Té de composta, Té de vermicomposta, y lixiviado de vermicompost) aplicadas en sustrato de arena de río.

1.3.4. Sustratos orgánicos como fuente de nutrimentos

El suelo, medio en el que tienen lugar funciones de tanta importancia para la vida de las plantas, con frecuencia tiene condiciones limitantes que, en diferentes grados, impiden buenos resultados agronómicos. Por este motivo, en la horticultura, es frecuente reemplazar el suelo natural por sustratos de origen diverso, que en alguna o en todas las fases de un cultivo permiten superar esas condiciones limitantes y colocar el sistema radicular y la planta completa en una situación más cercana a la óptima para su alimentación hídrica y mineral (Abad *et al.*, 2001).

El cultivo en sustrato favorece el crecimiento y rendimiento de las plantas; sin embargo, esto depende de sus características y del requerimiento de la especie cultivada (Cruz-Crespo *et al.*, 2014). El sustrato apropiado y el suministro racional de agua y nutrimentos por fertirrigación ha beneficiado el rendimiento y calidad de tomate (Pires *et al.*, 2009; Ismail *et al.*, 2008) y contribuye a la preservación del medio ambiente. Desde el punto de vista económico es atractivo el uso de sustratos orgánicos, ya que permite reducir los costos derivados de la fertilización química más o menos 10%. Los medios de crecimiento tienen tres funciones principales: 1) proporcionar aireación y agua, 2) permitir a la raíz máximo crecimiento y 3) apoyar físicamente la planta. A pesar de los efectos potenciadores propuestos al vermicompost, se afirma que usado en alta proporción podría tener efecto inhibitor sobre el crecimiento y desarrollo de la planta, esto podría ser debido probablemente a estrés de la planta por la alta concentración de sales solubles, así como también causar efectos adversos en el rendimiento de los cultivos (Arancon *et al.*, 2004). Atiyeh *et al.* (2000) reportaron que las concentraciones más bajas de vermicompost (<50%) en el sustrato produce mayor efecto sobre el crecimiento de plantas de tomate y de rendimiento en relación a las concentraciones más altas. Sin embargo, las bajas y altas proporciones de vermicompost en el medio de crecimiento no mejoraron el crecimiento de las plantas (Atiyeh *et al.*, 2001, 2002). Las plantas de cultivo son

sensibles a los efectos negativos de vermicompost en las primeras etapas de desarrollo, ya que, inhibió linealmente la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas con una concentración creciente de vermicompost en el sustrato (Levinsh, 2011).

1.3.5. Vermicomposta usada como sustrato o medio de crecimiento

La lombricomposta o vermicomposta es un sustrato que se caracteriza por su alto contenido nutrimental, y altas capacidades de retención de agua y de intercambio catiónico (Atiyeh *et al.*, 2000). Ésta ha reemplazado paulatinamente el uso del suelo y de otros sustratos como componentes del medio de crecimiento en la producción hortícola, aunque su uso se recomienda en mezcla con otros materiales (Lazcano y Domínguez, 2010; Ameri *et al.*, 2012). Además, el efecto en el crecimiento de las plantas puede ser diferente entre tipos de lombricomposta debido a la variación en sus propiedades (Doyle *et al.*, 2011). Entre los materiales que pueden ser utilizados para preparar los sustratos existe la vermicomposta, la cual se define como un abono orgánico que resulta de la bio-oxidación y estabilización de residuos orgánicos originados por la acción combinada de lombrices y microorganismos que los transforman en un material mineralizado, humificado y rico en flora bacteriana (Arancon *et al.*, 2002; Moreno-Reséndez *et al.*, 2008; Edwards *et al.*, 2010), por lo que en este contexto, su uso como componente de sustratos se presenta como una alternativa innovadora para la producción de hortalizas y plantas ornamentales en contenedor (Márquez-Hernández *et al.*, 2008; Vázquez-Benítez *et al.*, 2012). Lazcano y Domínguez (2010) evaluaron dos especies ornamentales y se compararon con las plantas cultivadas con 0, 5, 15 y 25 % de vermicompost (de cerdo), observaron una reducción general del crecimiento con concentraciones crecientes de vermicompost. El mayor porcentaje de vermicompost (25%) mostró 20% de mortalidad de las plantas, altos niveles de estrés y daño al aparato fotosintético, así como una reducción significativa en el número y la biomasa de las hojas y en la producción de flores. Se ha demostrado que la incorporación de vermicompost influye en las propiedades físicas de los sustratos utilizados en el cultivo de

plantas. Por otra parte, los ensayos llevados a cabo con plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*) y caléndula (*Tagetes patula*), mostraron que cuando se adiciona hasta el 20% de vermicompost a la aplicación de fertilizantes minerales, se produce importantes efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas y el rendimiento. Sin embargo, debido a los bajos rendimientos, la agricultura orgánica no puede satisfacer la demanda mundial de alimentos, aunque puede ofrecer productos de mayor calidad nutracéutica (Ávila-Juárez *et al.*, 2015).

La agricultura orgánica, rinde en promedio de 10 a 30% menos que la agricultura convencional; sin embargo, la disminución en la producción con las mezclas de sustratos orgánicos, respecto al testigo, podría ser compensado con el valor del producto orgánico. Cabe señalar que el uso de fertilizantes inorgánicos no está permitido en la normatividad que regula la producción orgánica certificada, por lo cual, los resultados obtenidos destacan por su factibilidad de alta rentabilidad (Fortis-Hernández *et al.*, 2013). Existe un consenso de que la agricultura orgánica (AO) no puede satisfacer la demanda mundial de alimentos, ya que sólo el 0.3% de la tierra dedicada a la agricultura se utiliza para la AO, y en algunos cultivos, los rendimientos son sólo el 30% de los obtenidos de la agricultura convencional (AC) (De Ponti *et al.*, 2012). Los bajos rendimientos de cultivos orgánicos se deben a la tensión permanente causada por un desequilibrio iónico resultante de prácticas de nutrición de cultivos (generalmente enmiendas orgánicas). En contraste, AC, con grandes dosis de fertilizantes químicos y pesticidas a menudo se utiliza para mejorar el rendimiento de varios cultivos hortícolas (Márquez-Quiroz *et al.*, 2014). Ambos tipos de sustancias químicas crean un estado de "confort" para la planta (Bennett *et al.*, 2012) que genera altos rendimientos de fruta pero de baja calidad nutracéutica. Por lo tanto, al manejo del cultivo se integra un tercer enfoque a la agricultura (ICM), es decir, un método que combina la agricultura convencional y ecológica y está destinado a apoyar la producción agrícola, mantener los ingresos, proteger el medio ambiente, y responder a la demanda del consumidor por alimentos con cualidades nutracéuticas (Ávila-Juárez *et al.*, 2015). En consecuencia, debe de tenerse en cuenta que el efecto de la VC depende de varios factores, tales como el cultivo sobre el que se

construye las propiedades físico-química y biológicas de la VC. Por ejemplo, cuando se utiliza VC en los cultivos de ciclo largo, como los tomates indeterminados, el rendimiento de fruta fue afectado, ya que, obtuvo aproximadamente 192 t ha⁻¹ en el invernadero, mientras que los fertilizantes químicos en CA pueden producir hasta 400 t ha⁻¹ (Resh, 2001). En cambio, algunos estudios indican que el uso de VC como fuente única de nutrición puede disminuir el rendimiento de fruta o incluso causar la muerte de la planta (Lazcano y Domínguez, 2010). Hoy en día, las prácticas agrícolas se centran principalmente en la producción de altos rendimientos de fruta de calidad estándar. Sin embargo, es difícil encontrar un equilibrio entre el rendimiento y la calidad porque este último por lo general requiere de algún tipo de estrés en los cultivos, que causa disminución de la producción de frutas. Dependiendo del origen, vermicompost difieren en su composición química. vermicompost proporciona alta porosidad, aireación, drenaje, y capacidad de retención de agua (Edwards y Burrows, 1988).

1.3.6. Ventajas del uso de vermicomposta

El vermicompost en medios de crecimiento para macetas no es perjudicial sino más bien provoca un efecto estimulante sobre la aparición y el crecimiento de las raíces de las plántulas y tiene por lo tanto, un potencial considerable para la sustitución de la turba en los sustratos para macetas en cultivos hortícolas (Zaller, 2007). De hecho, el empleo del vermicompost ha provocado efectos significativos sobre diversas hortalizas y especies ornamentales (Moreno-Reséndez *et al.*, 2005). El vermicompost contiene sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento, elevan la capacidad de intercambio catiónico (CIC), tiene alto contenido de ácidos húmicos, y aumenta la capacidad de retención de humedad y la porosidad lo que facilita la aireación, drenaje de los medios de crecimiento (Ndegwa *et al.*, 2000; Hashemimajd *et al.*, 2004; Atiyeh *et al.*, 2001b., Alidadi *et al.*, 2014); y la mayoría de los nutrientes que contiene están presentes en formas que son fácilmente absorbidos por las plantas. El beneficio más importante de humus de lombriz es su diversa y de alta población microbiana (Alidadi *et al.*,

2014). Estudios realizados en invernadero con sustratos orgánicos, señalan que una alternativa es elaborar un sustrato a base de compost y medios inertes como arena (Márquez-Hernández *et al.*, 2006). De acuerdo al contenido de elementos en el compost, por sí solo podría cubrir la demanda o bien, algunas veces, sería necesario adicionar macroelementos o, en su defecto, sólo quelatos para garantizar la calidad de la cosecha (Figuroa, 2001). La respuesta de sustratos orgánicos en el rendimiento de cultivos hortícolas ha sido atractiva, por ejemplo, Tuzel *et al.*, (2003) determinaron el rendimiento de tomate de 9.37 a 10.67 kg m⁻²; el tomate cherry orgánico en invernadero, rindió 54.08 t ha⁻¹ (Márquez-Hernández *et al.*, 2006). El uso de vermicompost (VC) se considera una técnica capaz de aumentar el valor nutricional de las frutas tales como tomates (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2007). Por ejemplo, esta técnica ha aumentado los niveles de vitamina C, compuestos fenólicos, carotenoides (licopeno y β-caroteno), y la actividad antioxidante (AA) (Huber *et al.*, 2011). Una desventaja que presentan los materiales orgánicos en relación a los inorgánicos es que son susceptibles de continuar su descomposición en mayor o menor medida en el contenedor, lo cual dependerá del buen o mal proceso de compostaje o vermicompostaje, que puede afectar el volumen del sustrato. Esto es un aspecto importante en el cultivo de plantas, al igual que la contracción de volumen de un sustrato, ya que este último facilita la compactación del sustrato y la compresión de las raíces, afectando también la eficiencia del riego y la fertilización (Abad *et al.*, 2004). Por otra parte, si el material orgánico no fue procesado adecuadamente durante el composteo los componentes de este secuestrarán el N a medida de la descomposición de la celulosa. Respecto a la altura de planta Atiyeh *et al.* (2001) destacan que vermicompost favorece el desarrollo de los cultivos en invernaderos cuando estos se utilizan como sustratos de crecimiento, y que las diferencias detectadas en esta variable, se deben a su contenido de elementos nutritivos y a la naturaleza de sus comunidades microbianas. Por otra parte, Moreno-Reséndez *et al.* (2005) no encontraron diferencias en altura de planta cuando utilizaron cuatro tipos de vermicompost en proporciones de 75, 50, 25 y 0% con respecto a la arena. El crecimiento de la planta está asociada al hecho de que el vermicompost contiene

sustancias fenólicas las cuales son portadoras de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal que hacen que se activen procesos de respiración y con ello, el metabolismo y la absorción vegetal (Domínguez *et al.*, 2010). Otra característica importante de esta enmienda es su capacidad de comportarse como hormona reguladora de crecimiento, siendo 1 mg L⁻¹ de vermicompost equivalente en actividad a 0.01 mg L⁻¹ de ácido indolacético (Delgado, 1985). Galindo-Pardo *et al.* (2014) mencionan que en pepino en condiciones de invernadero el vermicompost posee el potencial para mejorar el crecimiento de la planta en invernadero. Y que las marcadas diferencias con respecto a los otros sustratos se pudieron deber a los contenidos de elementos nutritivos disponibles y a la naturaleza de sus comunidades microbianas, entre otros.

1.3.7. Fibra de coco

La fibra de coco es otro sustrato muy utilizado cuya popularidad continua creciendo, particularmente en zonas nuevas de cultivo en invernadero. Este material es un sustrato orgánico, subproducto de la industria de fibra de coco, que al igual que la lana de roca puede contener gran cantidad de agua, pero también drenarla sin problemas. Sin embargo, este material tiene una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de media a alta, y requiere un pretratamiento para lixiviar el exceso de sales. Como es un producto natural, no fabricado, su variabilidad tiende a ser mayor que en el caso de lana de roca, dependiendo de su origen. Por esta razón, se recomienda un análisis de laboratorio de su composición en pretemporada. Por citar un ejemplo, la publicación canadiense “Growing Greenhouse Vegetables” sugiere emplear una solución nutriente para la fibra de coco con el 10% más de calcio (Ca) y 10% menos de potasio (K) comparada con la empleada en el sustrato de lana de roca. Dado que el tamaño de partícula de la fibra de coco determina su retención de agua, es posible lograr un sustrato más vegetativo o generativo a partir de mezclas con partículas diferentes variando en función de la marca; y el programa de riego debe adaptarse en consecuencia. El reciclaje podría ser un factor determinante a la hora de elegir un sustrato. La fibra de coco puede utilizarse para composteo,

siempre que se tenga en cuenta su nivel residual de sales; mientras que la lana de roca no es biodegradable (Urrestarazu, *et al.* 2005).

Este subproducto de la industria coprera, que se genera después de que el mesocarpio fibroso del coco ha sido procesado para obtener las fibras más largas, que se destinan a la fabricación de cuerdas para la tapicería, etc. Mientras que las cortas y el polvo se utilizan como sustrato. Las fibras de coco mexicanas presentan una densidad media de 0.09 g cm³, capacidad de retención de agua con un valor medio de 63%, capacidad de aireación media 32%, agua fácilmente disponible de un 25%. La fibra de coco se comercializa en México en varios sitios, pero destaca la región de Tecomán y Armería, en el Estado de Colima (Castellanos y Vargas, 2009).

CAPITULO 2. RESPUESTA DEL TOMATE CULTIVADO EN HIDROPONÍA CON SOLUCIONES NUTRITIVAS EN SUSTRATO HUMUS DE LOMBRIZ-FIBRA DE COCO.

2.1. INTRODUCCIÓN

A nivel nacional e internacional, el tomate es la hortaliza más cultivada y consumida. En el año 2008, se cultivaron en el mundo 5, 227, 883 ha, que produjeron 129, 649, 883 Mg de tomate (FAO, 2010). En México ocupa el primer lugar en producción; es el producto hortícola de exportación por excelencia y el sostén principal de la estructura productiva, siendo Sinaloa el principal productor (SAGARPA, 2010).

El uso intensivo de fertilizantes inorgánicos en la agricultura, ha causado problemas de contaminación ambiental (Polat *et al.*, 2010; Durdane *et al.*, 2011); agudizándose más al aplicarlos en dosis superiores a los requerimientos de los cultivos (Peña-Cabriales *et al.*, 2001). La nutrición balanceada obliga a sincronizar la demanda y el suministro de nutrimentos, lo que permite optimizar el uso de fertilizantes y evita la contaminación de mantos acuíferos y la salinización de los suelos (Villareal-Romero *et al.*, 2006), esto ha conllevado a la necesidad de aplicar elementos nutritivos en forma racional, ya que, con el paso de los años, se han hecho evidentes los riesgos que implica el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas sobre la salud humana (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2007), por lo que para disminuir problemas de contaminación, los sistemas de producción han sido modificados al combinar fertilización orgánica con mineral (Rinaldi *et al.*, 2007). Sin embargo, para reducir y eliminar los efectos adversos de los fertilizantes sintéticos sobre el medio ambiente, nuevas prácticas agrícolas se han desarrollado en la llamada agricultura orgánica, ecológica y agricultura sustentable (Chowdhury, 2004).

El humus de lombriz, como sustrato, permite satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos en invernadero, y reducir significativamente el uso de fertilizantes sintéticos (Manjarrez *et al.*, 1999; Rodríguez, 2009), además de ser un mejorador

de suelo que no contamina (Urrestarazu, 2001). Según Márquez y Cano (2005), los elementos nutritivos contenidos en el humus de lombriz son suficientes para obtener producciones aceptables de tomate cherry. Incluso, cuando ésta es mezclada en concentraciones de 12.5 y 50% en arena (Moreno-Reséndez *et al.*, 2005). Las características antes referidas acerca de los sustratos, han originado que en la industria hortícola el humus de lombriz se considere con alto potencial comercial para proporcionar el medio de crecimiento de plántulas en almácigos y plantas en recipientes mayores (Ndegwa y Thompson, 2000). Rodríguez-Dimas *et al.*, (2008) citan que además de satisfacer la demanda nutricional de los cultivos hortícolas en invernadero y reducir significativamente el uso de fertilizantes sintéticos, contienen sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento, tienen alto contenido de ácidos húmicos, en el suelo elevan la capacidad de intercambio catiónico, aumentan la porosidad y capacidad de retención de humedad, y facilitan la aireación y el drenaje.

Desde el punto de vista económico, es atractivo el uso de sustratos orgánicos, ya que permite reducir los costos derivados de la fertilización química, hasta en un 10% (Trápaga y Torres, 1994). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar la respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas de diferente concentración de nutrimentos aplicadas en sustratos constituidos a base de humus de lombriz y fibra de coco.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en condiciones de invernadero durante el ciclo agrícola 2011-2012, en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicado en el km 17.5 de la maxi-pista Culiacán-Mazatlán, en un diseño factorial 4x3, donde se evaluó el efecto ocasionado por diferentes concentraciones de la solución nutritiva Steiner (0, 25, 50 o 100%) en el tomate híbrido 'Imperial' tipo bola, de crecimiento indeterminado, injertado en el patrón Multifort®, después de haber permanecido 35 días en charolas de unicel con 128 cavidades rellenas con sustrato marca SOGEMIX®;

asimismo, se evaluó la respuesta a los sustratos orgánicos constituidos por la mezcla de humus de lombriz y fibra de coco en proporciones volumen:volumen (v:v) de 25:75, 50:50 y 75:25.

Como ya se refirió la solución Steiner se elaboró en concentraciones de 25, 50 y 100%, a estas se adicionaron 50 y 20 mg L⁻¹ de los fertilizantes Hidromix proan[®] y Sinergipron[®] Fe (EDDHA) respectivamente, los cuales son fuente de micronutrientes y los efectos que ocasionaron las diferentes soluciones nutritivas se compararon con la respuesta del tomate regado sólo con agua (testigo). La concentración de la solución Steiner al 100% tenía: 12, 1, 7, 7, 9 y 4 mol_c m⁻³ de NO₃⁻, H₂PO₄⁻, SO₄²⁻, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺, respectivamente (Steiner, 1984). Las fuentes de fertilizantes inorgánicos usados en la preparación de las soluciones nutritivas fueron: Ca(NO₃)₂·4H₂O, KNO₃, K₂SO₄, KH₂PO₄ y MgSO₄·7H₂O. Con la combinación de factores en los niveles antes indicados, se constituyeron 12 tratamientos, mismos que fueron distribuidos completamente al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue un grupo de seis plantas contenidas en tres macetas con 14 L del sustrato correspondiente (dos plantas por maceta). Después de mezclar el humus de lombriz y la fibra de coco, se llenaron bolsas de plástico color blanco (macetas) de 40x18x43 cm con un volumen de sustrato de 14 L. En el Cuadro 1 se indican las propiedades químicas de los componentes del sustrato y de las mezclas de los mismos.

Cuadro 1. Propiedades químicas del humus de lombriz (HL), de la fibra de coco (FC) y de los sustratos utilizados.

Propiedades químicas	Componentes del sustrato		Sustratos (HL:FC, v:v)		
	HL	FC	25:75	50:50	75:25
pH	5.94	6.40	6.40	6.37	6.28
CE (dS m ⁻¹)	8.16	1.85	3.50	4.12	5.25
	mol _c m ⁻³				
NO ₃ ⁻	5.39	1.91	7.58	7.12	6.90
HCO ₃ ⁻	1.70	1.64	1.64	1.40	1.50
Cl ⁻	5.00	12.64	17.80	16.80	14.60
Na ⁺	2.63	5.89	4.36	4.26	1.73
K ⁺	5.84	4.96	8.84	8.28	7.62
Ca ²⁺	54.64	4.41	15.11	30.70	31.18
Mg ²⁺	17.50	2.45	5.95	7.04	11.25

HL= humus de lombriz; FC= fibra de coco

El trasplante se realizó el 19 de noviembre de 2011, con dos plántulas por maceta, mismas que se acomodaron en hilera sencilla, con 1.60 m de separación entre camas, para obtener una densidad de población de 2.5 plantas m⁻². En el Cuadro 2 se indican las propiedades químicas del agua que se utilizó para el riego de las plantas en macetas.

Cuadro 2. Propiedades químicas del agua utilizada para los riegos del tomate en hidroponía.

pH	CE (dS m ⁻¹)	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
mol _c m ⁻³									
7.8	0.39	0.09	0.0	2.16	0.40	0.37	2.10	0.98	0.73

Para las soluciones nutritivas (SN) se usaron contenedores con capacidad de 400 L, y la aplicación se realizó con un programador digital (temporizador) interconectado con cuatro bombas eléctricas con capacidad de 1^{1/4} HP, conectadas a una manguera con goteros para gasto de 3.0 L h⁻¹, insertándosele un distribuidor de cuatro salidas y dos piquetas por maceta. El inicio del riego con las SN fue a los 20 días después del trasplante (ddt), con ocho riegos diarios

durante 3 a 5 min, cuya frecuencia se incrementó conforme a la demanda del cultivo, de tal forma que a los 72 ddt se aplicaron 16 riegos diarios con duración de 5 minutos (4.0 L por maceta al día). La planta se guió a un tallo, definiéndolo al eliminar el primer brote axilar debajo del primer racimo floral, y durante el desarrollo del cultivo se hizo desbrote cada 7 a 15 días. También se hicieron defoliaciones basales para dar mayor ventilación y luminosidad entre plantas, disminuir condiciones para enfermedades e inducir uniformidad en maduración de frutos en 2 a 3 racimos que se dejaron descubiertos (Moreno *et al.*, 2012). El índice de verdor o lecturas SPAD se determinó con un equipo SPAD 502 marca Minolta®, a los 100, 116 y 150 ddt; diámetro ecuatorial y polar de frutos en los primeros tres racimos que se formaron, a través de ocho, seis y cinco mediciones en el primero, segundo y tercer racimo, respectivamente, las cuales se realizaron cada 15 días con vernier digital. Los frutos se clasificaron de acuerdo a la norma oficial NMX-FF-031-1997; en tamaño grande (4x4, 4x5), mediano (5x5, 5x6) y chico (6x6, 6x7 y 7x7); y el rendimiento total de frutos expresado en kg m⁻², a través de ocho cortes en total, realizándose un corte por semana a partir del 01 de Marzo y finalizó el 20 de Abril de 2012 (51 días en cosecha). Los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza con el programa SAS (2002), y se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1. Índice de Verdor (IV)

Los resultados del análisis de varianza muestran que no existe diferencia significativa en el IV por efecto de las interacciones de SN*sustratos. En el Cuadro 3, se denota que en los tres muestreos realizados el índice de verdor se incrementó a medida que la concentración de nutrimentos aumentó en la solución nutritiva (SN). A los 110 ddt los incrementos de IV fueron de 86.2, 91.1 y 94.3% con las soluciones de 25, 50 o 100% de concentración nutrimental, en comparación al testigo (plantas regadas sólo con agua); a los 116 ddt los incrementos fueron de 53.4, 54.3 y 59.1%, respectivamente; mientras que a los 150 ddt los respectivos incrementos fueron de 43.1, 48.7 y 55.8%; en ambos casos en comparación con el testigo. De manera contraria, el factor sustrato no influyó de manera estadísticamente significativa el IV en las SN del 25, 50 y 100%. Preciado-Rangel *et al.*, (2011) en un estudio realizado de soluciones orgánicas comparadas con la solución de Steiner del 100% en tomate, obtuvieron con la solución de Steiner al 100% un IV de 54.02, el cual en esta investigación se vio superado el IV a los 150 ddt, en 3.7 y 8.8% en plantas tratadas con las soluciones Steiner al 50 ó 100% de concentración nutrimental, respectivamente. Por otra parte Cruz-Crespo *et al.*, (2012) encontraron diferencias estadísticas altamente significativas con el uso de soluciones nutritivas aplicadas al tomate tipo bola, donde obtuvieron un IV que osciló entre 44.7 y 57.3, a los 40 ddt, y entre 36.8 a 53.8 a los 70 ddt, cuyos valores de IV fueron inferiores a los que se obtuvieron en este estudio a los 150 ddt, con la aplicación de soluciones al 50 y 100%.

Cuadro 3. Índice de verdor (IV) en respuesta a las diferentes soluciones nutritivas y sustratos.

Solución nutritiva (% de concentración)	Índice de verdor (lecturas Spad)		
	110 ddt	116 ddt	150 ddt
0 (testigo)	27.06 b	32.38 b	37.70 c
25	50.38 a	49.66 a	53.93 b
50	51.70 a	49.95 a	56.03 ab
100	52.59 a	51.51 a	58.75 a
DMS	3.72	3.84	3.47
Sustrato HL:FC % (v:v)			
25:75	45.70 a	45.63 a	52.38 a
50:50	44.55 a	46.72 a	51.66 a
75:25	46.05 a	45.27 a	50.77 a
DMSH	2.92	3.01	2.72

HL= humus de lombriz; FC= fibra de coco. Medias con diferente letra en la misma columna para cada factor de estudio son estadísticamente diferentes (Tukey, ≤ 0.05).

El análisis de correlación entre el IV y las soluciones nutritivas, a los 110, 116 y 150 ddt, indicó que la relación fue positiva con valores de $r=0.73$, 0.74 y 0.82 , respectivamente, ya que el IV se incrementó en la medida que fue mayor la concentración de nutrientes en las soluciones aplicadas en cualquiera de las mezclas de sustratos. Las lecturas SPAD, que según Castro-Brindis *et al.* (2004), se relaciona con crecimiento vegetativo vigoroso, alta actividad fotosintética y síntesis de carbohidratos, lo que a su vez influye en el rendimiento de las especies vegetales.

2.3.2. Diámetro ecuatorial y polar de frutos

En el Cuadro 4, se puede observar los efectos simples de los factores de estudio sobre el tamaño de los frutos. Las soluciones nutritivas con 25, 50 y 100% de concentración nutrimental incrementaron el diámetro ecuatorial de frutos en el primer racimo en 39.3, 34.3 y 36.9%, respectivamente, en comparación al que se observó en el testigo; en el segundo racimo el diámetro ecuatorial de frutos de las plantas tratadas con las soluciones nutritivas con concentraciones de 25, 50 y 100% fue 55.8, 60.2 y 58.1% mayor que en el testigo; mientras que en el tercer racimo aumentaron en 360.4, 412.6 y 386.0%, también en comparación con el testigo. El diámetro polar de frutos fue también mayor a medida que se incrementó la concentración de la solución nutritiva; las concentraciones de ésta de 25, 50 y 100% produjeron frutos en el primer racimo con mayor diámetro polar en 28.0, 32.0 y 28.9% que el testigo; en el segundo racimo los incrementos fueron de 124.3, 124.9 y 126.3%, y en el tercero de 308.6, 334.4 y 324.8% (Cuadro 4). Por otro lado, el sustrato utilizado no afectó estadísticamente el tamaño de fruto (Cuadro 4). Tampoco hubo diferencia estadística significativa en la interacción de los factores de estudio. Los efectos ocasionados por las soluciones nutritivas aquí observados concuerdan con los resultados de Preciado-Rangel *et al.*, (2011), quienes encontraron que en el tomate saladette cultivar 'Cid' establecido en diferentes sustratos orgánicos y solución Steiner al 100%, el diámetro ecuatorial llegó a ser de 50.9 a 59.0 mm; mientras que el diámetro polar varió de 58.7 a 61.6 mm. Así mismo, los resultados obtenidos por efecto del sustrato utilizado, tienen relación con los de Moreno-Reséndez *et al.*, (2008), toda vez que ellos obtuvieron valores de 75.9 y 69.0 mm en diámetro ecuatorial y polar, respectivamente, en cultivo de tomate tipo bola, con la mezcla de humus de lombriz y arena (v:v) en proporciones de 50%. De igual manera con los de Rodríguez-Dimas *et al.*, (2007), quienes cosecharon frutos con diámetro ecuatorial de 7.1 y 8.0 cm, en donde aplicaron las respectivas mezclas de humus de lombriz con arena o extracto de humus de lombriz con arena.

Cuadro 4. Efectos simples de los factores de estudio sobre diámetros ecuatorial y polar del fruto (mm) evaluados en tres racimos de tomate cultivado en sistema hidropónico.

Solución nutritiva (% de Concentración)	Racimo 1		Racimo 2		Racimo 3	
	DE	DP	DE	DP	DE	DP
0 (testigo)	62.72 b	48.15 b	52.21 b	26.65 b	14.50 b	12.55 b
25	87.40 a	61.63 a	81.37 a	59.78 a	66.77 a	51.28 a
50	84.23 a	63.56 a	83.65 a	59.96 a	74.34 a	54.52 a
100	85.84 a	62.05 a	82.52 a	60.31 a	70.47 a	53.32 a
DMSH	18.96	11.60	15.18	15.63	15.52	11.01
<hr/>						
Sustratos HL:FC % (v:v)						
25:75	71.97 a	53.77 a	75.74 a	48.16 a	53.71 a	39.62 a
50:50	86.42 a	62.62 a	71.70 a	50.65 a	62.23 a	48.01 a
75:25	81.74 a	60.15 a	77.38 a	56.20 a	53.61 a	41.12 a
DMSH	18.96	9.11	11.93	12.28	12.19	8.65

HL= humus de lombriz; FC= fibra de coco; DE=diámetro ecuatorial; DP=diámetro polar; medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, ≤ 0.05).

Moreno-Reséndez *et al.*, (2012), mencionan que el diámetro polar en fruto de tomate al usar mezclas de humus de lombriz y arena fue de 5.9 a 6.1 cm sin existir diferencia significativa entre ellos, únicamente para dos genotipos de tomate (Miramar y Romina), pero no para la interacción sustrato x genotipo. Similares resultados fueron obtenidos por Rodríguez-Dimas *et al.*, (2008) en diámetro polar promedio de 5.4 a 6.1 cm en genotipos de Big beef y Miramar respectivamente. De la Cruz-Lázaro *et al.*, (2009) observaron un diámetro polar promedio de 5.9 cm en tomate saladette híbrido SUN 7705, cultivado en diferentes mezclas de arena con composta y humus de lombriz en invernadero. Aunque las proporciones de humus de lombriz y fibra de coco empleadas en los dos sustratos

no modificaron la respuesta en diámetro ecuatorial y polar; De la Cruz *et al.*, (2009) tampoco encontraron diferencias significativas al usar en la mezcla de composta y humus de lombriz en diferentes proporciones (50, 75 y 100%) con arena, por lo que los resultados son similares a los obtenidos en el presente estudio.

2.3.3. Rendimiento de fruto

De acuerdo a los análisis de varianza para rendimiento de fruto de tamaño mediano y rendimiento total mostró diferencia estadística significativa en la interacción SN*Sustratos.

El rendimiento promedio de frutos grandes presentó diferencia estadística altamente significativa por efecto de la solución nutritiva (Cuadro 5); por el contrario, el sustrato como factor de estudio no lo influyó de manera significativa ($p=0.1484$). En el mismo cuadro se puede observar que el rendimiento de frutos grandes fue superior en 443.3% mayor con la SN al 25% de concentración, 535.1% con la SN al 50% y 549.5% con la SN al 100%, en comparación con el rendimiento de frutos grandes obtenidos en plantas irrigadas solo con agua. La producción de frutos medianos se incrementó en 276.8, 348.5 y 388.8% con las SN al 25, 50 y 100% de concentración, respectivamente, en comparación al rendimiento de estos frutos en plantas regadas con agua (Cuadro 5). La producción de frutos chicos en las soluciones nutritivas al 25, 50 y 100% fue mayor en 130.9, 200.0 y 226.7 % con respecto al testigo. En tanto el rendimiento total se expresó con incrementos de 295.0, 378.2 y 394.7% con las soluciones referidas, también en comparación con el testigo. En el mismo cuadro también puede notarse que las mezclas de sustratos no influyeron en el rendimiento en los tamaños evaluados. Los rendimientos de frutos grandes en las soluciones nutritivas al 25, 50 y 100% de concentración (5.27, 6.16 y 6.30 kg m⁻² respectivamente) fueron superiores a los que reportaron Godoy-Hernández *et al.*, (2009) quienes encontraron rendimientos de 2.10 kg m⁻² en tomate injertado, con soluciones nutritivas al 33, 66 y 100% de concentración. Sin embargo, los

rendimientos de frutos medianos (1.34, 5.05, 6.01 y 6.55 kg m⁻² en las soluciones nutritivas a 25, 50 y 100% respectivamente) y frutos chicos (0.71, 1.64, 2.13 y 2.32 kg m⁻² en las soluciones nutritivas a 25, 50 y 100% respectivamente) obtenidos en esta investigación, fueron inferiores a los que reportaron los mismos autores (17 y 5.4 kg m⁻², respectivamente).

Cuadro 5. Rendimiento promedio de frutos clasificados por tamaño y en total por metro cuadrado.

Solución nutritiva (% de concentración)	Rendimiento (kg m ⁻²)			
	Grandes	Medianos	Chicos	Total
0 (testigo)	0.97 b	1.34 c	0.71 c	3.03 c
25	5.27 a	5.05 b	1.64 b	11.97 b
50	6.16 a	6.01 a	2.13 ab	14.49 a
100	6.30 a	6.55 a	2.32 a	14.99 a
DMSH	1.41	0.79	0.52	1.84
HL:FC % (v:v)				
25:75	4.63 a	4.77 a	1.67 a	11.07 a
50:50	4.65 a	4.73 a	1.76 a	11.15 a
75:25	4.75 a	4.71 a	1.68 a	11.14 a
DMSH	1.11	0.62	0.41	1.45

HL=humus de lombriz; FC= fibra de coco; Medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, ≤ 0.05).

En el Cuadro 6 se presentan los rendimientos de frutos medianos por efecto de la interacción de los factores de estudio. De manera general los mayores rendimientos de estos frutos se registraron en plantas regadas con soluciones nutritivas con 50 y 100% de concentración; independientemente de la proporción de humus de lombriz y fibra de coco en el sustrato.

Cuadro 6. Interacciones de soluciones nutritivas con mezclas de sustratos y rendimiento de frutos medianos.

Soluciones nutritivas (% de concentración)	Rendimiento (kg m ⁻²)		
	Sustratos HL:FC % v/v		
	25:75	50:50	75:25
0 (testigo)	0.57 d	1.74 d	1.72 d
25	4.61 c	5.39 abc	5.15 bc
50	6.96 a	5.79 abc	5.28 abc
100	6.96 a	6.02 abc	6.69 ab

HL=Humus de Lombriz; FC= fibra de coco; Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (Tukey, ≤ 0.05).

Los resultados de la interacción de los factores de estudio, solución nutritiva y sustrato, tuvieron efecto significativo sobre el rendimiento total de frutos (Cuadro 7). La tendencia observada es similar a la registrada para el rendimiento de frutos medianos. Estos resultados indican que con las SN al 50 ó 100% de concentración nutrimental, se puede lograr mayor rendimiento de tomate en comparación con el que se obtiene con la SN al 25% y con el testigo, al ser aplicadas en la mezcla de sustratos 25:75 v:v; lo que coincide con lo reportado por Cruz-Crespo *et al.*, (2012), quienes refieren que el rendimiento no se incrementa al aumentar del 50 a 100% la concentración nutrimental de las SN; sino que se hacen excesivas aportaciones de nutrientes que sólo contribuyen a la contaminación del ambiente (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2007). El mayor rendimiento total (16.07 kg m⁻²) registrado con las soluciones de 50 ó 100% de concentración nutrimental y sustrato de 25:75 (v:v HL:FC), es inferior a los 24.4 kg m⁻² que Godoy-Hernández *et al.*, (2009) reportaron al cultivar en suelo en tomate bola injertado. En este sentido, De La Cruz *et al.*, (2009), quienes reportaron que en sistemas de producción con manejo inorgánico el rendimiento de tomate es mayor a los 5.0 kg m⁻² que se obtienen al usar 75% de humus de lombriz en el medio de crecimiento; asimismo, Márquez-Hernández *et al.*, (2008), quienes obtuvieron rendimientos totales de 9.1 kg m⁻² y 8.8 kg m⁻² al cultivar

tomate en mezclas con 37.5% de perlita con composta y humus de lombriz, respectivamente. Además, Cruz-Crespo *et al.*, (2012) refieren que con el humus de lombriz por si solo es difícil que se den las condiciones adecuadas para un buen crecimiento y desarrollo de las plantas, por lo que es necesario hacer mezclas con otros materiales; asimismo, lo señalan Subler *et al.*, (1998) y Riggle (1998), al cultivar tomate en sustratos con proporciones entre 10 y 20% de composta. No obstante, se debe tener presente que al usar más del 20% de composta en el sustrato se induce decremento en el rendimiento (Atiyeh *et al.*, 2000; Atiyeh *et al.*, 2000b), lo que puede llegar a representar entre 10 y 30% en agricultura orgánica contra la agricultura convencional (Stacey, 2004).

Cuadro 7. Interacciones de soluciones nutritivas con mezclas de sustratos y rendimiento total de tomate.

Soluciones nutritivas (% de concentración)	Rendimiento (kg m ⁻²)		
	Sustratos HL:FC % v/v		
	25:75	50:50	75:25
0 (testigo)	1.58 c	4.17 c	3.34 c
25	10.57 b	12.41 ab	12.93 ab
50	16.07 a	14.45 ab	12.95 ab
100	16.07 a	13.58 ab	15.33 a

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (Tukey, ≤ 0.05).

2.4. CONCLUSIONES

Las soluciones nutritivas al 50 y 100% de concentración nutrimental ocasionaron efectos similares en el rendimiento total, pero superiores a los que se observaron en las plantas regadas solo con agua (testigo), de tal manera que la solución nutritiva al 50% se puede utilizar para obtener mayor producción de frutos y productividad, así como para contaminar menos el medio ambiente. Solo se encontró interacción de soluciones nutritivas y sustratos al usar la mezcla 25:75 (v/v) en producción de frutos medianos y rendimiento total.

CAPITULO 3. INFLUENCIA DE SOLUCIONES NUTRITIVAS APLICADAS EN HUMUS DE LOBRIZ-FIBRA DE COCO SOBRE EL TOMATE CULTIVADO EN SISTEMA HIDROPÓNICO

3.1. INTRODUCCIÓN

A nivel nacional e internacional, el tomate es la hortaliza más cultivada y consumida. En el año 2008, se cultivaron en el mundo 5, 227, 883 ha, que produjeron 129, 649, 883 Mg de tomate (FAO, 2010). México ocupa el primer lugar en producción; es el producto hortícola de exportación por excelencia y el sostén principal de la estructura productiva, siendo Sinaloa el principal productor (SAGARPA, 2010). El uso intensivo de fertilizantes inorgánicos en la agricultura, ha causado problemas de contaminación ambiental (Polat *et al.*, 2010; Durdane *et al.*, 2011); agudizándose más al aplicarlos en dosis superiores a los requerimientos de los cultivos (Peña-Cabriales *et al.*, 2001). La nutrición balanceada obliga a sincronizar la demanda y el suministro de nutrimentos, lo que permite optimizar el uso de fertilizantes y evita la contaminación de mantos acuíferos y la salinización de los suelos (Villarreal-Romero *et al.*, 2006), esto ha conllevado a la necesidad de aplicar elementos nutritivos en forma racional, ya que, con el paso de los años, se han hecho evidentes los riesgos que implica el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas sobre la salud humana (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2007), por lo que para disminuir problemas de contaminación, los sistemas de producción han sido modificados al combinar fertilización orgánica con mineral (Rinaldi *et al.*, 2007). Sin embargo, para reducir y eliminar los efectos adversos de los fertilizantes sintéticos sobre el medio ambiente, nuevas prácticas agrícolas se han desarrollado en la llamada agricultura orgánica, ecológica y agricultura sustentable (Chowdhury, 2004). El humus de lombriz, como sustrato, permite satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos en invernadero, y reducir significativamente el uso de fertilizantes sintéticos (Manjarrez-Martínez *et al.*, 1999; Rodríguez-Dimas, 2009), además de ser un mejorador de suelo que no contamina (Urrestarazu, 2001). Según Márquez-Hernández y Cano-R (2005), los

elementos nutritivos contenidos en el humus de lombriz son suficientes para obtener producciones aceptables de tomate cherry. Incluso, cuando ésta es mezclada en concentraciones de 12.5 y 50% en arena (Moreno-Reséndez *et al.*, 2005). Las características antes referidas acerca de los sustratos, han originado que en la industria hortícola el humus de lombriz se considere con alto potencial comercial para proporcionar el medio de crecimiento de plántulas en almácigos y plantas en recipientes mayores (Ndegwa y Thompson, 2000). Rodríguez-Dimas *et al.*, (2008) citan que además de satisfacer la demanda nutricional de los cultivos hortícolas en invernadero y reducir significativamente el uso de fertilizantes sintéticos, contienen sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento, tienen alto contenido de ácidos húmicos, en el suelo elevan la capacidad de intercambio catiónico, aumentan la porosidad y capacidad de retención de humedad, y facilitan la aireación y el drenaje. Desde el punto de vista económico, es atractivo el uso de sustratos orgánicos, ya que permite reducir los costos derivados de la fertilización química, hasta en un 10% (Trápaga y Torres, 1994). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar la respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas de diferente concentración de nutrimentos aplicadas en sustratos constituidos a base de humus de lombriz y fibra de coco.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en condiciones de invernadero durante el ciclo agrícola 2011-2012, en el campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicado en el km 17.5 de la Maxi-pista Culiacán-Mazatlán, en un diseño factorial 4x3, donde se evaluó el efecto ocasionado por diferentes concentraciones de la solución nutritiva Steiner (0, 25, 50 o 100%) en el tomate híbrido 'Imperial' tipo bola, de crecimiento indeterminado, injertado en el patrón Multifort®, después de haber permanecido 35 días en charolas de unicec con 128 cavidades rellenas con sustrato marca SOGEMIX®; asimismo, se evaluó la respuesta a los sustratos orgánicos constituidos por la

mezcla de humus de lombriz-fibra de coco en proporciones volumen: volumen (v:v) de 25:75, 50:50 y 75:25.

Como ya se refirió la solución Steiner se elaboró en concentraciones de 25, 50 y 100%, a estas se adicionaron 50 y 20 mg L⁻¹ de los respectivos fertilizantes Hidromix proan[®] y Sinergipron[®] Fe (EDDHA), los cuales son fuente de micronutrientes y los efectos que ocasionaron las diferentes soluciones nutritivas se compararon con la respuesta del tomate regado sólo con agua (testigo). La concentración de la solución Steiner al 100% fue la siguiente: 12, 1, 7, 7, 9 y 4 mol_c m⁻³ de NO₃⁻, H₂PO₄⁻, SO₄²⁻, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺, respectivamente (Steiner, 1984). Las fuentes de fertilizantes inorgánicos usados en la preparación de las soluciones nutritivas fueron: Ca(NO₃)₂·4H₂O, KNO₃, K₂SO₄, KH₂PO₄ y MgSO₄·7H₂O. Con la combinación de factores en los niveles antes indicados, se constituyeron 12 tratamientos, mismos que fueron distribuidos completamente al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue un grupo de seis plantas contenidas en tres macetas (dos plantas por maceta). Después de mezclar el humus de lombriz y la fibra de coco, se llenaron bolsas de plástico color blanco (macetas) de tamaño 40x18x43 con un volumen de sustrato de 14 L. El trasplante se realizó el 19 de noviembre de 2011, con dos plántulas por maceta, mismas que se acomodaron en hilera sencilla, con 1.60 m de separación entre camas, para obtener una densidad de población de 2.5 plantas m⁻².

Para las soluciones nutritivas (SN) se usaron contenedores con capacidad de 400 L, y la aplicación se realizó con un programador digital (temporizador) interconectado con cuatro bombas eléctricas con capacidad de 1^{1/4} HP, conectadas a una manguera con goteros para gasto de 3.0 L h⁻¹, insertándosele un distribuidor de cuatro salidas y dos piquetas por maceta. El inicio del riego con las SN fue a los 20 días después del trasplante (ddt), con ocho riegos diarios durante 3 a 5 min, cuya frecuencia se incrementó conforme a la demanda del cultivo, de tal forma que después de los 72 ddt se aplicaron 16 riegos diarios con duración de 5 minutos (4.0 L por maceta al día). La planta se guio a un tallo, definiéndolo al eliminar el primer brote axilar debajo del primer racimo floral, y durante el desarrollo del cultivo se hizo desbrote cada 7 a 15 días. También se

hicieron defoliaciones basales para dar mayor ventilación y luminosidad entre plantas, disminuir condiciones para enfermedades e inducir uniformidad en maduración de frutos en 2 a 3 racimos que se dejaron descubiertos (Moreno *et al.*, 2012). Para evaluar el crecimiento de las plantas se midió longitud y diámetro de tallo seleccionando tres plantas de tomate por tratamiento, para la medición se empleó regla flexible y vernier digital respectivamente. Para la calidad de fruta se determinó firmeza con penetrómetro Chantillon DFGS 100[®] mediante la inserción de un punzón metálico de 8 mm de diámetro en la pulpa de tres frutos por tratamiento, los valores se expresaron en Newton (Nw), y sólidos solubles totales (°Brix), utilizando un refractómetro Mettler modelo RE40D[®]. Se determinó la conductividad eléctrica (CE) expresada en dS m⁻¹, y se cuantificaron los iones de nitratos (NO₃⁻), cloruros (Cl⁻), potasio (K⁺), calcio (Ca²⁺) y magnesio (Mg²⁺) en solución de drenaje (volumen excedido después del riego); los datos se expresaron en mol_c m⁻³. Para evaluar las concentraciones de nutrimentos en hoja se realizó análisis de tejido vegetal a los 78 ddt. La determinación de N total se hizo por el método Kjendahl; para P, K, Ca y Mg se realizó la digestión húmeda del material seco, y del extracto obtenido se analizó P por método vanadato-molibdato, y el resto de los nutrimentos por espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin-Elmer, Modelo Analysis 100[®]) (Alcantar y Sandoval, 1999). Para evaluar rendimiento, los frutos se clasificaron de acuerdo a la norma oficial NMX-FF-031-1997; la distribución de rendimiento (kg m⁻²) en tamaños 4x4, 4x5, 5x5, 5x6, 6x6, 6x7 y 7x7; y el rendimiento total de frutos expresado en kg m⁻², a través de ocho cortes en total, el primer corte se hizo el 01 de Marzo y finalizó el 20 de Abril de 2012 (51 días en cosecha). Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza con el programa SAS (2002), y se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey (P ≤ 0.05).

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Variables de crecimiento

3.3.1.1. Longitud de tallo

Los resultados de análisis de varianza para longitud de tallo no mostraron diferencia estadística significativa en la interacción de los dos factores (SN*sustratos).

En el cuadro 8, se muestran los resultados estadísticos para esta variable, observándose que las SN y los sustratos modificaron estadísticamente la longitud de tallo. Los resultados promedios indican que las soluciones nutritivas no afectaron estadísticamente la longitud de tallo ya que, al aplicar las SN al 25, 50 y 100 % de su concentración arrojaron valores de 322.25, 314.58 y 303.08 cm respectivamente, sin embargo, estas superaron estadísticamente a las plantas que se les aplicó solamente agua (testigo) con 58.3 a 62.04 %. Cruz-Crespo *et al.*, (2012) encontraron diferencia estadística entre tratamientos, al obtener 156.0 cm en plantas donde se aplicó agua (testigo), superado por las SN al 50, 75 y 100% con 189.0, 194.0 y 198.0 cm de longitud de tallo respectivamente, siendo menores a los obtenidos en el presente estudio. Dogliotti (2012), menciona que la altura de la planta puede variar de acuerdo a su origen genético, manejo del cultivo a uno o dos tallos y a la nutrición aportada. Cruz-Crespo *et al.*, (2012) señalan que cuando se usó la SN al 100% solo incrementó altura de planta con respecto a las SN concentradas al 50 y 75%, y estas SN superaron a las plantas tratadas con agua. En cuanto a las mezclas de los sustratos (Factor B), la comparación de medias entre tratamientos muestra que la mezcla 50:50 (HL:FC) provocó mayor longitud de tallo con 296.44 cm superando a las mezclas de 25:75 y 75:25 con 11.7 y 4.2 % respectivamente (Cuadro 8). Cruz-Crespo *et al.*, (2012) obtuvieron valores de altura de planta de 186.0 cm en sustrato vermicomposta-tezontle, estos fueron menores a los obtenidos en el presente estudio, así como el reportado por Márquez-Hernández *et al.*, (2008) de 225.0 cm a los 80 ddt; en cambio Márquez-Hernández *et al.*, (2013) obtuvieron 235.7 cm de altura en un ciclo de 213 ddt al aplicar fuentes orgánicas en invernadero. Otros autores,

reportan que el humus de lombriz al 50% de volumen aumenta notablemente el porte de las plantas (Márquez-Hernández *et al.*, 2006). Sin embargo, Moreno-Reséndez *et al.*, (2005) no encontraron diferencia para ésta variable, al evaluar tomate en sustratos con diferentes compostas en comparación con la fertilización inorgánica. Subler *et al.*, (1998) mencionan que cuando los niveles de vermicomposta se encuentran en mayor proporción, no siempre se mejora el crecimiento de las especies vegetales; Atiyeh *et al.*, (2000b) citan que proporcionando todos los nutrientes con fertilización mineral provocan mayor crecimiento de la planta, en respuesta cuando la VC constituye proporciones relativamente pequeñas (10 a 20%) de el volumen total de la mezcla de sustrato. Aunque Galindo-Pardo *et al.*, (2014), citan que la vermicomposta posee el potencial para mejorar el crecimiento de la planta en invernadero. Rodríguez-Díaz *et al.*, (2013) reportan la altura de planta en tomate variedad SUN 7705 a los 71 dd con 190.0 cm al usar tezontle de reúso en invernadero.

3.3.1.2. Diámetro de tallo

De acuerdo a los resultados de análisis de varianza para el diámetro de tallo, los resultados estadísticos de las interacciones no muestran un efecto significativo debido a las SN* sustratos usados en el manejo de la planta de tomate.

En el cuadro 8, los resultados reportan que la solución nutritiva concentrada nutrimentalmente al 100% presentó estadísticamente mayor diámetro de tallo con 18.87 mm, respecto a las plantas que se regaron solamente con agua (testigo). Se puede observar que entre el factor SN no hubo diferencias significativas, sin embargo, reflejan un incremento del diámetro de tallo conforme aumenta la concentración nutrimental en la solución nutritiva. Esto coincide con Cruz-Crespo *et al.*, (2012) quienes encontraron que las SN 50, 75 y 100% no modificaron estadísticamente el diámetro de tallo, al obtener valores de 18.3 a 18.4 mm, pero estas fueron significativamente diferente a las plantas testigo con un diámetro de 1.36 mm al usar tezontle y vermicomposta en la proporción 65:35. Estos valores son ligeramente menores a los obtenidos en el presente estudio. Con respecto al factor mezclas de sustratos (HL:FC v/v), la prueba de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) no presentó respuesta estadística significativa en diámetro de

tallos, ya que, los valores de diámetro de tallo fueron similares de 16.86, 16.88 y 15.90 mm con la mezcla 25:75, 50:50 y 75:25 (v/v) respectivamente. Lo anterior, no coincide con Acosta-Duran *et al.*, (2014) quienes citan que al incrementar el porcentaje al 100 % de vermicomposta en el medio de crecimiento mostró los valores más altos diámetro de tallo de GERANTUM y PETUNIA superando al tratamiento químico en invernadero. Cruz-Crespo *et al.*, (2012) no encontraron diferencias significativas en tomate variedad Charleston de diámetro de tallo al usar tezontle y dos tipos de vermicomposta en la proporción 65:35. A diferencia de los fertilizantes minerales, el vermicompost constituye una fuente de nutrientes de liberación lenta, que se van poniendo a disposición de la planta a medida que ésta los va necesitando (Chaoui *et al.* 2003).

Cuadro 8. Longitud y diámetro de tallo de plantas de tomate por efecto de soluciones nutritivas aplicadas en mezclas de sustratos FC:HL en sistema hidropónico.

Solución nutritiva	Longitud de tallo (cm)	Diámetro de tallo (mm)
(% de concentración)	83 ddt	83 ddt
0 (testigo)	188.92 b	14.65 b
25	303.08 a	14.76 ab
50	314.58 a	17.91 ab
100	322.25 a	18.87 a
DMSH	33.03	4.20
Sustratos		
HL:FC % (v:v)		
25:75	265.56 b	16.86 a
50:50	296.44 a	16.88 a
75:25	284.63 ab	15.90 a
DMSH	25.95	3.30

HL:Humus de Lombriz; FC:Fibra de Coco. Medias con letra diferente en columna son estadísticamente diferente (Tukey ≤ 0.05).

3.3.2. Variables de calidad de fruto

3.3.2.1. Firmeza

De acuerdo a los resultados de análisis de varianza para firmeza de fruto, los resultados estadísticos de las interacciones no muestran un efecto significativo debido a las SN* sustratos usados en el manejo de la planta de tomate.

En el cuadro 9, se reporta la comparación de medias de la variable firmeza de fruto (Tukey ≤ 0.05), observándose que el factor SN tuvo efecto estadístico significativo, observándose que el tratamiento testigo (regadas con solo agua) obtuvo la menor firmeza con 17.52 Nw, siendo superado estadísticamente por las SN concentradas al 25, 50 y 100% con 5.4, 11.3 y 29.2 % respectivamente; reflejando que al incrementar la concentración de la SN aplicada a las plantas de tomate aumenta la firmeza de fruto. Los frutos deben ser consistentes para soportar la recolección mecánica y el transporte, sin grietas ni magulladuras. El ablandamiento de un fruto es uno de los cambios más evidentes durante la maduración de tomate (Wills *et al.*, 1998). Por lo anterior, Kader (1993), indica que el valor mínimo permisible para el fruto de tomate sea aceptado a nivel comercial es de 8.0 Nw, mientras que Ojeda *et al.*, (1995), reportan que valores de firmeza inferiores a 5.0 Nw son comercialmente inaceptables. Por otro lado, San Martín-Hernández *et al.*, (2012) encontraron en tomate valores de firmeza de 1.5 a 1.66 Nw en diferentes granulometrías de tezontle, los cuales son muy inferiores a los obtenidos en el presente estudio.

3.3.2.2. Sólidos solubles totales (°Brix)

Para la variable solidos solubles totales, los resultados estadísticos de análisis de varianza no muestran un efecto significativo de las interacciones debido a las SN* sustratos usados en el manejo de la planta de tomate.

Los resultados de solidos solubles se modificaron por efecto de las soluciones nutritivas (factor SN), en cambio en sustratos no influyeron estadísticamente en este parámetro químico (Cuadro 9). Los resultados de comparación de medias ($p \leq 0.05$) reporta que la solución nutritiva concentrada al 100% obtiene el valor más altos en sólidos solubles totales con 5.74, superando estadísticamente con

43.5, 42.7 y 24.8 % a las plantas que se aplicó agua (testigo), SN 25 % y 50 % respectivamente (Cuadro 9). Estos valores obtenidos de los sólidos solubles fueron mayores a los obtenidos por De la Cruz *et al.*, (2010) quienes encontraron valores de 4.55 a 4.85 °Brix al usar compostas y, en vermicomposta de 4.91 a 4.96°Brix al adicionarlas con 50, 75 y 100 % al sustrato arena.

Cuadro 9. Parámetros físicos y químicos analizados en fruto de tomate del primer corte (102 ddt), por efecto de soluciones nutritivas aplicadas en mezclas de sustratos HL:FC en sistema hidropónico. Ciclo 2011-2012.

Solución nutritiva (% de concentración)	Firmeza (Nw)	SST (° Brix)
0 (testigo)	17.52 b	4.00 b
25	18.46 ab	4.02 b
50	19.50 ab	4.60 b
100	22.64 a	5.74 a
DMSH	4.17	0.60
Sustratos		
HL:FC % (v:v)		
25:75	19.31	4.59
50:50	18.26	4.54
75:25	21.31	4.63
DMSH	3.28	0.47

HL=Humus de lombriz; FC= Fibra de coco; Medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, ≤ 0.05).

En cambio, Preciado-Rangel *et al.* (2011) reportan que soluciones nutritivas orgánicas presentaron mayor contenido de sólidos solubles de 4.5 a 4.6°Brix respecto a la solución nutritiva de Steiner con 4.10 °Brix. Márquez-Hernández *et al.* (2013) y Cano y Márquez (2010) mencionan un menor contenido de sólidos solubles cuando se cultiva en medios inertes con respecto al uso de sustratos orgánicos. Yescas-Coronado *et al.* (2011) encontraron que los sólidos solubles de 6.4 °Brix con la mezcla de arena-vermicomposta. Por otro lado, Dorais *et al.* (2001) mencionan que el incremento de los °Brix se puede atribuir a una mayor

CE en el sustrato. Rodríguez-Díaz *et al.*, (2013) encontraron valores de 3.95 a 4.25 °Brix usando tezontle como sustrato. Los azúcares constituyen la mayor parte de los sólidos solubles totales (SST) presentes en el jugo de una fruta, por esto, los SST se pueden utilizar como un estimador del contenido de azúcar de la misma, aunque también constituyen los ácidos orgánicos, aminoácidos y pectinas solubles. En frutas y hortalizas la glucosa, sacarosa y fructosa son los azúcares que predominan en el sabor de los tomates (Wills *et al.*, 1998).

3.3.3. Conductividad eléctrica (CE) y cuantificación de sales en solución de drenaje 60 ddt

De acuerdo a los resultados de análisis de varianza solo para CE, concentración de Ca y Mg, los resultados estadísticos de las interacciones muestran un efecto significativo debido a las SN* sustratos usados en el manejo de la planta de tomate. Los análisis de varianza para las variables de CE y cuantificación de iones nutritivos en solución de drenaje en el primer muestreo mostraron diferencia estadística significativa solamente para el factor A (SN). (Cuadro 10).

Cuadro 10. CE y concentración de iones nutritivos en solución de drenaje (60 ddt) por efecto de la aplicación de SN en sustratos HL:FC (v/v) en tomate en sistema hidropónico. Ciclo 2011-2012.

Concentración SN (%)	CE (dS m ⁻¹)	NO ₃ ⁻	K ⁺ molc m ⁻³	Ca ²⁺	Mg ²⁺
0 (Testigo)	0.42 c	0.007 d	0.18 c	2.44 d	1.06 b
25	0.93 c	1.82 c	0.92 bc	4.55 c	2.16 b
50	1.60 b	4.23 b	2.09 b	7.53 b	4.24 b
100	3.95 a	5.86 a	8.69 a	15.77 a	11.47 a
DMSH	0.59	1.42	1.16	1.72	4.71
Sustratos HL:FC % v:v					
25:75	1.60 ab	3.17 a	3.12 a	7.00 a	3.65 a
50:50	1.54 b	3.26 a	2.47 a	7.45 a	3.75 a
75:25	2.03 a	2.50 a	3.29 a	8.27 a	6.79 a
DMSH	0.46	1.11	0.91	1.35	3.70

Medias con letra diferente en la columna son estadísticamente diferente (Tukey ≤ 0.05)

3.3.3.1. Conductividad eléctrica (CE) en solución de drenaje

En el cuadro 11, se observan los resultados de la interacción de la variable CE se observa que las SN 25, 50 y 100% aplicadas a las mezclas de los sustratos 25:75, 50:50 y 75:25 (HL:FC v/v) provocaron incrementos de CE, y ésta fue relacionada con la concentración nutrimental de la SN. Se observa que al aplicar la SN concentrada al 100% aumenta la CE conforme se incrementa la proporción de humus de lombriz en relación a la fibra de coco; los más altos valores de CE se obtuvieron en la mezcla con mayor proporción de humus de lombriz (HL:FC 75:25) con 5.31 dS m^{-1} , superando con 54.81 y 71.29 % a las mezclas 25:75 y 50:50 respectivamente. Las SN aplicadas al 25, 50 y testigo presentaron CE similares independientemente de los sustratos. Sin embargo, en los sustratos usados de HL:FC, se presentaron incrementos de CE al ser mayor la concentración nutrimental en la SN.

Cuadro 11. Medición de CE en solución de drenaje por efecto de la Interacción SN y mezcla de sustratos en sistema hidropónico. Ciclo 2011-2012.

Concentración SN (%)	Sustratos HL:FC (v/v)		
	25:75	50:50	75:25
Testigo (0)	0.41 e	0.42 e	0.45 e
25	0.99 de	0.88 de	0.94 de
50	1.57 de	1.79 cd	1.45 de
100	3.43 b	3.10 bc	5.31 a

HL: Humus de Lombriz; FC: Fibra de Coco. Medias con letra diferente en columna son estadísticamente diferente (Tukey ≤ 0.05)

La CE ideal para cultivos sin suelo es entre $1,5$ y 2.5 dS m^{-1} . Sin embargo, el efecto de la salinidad sobre cultivos es específico de la especie y cultivar. En general, la $CE > 2.5 \text{ dS m}^{-1}$ puede dar lugar a problemas de salinidad, mientras que $EC < 1.5 \text{ dS m}^{-1}$ puede llevar a deficiencias de nutrientes. En cultivos en invernadero, el alto aporte de fertilizantes es la principal causa de los problemas

de salinidad (Li, 2000). Además, una alta CE también puede ser causada por la presencia de iones específicos tales como Na^+ y Cl^- en la solución.

Yescas-Coronado *et al.*, (2011) mencionan que el lixiviado de la mezcla 75% de arena y 25% de vermicompost presentó mayor CE en la etapa vegetativa, floración y fructificación con 17.1, 12.2 y 10.30 dS m^{-1} respectivamente, estos valores son mayores a los obtenidos en el presente estudio. En cambio, al relacionar la CE de los lixiviados de la arena y la perlita con el tiempo se presentó una tendencia positiva, lo que significa que la CE aumenta al incrementarse el tiempo. Bunt, (2005) indica que a medida que se incrementa la cantidad y frecuencia de riego la concentración de sales aumenta, pero si la cantidad de agua sigue incrementándose se induce a que las sales acumuladas sean lixiviadas gradualmente, por ello el incremento en la solución lixiviada.

3.3.3.2. Nitratos (NO_3^-) en solución de drenaje

Los resultados de análisis de varianza para NO_3^- en solución de drenaje no tuvo efecto estadístico significativo debido a la interacción de las SN* sustratos.

En el cuadro 10, se presentan los resultados de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) del factor A (SN) para la variable concentración de NO_3^- en drenaje, los cuales muestran que la concentración fue dependiente de la concentración nutrimental de la SN, observándose que el testigo (se aplicó solamente agua) obtuvo 0.007 $\text{mol}_c \text{ m}^{-3}$, pero al aplicar las SN al 25, 50 y 100% se aumentó con 1.82, 4.23 y 5.86 $\text{mol}_c \text{ m}^{-3}$ respectivamente. Por otro lado, los sustratos elaborados de HL:FC no modificaron la concentración, al obtener valores 3.17, 3.26 y 2.50 $\text{mol}_c \text{ m}^{-3}$ en las mezclas 25:75, 50:50 y 75:25 (HL:FC v/v) respectivamente.

3.3.3.3. Potasio (K) en solución de drenaje

No se presentó diferencia estadística significativa para la interacción de los factores de estudio SN*sustratos en la concentración de K en solución de drenaje. En los análisis estadísticos (Tukey ≤ 0.05), para la concentración de K en drenaje presentados en el Cuadro 10, se observa que presentan diferencia estadística altamente significativa para el factor SN, no siendo así para el factor sustrato. Las

SN influyeron en la concentración de K en drenaje, ya que, el testigo (agua) obtuvo la menor concentración con $0.18 \text{ mol}_c \text{ m}^{-3}$, pero al aplicar las SN al 25, 50 y 100% aumenta su concentración, observándose que la SN al 100% presentó la mayor concentración con $8.66 \text{ mol}_c \text{ m}^{-3}$, superó estadísticamente con 841.3, 314.35 % a las SN concentradas al 25 y 50%.

3.3.3.4. Calcio (Ca) en solución de drenaje

En el cuadro 12, se presentan los resultados de la concentración de Ca en drenaje por efecto de la interacción de SN y sustrato, los cuales indican que la mayor concentración fue con SN 100% aplicada en la mezcla con la mayor proporción de humus de lombriz (75:25 v/v) con $19.45 \text{ mol}_c \text{ m}^{-3}$ superando estadísticamente a los sustratos con las mezclas 25:75 y 50:50 con 41.04 y 38.33 % respectivamente. Esta concentración de Ca aumenta la CE en el medio de crecimiento, pudiendo provocar disminución de rendimiento en los cultivos. Las SN concentradas al 25, 50 % y testigo aplicados en las tres mezclas de sustratos HL:FC no influyeron en la concentración de Ca en drenaje. No siendo así para el caso de las SN aplicadas, que incrementaron su concentración en la solución de drenaje en relación a la concentración nutrimental de la SN.

Cuadro 12. Concentración de Ca en solución de drenaje por efecto de la interacción de SN y sustratos en sistema hidropónico, ciclo 2011-2012.

Concentración SN (%)	Sustratos HL:FC % (v/v)		
	25:75	50:50	75:25
0 Testigo	2.32 e	2.65 e	2.45 e
25	4.78 de	4.40 de	4.47 de
50	7.10 cd	8.78 c	6.72 cd
100	13.79 b	14.06 b	19.45 a

HL: Humus de Lombriz; FC: Fibra de Coco. Medias con letra diferente en columna son estadísticamente diferente (Tukey ≤ 0.05).

3.3.3.5. Magnesio (Mg) en solución de drenaje

En el cuadro 13, se observa que con la solución concentrada al 100% aplicada en el sustrato conformado con la mezcla 75:25 HL:FC con una concentración de $19.91 \text{ mol}_c \text{ m}^{-3}$, observándose que ésta SN (100%) provoca la mayor concentración de Mg en drenaje con 7.33 y 7.19 $\text{mol}_c \text{ m}^{-3}$ en la mezcla de sustratos conformados 25:75 y 50:50 respectivamente. Aunque no se reflejó cambios estadísticos en la concentración de Mg por el efecto de soluciones nutritivas en la mezcla 25:75 y 50:50, sin embargo, se observa que la concentración de Mg estuvo relacionada con la concentración de la solución nutritiva aplicada, y que estas fueron superiores a las mezclas de sustratos irrigados con solamente agua (testigo); es decir, que en cada una de las mezclas usadas se observa un incremento de concentración de Mg debido solamente al efecto de las SN.

Cuadro 13. Concentración de Mg en solución de drenaje por efecto de la interacción de SN y sustratos en sistema hidropónico, ciclo 2011-2012.

Concentración SN (%)	Sustratos HL:FC (v/v)		
	25:75	50:50	75:25
	$\text{mol}_c \text{ m}^{-3}$		
0 Testigo	1.04 b	1.03 b	1.10 b
25	2.17 b	2.19 b	2.14 b
50	4.07 b	4.61 b	4.04 b
100	7.33 b	7.19 b	19.91 a

HL: Humus de Lombriz; FC: Fibra de Coco. Medias con letra diferente en columna son estadísticamente diferente (Tukey ≤ 0.05)

3.3.4. CE y cuantificación de sales en solución de drenaje a los 145 ddt

Los resultados del análisis de varianza mostraron que no hubo interacción entre los factores en estudio (SN*Sustratos) en las variables de CE y la cuantificación de las sales nutritivas de NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , así como tampoco el factor B (mezcla de HL:FC v/v) modificó estadísticamente las variables de medidas en

solución de drenaje. En el Cuadro 14, se presentan los resultados de análisis estadísticos del segundo muestreo muestra que las SN aplicadas en los sustratos HL:FC influyeron significativamente sobre la CE y la cuantificación de las sales nutritivas de NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en la solución de drenaje. En la prueba de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) la CE fue modificada por efecto de la aplicación de las SN, al observarse que la SN al 100% obtuvo una CE de 10.69 dS m^{-1} , superando a las SN de 50%, 25% y testigo (solo agua) con 53.33, 63.04 y 95.13 % respectivamente. Los valores de CE se incrementaron en relación al primer muestreo, desde 19.2, 76.4, 67.9 y 63.0 % para los testigo (0), SN 25%, SN 50% y SN 100% respectivamente, Li, (2000) menciona que en cultivos en invernadero, el alto aporte de fertilizantes es la principal causa de los problemas de salinidad. En la concentración de NO_3^- las SN fueron estadísticamente similares, y estas superaron desde 91.22 a 92.83 % al tratamiento testigo. En la prueba de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) arrojó efecto altamente significativo para el factor SN, observándose que, la concentración de K^+ Ca^{2+} y Mg^{2+} en solución de drenaje está relacionada con la aplicación de la concentración nutrimental en las SN, donde se trató con agua (testigo) reportó la menor concentración. Se observa que esas concentraciones altas de las sales nutritivas obtenidas con la aplicación de la SN al 100% representan un estrés al cultivo, pudiendo provocar trastornos nutrimentales y antagonismos que limitan la disponibilidad y absorción de los iones nutritivos.

Cuadro 14. CE y concentración de iones nutritivos en solución de drenaje 145 ddt por efecto de la aplicación de SN en sustratos HL:FC en sistema hidropónico, ciclo 2011-2012.

Concentración SN (%)	CE (dS m ⁻¹)	NO ₃ ⁻	K ⁺	molc m ⁻³	
				Ca ²⁺	Mg ²⁺
0 (testigo)	0.52 c	0.46 b	0.25 d	2.68 c	1.28 d
25	3.95 b	5.24 a	5.88 c	15.82 b	8.10 c
50	4.99 b	5.98 a	11.25 b	20.61 b	13.89 b
100	10.69 a	6.42 a	32.12 a	43.57 a	26.35 a
DMS	1.18	1.40	5.13	5.30	5.73
Sustrato HL:FC % (v/v)					
25:75	7.34 a	5.37 a	4.44 a	12.18 a	21.75 a
50:00	7.58 a	4.85 a	4.30 a	11.87 a	20.69 a
75:25	7.52 a	4.83 a	4.79 a	12.67 a	19.28 a
DMS	0.21	0.93	1.09	2.46	4.16

HL: Humus de Lombriz; FC: Fibra de Coco. Medias con letra diferente en columna son estadísticamente diferente (Tukey ≤ 0.05).

3.3.5. Concentración de nutrimentos en tejido vegetal

Los resultados de análisis de varianza muestran que para la concentración de nutrimentos en tejido vegetal arrojaron que no hubo diferencia estadística significativa en la interacción de los factores de estudio (SN*sustratos).

La prueba de comparación de medias para concentración de nutrimentos en tejido vegetal (Tukey ≤ 0.05) a los 78 ddt reportan efecto de SN altamente significativa para N, P, K, y Ca, y efecto estadístico significativo para Mg. Para el factor B (sustrato) solo hubo diferencia significativa para la concentración de N (Cuadro 15).

Cuadro 15. Influencia de la SN aplicada en sustratos (HL:FC v/v) sobre la concentración promedio de nutrimentos en hoja de tomate Imperial a los 78 ddt.

Concentración SN (%)	N	P	K %	Ca	Mg
0 (testigo)	1.76 c	0.22 c	2.23 b	3.84 a	0.54 a
25	2.47 b	0.38 b	2.73 b	1.98 b	0.40 b
50	3.63 a	0.51 a	3.96 a	2.03 b	0.46 ab
100	3.67 a	0.41 ab	4.11 a	2.39 b	0.50 ab
DMS	0.51	0.10	0.59	0.97	0.11
Sustrato HL:FC (v/v)					
25:75	2.64 b	0.35 a	3.32 a	2.71 a	0.50 a
50:50	2.95 ab	0.41 a	3.34 a	2.39 a	0.45 a
75:25	3.06 a	0.38 a	3.12 a	2.57 a	0.47 a
DMS	0.40	0.08	0.46	0.76	0.09

La concentración nutrimental en hoja de tomate fue mayor al emplear las soluciones nutritivas, observándose que al aplicar la SN concentrada al 50 y 100% obtuvieron más concentración de N con 3.63 y 3.67 % respectivamente en hoja de tomate variedad Imperial, seguida de la SN al 25 que obtuvo 2.47 %, y las plantas que recibieron solo agua (testigo) la concentración fue menor con 1.76 % de N. Preciado-Rangel *et al.*, (2011) obtuvieron concentraciones de 5.1 y 5.0 % de N al aplicar la SN de Steiner al 100 % y Té de vermicomposta respectivamente en tomate saladette en desarrollo en condiciones de invernadero usando como sustrato arena. Para el P analizado en hoja el resultado presenta el mismo comportamiento a los obtenidos en N, en donde las plantas que recibieron solamente agua (testigo) obtuvieron la menor concentración de P. Para la concentración de K el resultado de comparación de medias reporta que el tratamiento testigo y la SN concentrada al 25 % son estadísticamente iguales, aunque las plantas que recibieron solamente agua presentaron la menor concentración, observándose que las SN al 50 y 100 % fueron estadísticamente iguales con concentraciones de 3.96 y 4.11 % de K respectivamente. Lo anterior, refleja que la adición de vermicomposta en el sustrato permite mejorar el nivel de N en hoja, ya que, al aplicar la SN al 50% se obtuvo resultado similar a la SN

concentrada al 100%. Aunque al aplicar la SN al 25 % no abasteció los requerimientos de la planta para obtener la concentración adecuada, estos resultados coinciden con Cruz-Crespo *et al.*, (2012) quienes citan que el incremento en la concentración de macronutrientos en hoja es debido al aumento de la fuerza iónica de la solución nutritiva de 0 a 50%, y que las plantas de tomate con solución nutritiva menor de 100%, puso en evidencia la presencia de nutrientes en la vermicompost, ya que al utilizar solución al 75% de concentración, el contenido nutrimental de N, P, Mg, Fe y Cu en el tejido fue igual al obtenido con la aplicación de solución al 100%, por lo que se puede decir que la vermicompost aportó aproximadamente 25% de estos nutrientes acumulados por la planta. Los resultados muestran que las mezclas 25:75, 50:50 y 75:25 (FC:HL v/v) donde se aplicó solamente agua (testigo) no cumplen con las exigencias de N de la planta cuantificada a los 78 ddt, esto significa que conforme avanza la madurez fisiológica del cultivo de tomate difícilmente cubrirá la necesidad de la planta, como lo mencionan Gorbey y Calatayud (2010). Márquez-Hernández *et al.*, (2006) indican que después de dos meses del trasplante las plantas crecidas en vermicomposta requieren ser fertilizadas, porque el sustrato resulta deficiente en nutrientes al ser lixiviados o absorbidos por la planta. No obstante, después de ese tiempo el cultivo manifiesta deficiencias nutrimentales, principalmente de nitrógeno (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2007). Por otro lado, Egnball *et al.*, (2000) y, Heeb *et al.*, (2005) afirman que de 70 a 80 % de P y del 80 a 90 % de K en la composta están disponibles para la planta durante el primer año, ya que por ser orgánico el N debe mineralizarse para poder ser absorbido por la planta, ya que en el primer año solo se mineraliza del 11 a 12%. Para Ca y Mg la concentración es mayor en las plantas que se aplicó solamente agua (testigo), respecto a las plantas que recibieron las tres SN concentradas al 25, 50 y 100%. Para el factor sustratos (FC:HL) se encontró que la concentración de N presentó diferencia estadística significativa, observándose que la mezcla 75:25 (FC:HL v/v) obtuvo 3.06 %, superando a la mezcla 25:75 (FC:HL) con 15.90 y 3.59 % respectivamente. Para P, K, Ca y Mg no se presentó diferencia estadística significativa.

3.3.6. Rendimiento de fruto tomate por calibre

El análisis de varianza mostró que la interacción de las SN*sustratos no fue estadísticamente significativa para el rendimiento de tomate por calibres.

En el Cuadro 16, se presentan los resultados estadísticos de rendimiento de cada uno de los tamaños de fruto de tomate evaluados provocaron respuesta altamente significativa para el factor solución nutritiva (%). Los resultados de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) para el rendimiento de fruto tamaño 4x4, 4x5 y 5x6 muestra que la SN concentrada al 25, 50 y 100 % aplicada al cultivo de tomate fueron estadísticamente similares pero diferente al testigo (aplicación de solo agua). En cambio, para el tamaño de fruto 5x5 las SN concentradas al 50 y 100 % fueron estadísticamente iguales al obtener rendimientos de 4.44 y 4.89 kg m⁻² respectivamente. La SN concentrada al 25% en este tamaño (5x5) obtuvo 3.73 kg m⁻², superando estadísticamente a las plantas que se aplicó solamente agua (testigo), al obtener el menor rendimiento con 0.96 kg m⁻². El rendimiento de fruto de tamaño 6x6 y 6x7 la SN concentrada al 50% superó estadísticamente a la SN concentrada al 25% y testigo, este último con los más bajos rendimientos. Las SN concentradas al 25, 50 y 100% no reflejaron respuesta significativa para el tamaño de fruto 7x7, sin embargo, pero si hubo diferencia para testigo, quien obtuvo un rendimiento de 0.08 kg m⁻² (Cuadro 16).

El rendimiento total de fruto para el factor SN muestra que las soluciones nutritivas al 50 y 100% fueron similares estadísticamente con 14.99 y 14.49 kg m⁻² respectivamente, seguidas de la SN aplicada al 25 con 11.97 kg m⁻² y 0% (testigo) con 3.03 kg m⁻² (Cuadro 8). Cruz-Crespo *et al.*, (2012) encontraron que el rendimiento de fruto obtenido fue de 5.11 g planta⁻¹ al aplicar SN 100% y fue estadísticamente igual respecto de SN aplicada al 75 y 50% que presentaron un rendimiento de 4.78 y 4.86 g planta⁻¹ respectivamente; y que estas soluciones superaron a las plantas que se regaron con agua (2.72 g planta⁻¹). Salisbury y Ross, (1991) mencionan el rendimiento del cultivo responde positivamente a concentraciones crecientes hasta un nivel después de que nuevos aumentos a menudo dar lugar a ninguna mejora de rendimiento (consumo de lujo). Cuando

las concentraciones son demasiado altos, los rendimientos pueden incluso disminuir (toxicidad).

Para el factor B sustratos (HL:FC v/v) no se obtuvieron efecto significativo para los diferentes tamaños de fruto evaluados. Sin embargo, los más altos rendimientos se presentaron en los tamaños de fruto 4x4 y 5x5 (frutos grandes), seguida de los 4x5 y 5x6 (frutos medianos) que representan los tamaños de fruto más comercializables. En cambio los frutos de tamaños pequeños se reflejaron en 6x6, 6x7 y 7x7, sin existir diferencia estadística entre las mezclas de HL:FC (Cuadro 8). Por los resultados obtenidos, se observa que los sustratos no modificaron el rendimiento de fruto en los diferentes tamaños, ni en el rendimiento total (Cruz-Crespo *et al.*, 2012), reflejándose la nula aportación de elementos nutritivos en la etapa de producción, ya que provoca un agotamiento de iones nutritivos en el medio de crecimiento, lo cual no abastece en la etapa fructificación y producción que son de mayor demanda nutrimental. Thuy *et al.*, (2013), mencionan que el reemplazamiento total por fertilizantes minerales por vermicomposta puede conducir a una reducción significativa del rendimiento. Aunque la vermicomposta tiene gran potencial sobre el desarrollo y ha provocado efectos significativos sobre diversas hortalizas (Moreno-Reséndez *et al.*, 2005), al ser un material rico en elementos nutritivos, fácilmente asimilables por las plantas (Moreno-Reséndez *et al.*, 2008). Sin embargo, Rodríguez-Dimas *et al.*, (2007) mencionan que el bajo rendimiento de las plantas de los tratamientos orgánicos fue debido a una insuficiencia del N en la vermicomposta, ya que, las plantas tratadas desde el trasplante con el 100% de VC fueron las que presentaron el menor rendimiento de tomate. Rodríguez-Dimas *et al.*, (2008); Cruz *et al.* (2009); y De Grazia *et al.*, (2007) reportaron que al utilizar vermicomposta o composta en el medio de crecimiento y regado solo con agua el rendimiento fue menor que cuando se adiciona nutrimentos. Lo anterior coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que, las plantas regadas con solamente agua provocaron el menor rendimiento con respecto a las plantas tratadas con las soluciones nutritivas con diferente concentración de nutrimentos (Figura 1).

Cuadro 16. Rendimiento de fruto por calibre en tomate variedad Imperial por efecto de las soluciones nutritivas aplicadas en sustratos en sistema hidropónico, ciclo 2011-2012.

Concentración SN (%)	4X4	4X5	5X5	5X6 Kg m ⁻²	6X6	6X7	7X7	Rendimiento total
0 (Testigo)	0.66 b	0.31 b	0.96 c	0.39 b	0.38 c	0.25 c	0.08 b	3.03 c
25	3.63 a	1.64 a	3.73 b	1.32 a	0.86 b	0.57 b	0.21 ab	11.97 b
50	4.29 a	1.86 a	4.44 a	1.57 a	1.24 a	0.80 a	0.29 a	14.49 a
100	4.35 a	1.95 a	4.89 a	1.66 a	1.07 ab	0.79 ab	0.28 a	14.99 a
DMSH	0.96	0.80	0.70	0.46	0.26	0.22	1.66	1.84
Sustratos HL:FC (v:v)								
25:75	3.30 a	1.45 a	3.46 a	1.25 a	0.89 a	0.60 a	0.18 a	11.14 a
50:50	3.32 a	1.33 a	3.55 a	1.18 a	0.82 a	0.68 a	0.25 a	11.15 a
75:25	3.08 a	1.54 a	3.50 a	1.27 a	0.94 a	0.52 a	0.21 a	11.07 a
DMSH	0.75	0.63	0.55	0.36	0.21	0.17	0.13	1.45

HL: Humus de Lombriz; FC= Fibra de Coco. Medias con letra diferente en la columna son estadísticamente diferente (Tukey ≤ 0.05).

Márquez-Hernández *et al.*, (2006) mencionan que la composta y vermicomposta pueden satisfacer los requerimientos nutrimentales de cultivos hortícolas en invernadero durante los primeros dos meses posteriores al trasplante. En cambio Chaoui *et al.*, (2003) comentan que a diferencia de los fertilizantes minerales, la vermicomposta constituye una fuente de nutrientes de liberación lenta, que se van poniendo a disposición de la planta a medida que ésta los va necesitando. De la Cruz-Lazaro *et al.*, (2009) mencionan que la vermicomposta usada como sustrato permite satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos hortícolas en invernadero y reduce significativamente el uso de fertilizantes sintéticos. En cambio, Moreno-

Reséndez *et al.*, (2012) y Atiyeh *et al.*, (2000a) determinaron que las mayores proporciones de VC disminuye el rendimiento de la planta.

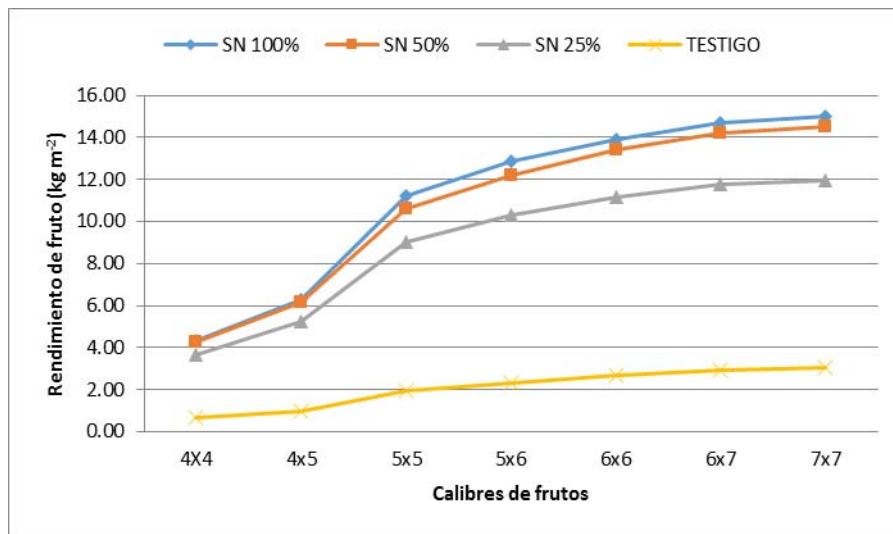


Figura 1. Acumulación de rendimiento de calibres de fruto por efecto de las soluciones nutritivas aplicadas a mezclas de sustratos en hidroponía.

3.4 CONCLUSIONES

En el segundo experimento realizado en el ciclo agrícola 2011-2012, la solución nutritiva Steiner modificada al 50% de concentración nutrimental ocasionó respuestas similares a las inducidas por la solución Steiner al 100% de concentración de nutrientes, en lo que se refiere a la longitud y diámetro del tallo, firmeza, °Brix y rendimiento de frutos, concentración de N, P, K, Ca y Mg en las hojas, pero en la solución de drenaje ocasionó disminución en CE, y en los iones NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , lo que confirma que con la solución nutritiva Steiner modificada al 50% se puede tener similar crecimiento, producción y productividad, así como manejo más sustentable de los sistemas de producción de tomate en condiciones protegidas.

CAPITULO 4. SOLUCIONES NUTRITIVAS APLICADAS EN HUMUS DE LOMBRIZ-FIBRA DE COCO COMO SUSTRATO Y RESPUESTA DEL TOMATE CULTIVADO EN HIDROPÓNIA.

4.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente los consumidores están más interesados en el origen de los productos, de cómo fueron cultivados o si son seguros para comerse, así como del contenido nutricional enfatizando su preocupación por la posible contaminación con agroquímicos, especialmente por los de consumo en fresco (Winter and Sarah, 2006). El uso excesivo de los fertilizantes puede provocar, además de un aumento en los costos de producción, desbalances nutricionales en los cultivos y problemas de contaminación ambiental (Villarreal-Romero *et al.*, 1999).

En relación a la fertilización de los cultivos, esta tradicionalmente se ha lleva a cabo con fuentes inorgánicas debido a su mayor solubilidad, sin embargo, éstos pueden originar un daño a la salud humana, además de incrementar los costos de producción de los cultivos (Fortis-Hernández *et al.*, 2012). El mayor reto en un sistema de producción agrícola consiste en comprender como lidiar con la necesidad de elevar la producción de alimentos y a la vez minimizar los impactos negativos sobre la biodiversidad, los servicios eco sistémicos y la sociedad (Pretty *et al.*, 2011). Por lo que es necesario encontrar sistemas de producción apegados, lo más cercano posible, a lo no aplicación de agroquímicos, siendo la agricultura orgánica uno de los caminos (Álvarez-Rivero *et al.*, 2005), la cual se define de forma general como un método agrícola en el que no se utilizan fertilizantes ni plaguicidas sintéticos (Sinha, 2008).

Ante el incremento del precio de los fertilizantes sintéticos y al efecto que se atribuye su utilización excesiva sobre la contaminación del ambiente, se ha vuelto necesario aplicar los elementos nutritivos en forma racional, ya que con el paso de los años, se han hecho evidentes los riesgos que implica el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas sobre la salud humana (Nieto-Garibay *et al.*, 2002). Lo

usual en invernadero es que las dosis de fertilizantes sintéticos son extremadamente altas (Preciado-Rangel *et al.*, 2011).

En las últimas décadas se ha retomado la importancia en el uso de abonos orgánicos, debido al incremento de los costos de los fertilizantes químicos y al desequilibrio ambiental que estos ocasionan (Ramírez, 2005). El sustrato u abono orgánico es un producto natural resultante de la descomposición de materiales de origen vegetal, animal o mixto, que tiene la capacidad de mejorar la fertilidad del suelo y, por ende, la producción y productividad de los cultivos (Raviv *et al.*, 2005). El uso de sustratos orgánicos ha cobrado gran importancia por diversas razones; desde el punto de vista económico, el uso de sustratos orgánicos (abonos y productos) se ha fomentado por la agricultura orgánica que finalmente también es una respuesta a una mejoría en las prácticas agrícolas (Nieto-Garibay *et al.*, 2002; Márquez-Hernández *et al.*, 2008). Por lo anterior, esta investigación se hizo para determinar la respuesta del tomate cv 'Gironda' en su crecimiento y rendimiento ante la aplicación de soluciones nutritivas en mezclas de sustratos fibra de coco-humus de lombriz en invernadero.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo fue realizado durante el ciclo agrícola 2013-2014, en condiciones de invernadero en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicada en el km 17.5 de la maxipista Culiacán-Mazatlán, en un diseño factorial 4x3, donde se evaluó el efecto ocasionado por diferentes concentraciones de la solución nutritiva Steiner (0, 25, 50 ó 100%) en el tomate híbrido 'Gironda' tipo bola de crecimiento indeterminado, injertado en el patrón Multifort®, después de haber permanecido 35 días en charolas de poliestireno con 128 cavidades rellenas con sustrato marca SOGEMIX®; asimismo, se evaluó la respuesta a los sustratos orgánicos constituidos por la mezcla de fibra de coco (Riococo Worldwide®)-humus de lombriz (Lombriorganic®) en proporciones volumen: volumen (v:v) de 25:75, 50:50 y 75:25.

La solución Steiner se elaboró en concentraciones de 25, 50 y 100%, a estas se adicionaron 50 y 20 mg L⁻¹ de los fertilizantes Hidromix proan® y Sinergipron® Fe

(EDDHA), los cuales son fuente de micronutrientes, y los efectos que ocasionaron las diferentes soluciones nutritivas se compararon con la respuesta del tomate regado sólo con agua (testigo). La concentración de la solución Steiner al 100% es: 12, 1, 7, 7, 9 y 4 mol_c m⁻³ de NO₃⁻, H₂PO₄⁻, SO₄²⁻, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺, respectivamente (Steiner, 1984). Las fuentes de fertilizantes inorgánicos usados en la preparación de las soluciones nutritivas fueron: Ca(NO₃)₂·4H₂O, KNO₃, K₂SO₄, KH₂PO₄ y MgSO₄·7H₂O. Con la combinación de fuentes en los niveles indicados, se constituyeron 12 tratamientos, mismos que fueron distribuidos completamente al azar en tres repeticiones. La unidad experimental fueron tres macetas (bolsas) de plástico blanco con dimensiones de 40x18x43 cm y capacidad de 14 L, rellenas con la mezcla fibra de coco-humus de lombriz. El trasplante se realizó el 29 de octubre de 2013, con dos plántulas por maceta, acomodadas en hilera sencilla, con 1.60 m de separación entre camas, con lo que se obtuvo una densidad de población de 2.5 plantas m⁻².

Para preparar y aplicar las soluciones nutritivas (SN) se usaron contenedores con capacidad de 400 L, y la aplicación se realizó con un programador digital (temporizador) interconectado con cuatro bombas eléctricas con capacidad de 1^{1/4} HP, conectadas a una manguera con goteros para gasto de 3.0 L h⁻¹, insertándosele un distribuidor de cuatro salidas y dos piquetas por maceta. La aplicación de las soluciones nutritivas (SN) se inició a los 20 días después del trasplante (ddt), con seis riegos diarios durante 3 a 5 min, cuya frecuencia se incrementó conforme a la demanda del cultivo, de tal forma que en plena exigencia hídrica se aplicaron 12 riegos diarios con duración de seis minutos.

La planta se guio a un tallo, definiéndolo al eliminar el primer brote axilar debajo del primer racimo floral, y durante el desarrollo del cultivo se hizo desbrote. Se hicieron defoliaciones basales para dar mayor ventilación y luminosidad entre plantas, disminuir condiciones para enfermedades e inducir uniformidad en la maduración de frutos en 2 a 3 racimos que se dejaron descubiertos (Moreno *et al.*, 2012). El índice de verdor o lecturas SPAD se determinó con un equipo SPAD 502 marca Minolta®. La longitud de la planta se midió con regla flexible desde la base del tallo hasta el ápice de crecimiento, y el diámetro de tallo medido en cada

racimo formado con vernier digital marca Truper, seleccionando tres plantas por tratamiento. Se determinó la conductividad eléctrica (CE) expresada en dS m^{-1} , así como la concentración de los iones de nitratos (NO_3^-), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) en solución de drenaje (volumen excedido después del riego) a los 120 ddt, cuyos datos se expresaron en mol c m^{-3} . A los 93 ddt se determinaron las concentraciones de nutrimentos en las hojas. El contenido de N total se determinó por el método Kjendahl, mientras que el de P se obtuvo por el método vanadato-molibdato y el K, Ca y Mg con el espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin-Elmer, Modelo Analysis 100[®]) (Alcantar y Sandoval, 1999). Para estimar el rendimiento (kg m^{-2}), los frutos se clasificaron de acuerdo a la norma oficial NMX-FF-031-1997, esto es: grandes (4x4, 4x5), medianos (5x5, 5x6) y chicos (6x6, 6x7 y 7x7), mientras que el rendimiento total se determinó con lo cosechado a través de 10 cortes en total, los cuales se iniciaron el 29 de enero y terminaron el 10 de abril de 2014, lo que permitió registrar un ciclo de 190 ddt y un periodo de 72 días en cosecha. Los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza con el programa SAS (2002), y se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1. Variables de crecimiento

4.3.1.1. Índice de verdor (unidades Spad)

Los resultados de análisis de varianza no mostraron diferencia estadística significativa debido a la interacción de los factores (SN*sustratos) para la variable índice de verdor.

En el cuadro 17, se observa que para la variable índice de verdor se obtuvo diferencia estadística altamente significativa para soluciones nutritivas (Factor A); para el factor B (mezclas de FC:HL) solamente presentó efecto altamente significativa en las mediciones realizadas a los 35, 42 y 51 ddt. En el cuadro 17, se observan los resultados de la prueba de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) reporta que la SN al 100% a los 32 y 42 ddt obtuvo el mayor índice de verdor con 49.69 y 50.74 respectivamente; seguido de las SN 50 y 25% observándose que presentaron respuestas estadísticamente similares, pero superiores al testigo en todas las mediciones realizadas (tratado con agua). Se observa que a través del tiempo, fue incrementándose el índice de verdor solo en las plantas que se trataron con las soluciones nutritivas. Es importante señalar que el índice de verdor fue modificado por la aplicación de las SN, ya que, al incrementar la concentración nutrimental en la SN aumentan los valores de índice de verdor en las plantas de tomate. Las plantas tratadas con agua (testigo) obtuvieron el menor índice de verdor, reflejando una disminución a través del tiempo a partir de los 42 ddt, esto ocasionado por el bajo suministro de N por parte de los sustratos. Preciado-Rangel *et al.*, (2011) obtuvieron el valor más alto de 54.2 de índice de verdor al aplicar la SN de Steiner aplicada al 100% en inicio de floración de tomate; seguido por el tratamiento con té de vermicompost con 51,49 aplicada en sustrato de arena. Estos valores son inferiores a los obtenidos en el presente estudio sobre todo a partir de los 80 ddt, donde la SN al 100% arrojó los más altos índices de verdor desde los 35 ddt. En cambio Rodríguez-Mendoza *et al.*, (1998) obtuvieron alta correlación entre el N total y clorofila en

plantas de tomate; encontrando valores más altos a los 45 ddt fue de 3.64% y 56.11 respectivamente, y fueron disminuyendo conforme se desarrolló el cultivo. El índice de verdor han sido correlacionado directamente con el contenido y actividad de la clorofila (Ruiz-Espinoza *et al.*, 2010), y con el contenido de nitrógeno en plantas de tomate (Mercado *et al.*, 2010). Mohamed *et al.*, (1987) detectaron aumentos en los contenidos de aminoácidos libres, clorofila, proteínas y actividad fotosintética en las hojas a medida que las dosis de nitrógeno se hicieron mayores. En cambio, Domínguez (1989) menciona que la clorofila, componente esencial en la fotosíntesis, es una sustancia nitrogenada. Fawzy *et al.*, (2012) señalan que suministros adecuados de nutrientes se asocia con niveles adecuados de clorofila, crecimiento vegetativo vigoroso y alta calidad fotosintética. En lo que respecta al factor B (sustratos FC:HL v/v) el índice de verdor influyó de manera significativa a los 35, 42 y 51 ddt en la mezcla 25:75 (FC:HL v/v). Aunque la mezcla 50:50 a los 35 y 51 ddt provocaron estadísticamente resultados similares; y a los 42 ddt la mezcla 25:75 también obtuvo mayor índice de verdor con 48.06, superando a las plantas desarrolladas en los sustratos 50:50 y 75:25 con 7.49 % y 10.48 % respectivamente. En las demás mediciones realizadas se observa que, aunque las mezclas no modificaron estadísticamente el índice de verdor, los resultados muestran que las plantas desarrolladas en la mayor proporción de humus de lombriz (25:75 FC:HL) obtienen numéricamente el mayor índice de verdor en hojas de tomate. También se encontró que conforme avanza la madurez de la planta se incrementa el verdor de las hojas de tomate (Cuadro 17).

Cuadro 17. Índice de verdor en plantas de tomate por efecto de soluciones nutritivas aplicadas a mezclas de sustratos FC:HL en sistema hidropónico, ciclo 2013-2014.

Concentración SN (%)	ddt									
	35	42	51	62	73	80	86	102	116	136
0 (Testigo)	35.09 c	38.94 c	35.02 c	33.18 c	31.23 c	29.14 b	29.71 c	27.62 c	27.31 c	30.47 b
25	42.93 b	45.23 b	46.33 b	45.91 b	46.98 b	50.22 a	54.52 b	54.96 b	54.11 b	57.66 a
50	43.08 b	46.01 b	49.05 ab	48.20 ab	48.98 ab	51.19 a	52.69 b	56.01 b	56.79 b	59.31 a
100	49.69 a	50.74 a	50.07 a	52.83 a	52.26 a	54.39 a	58.45 a	63.13 a	63.73 a	60.93 a
DMSH	4.62	3.22	3.70	5.27	4.44	4.45	3.23	4.35	4.51	3.52
Sustratos										
FC:HL % (v/v)										
25/75	46.24 a	48.06 a	47.37 a	45.04 a	45.82 a	47.27 a	49.48 a	52.18 a	50.04 a	53.67 a
50/50	42.89 a	44.46 b	45.02 ab	45.37 a	45.66 a	45.21 a	48.94 a	49.81 a	50.17 a	51.16 a
75/25	38.96 b	43.20 b	42.95 b	44.68 a	43.10 a	46.22 a	48.11 a	49.29 a	51.24 a	51.60 a
DMSH	3.62	2.52	2.89	4.12	3.47	3.48	2.53	3.4	3.53	2.75

FC= Fibra de coco, HL= Humus de lombriz. Letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey \leq 0.05).

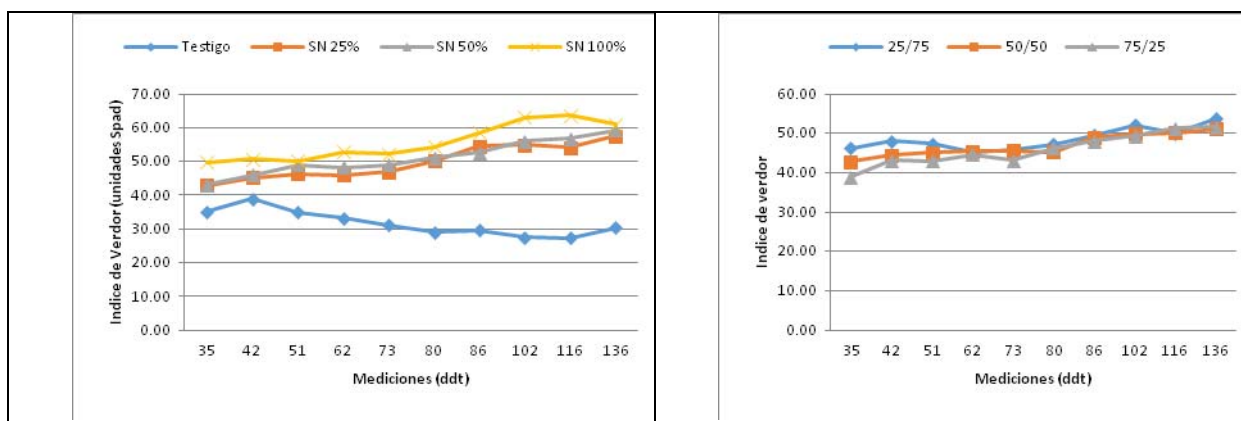


Figura 2. Comportamiento de índice de verdor en hojas de tomate por efecto de las aplicación de soluciones nutritivas (a), y en mezclas de sustratos FC:HL (v/v) (b) en sistema hidropónico.

4.3.1.2. Longitud de tallo

Los resultados de análisis de varianza de los dos factores de estudio influyeron significativamente debido a la interacción (SN*sustratos) a partir de los 55 ddt. Solo se presentan resultados de la interacción a los 70, 92 y 135 ddt.

En el cuadro 18, se presentan los resultados de análisis de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) para el factor simple de soluciones nutritivas, muestran diferencias altamente significativas para los dos factores de estudio (SN y mezclas de sustratos) en las mediciones que se realizaron durante el desarrollo del cultivo. Las SN concentradas al 25 y 50 % no influyeron estadísticamente en la longitud de tallo, sin embargo, la SN al 25% superó numéricamente a la SN del 50% hasta los 76 ddt teniendo incremento de 3.2%; pero superando estadísticamente a la SN concentrada al 100% y plantas tratadas con solamente agua (testigo) con 13.18% y 106.99 % respectivamente. En la última medición (135 ddt) la mayor altura se registró en las SN al 25 y 50% con 363.88 y 365.30 cm respectivamente; donde la SN al 100 % obtuvo 327.10 cm, seguidas con menor altura las plantas tratadas con solamente agua 141.44 cm (testigo). En la prueba de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) para el factor mezclas de sustratos (FC:HL v/v) presentaron diferencias estadística significativa, observándose que la respuesta de esta variable, estuvo relacionada con las proporciones de FC:HL, donde mezcla de 25:75 (FC:HL v/v) obtuvo la mayor altura de planta, seguida de 50:50 (FC:HL v/v) en las mediciones realizadas de los 27 ddt a los 62 ddt. La menor altura de planta se presentó en la mayor proporción de fibra de coco (75:25 v/v). Sin embargo, después de los 70 ddt la mezcla 25:75 y 50:50 (FC:HL) tuvieron efectos estadísticamente similares, pero diferente a la mezcla con la mayor proporción de fibra de coco 75:25 (FC:HL v/v) que reportó menor longitud de tallo en todas las fechas de medición. La mayor altura a los 135 ddt se logró con la mezcla de los sustratos FC:HL de 25:75 con 318.67 cm, superando con 2.60 y 18.38 % a las mezclas 50:50 y 75:25 (FC:HL) respectivamente. En la Figura 3a representa el efecto del factor SN aplicadas sobre el comportamiento de longitud de tallo de planta de tomate, donde el tratamiento testigo (se aplicó solamente agua) arrojó la menor longitud de tallo en

las diferentes fechas de medición (ddt). En la Figura 3b, se observa el efecto del factor mezcla de sustratos, sobre el comportamiento de longitud de tallo de planta de tomate en las diferentes fechas de medición (ddt).

Cuadro 18. Longitud de tallo de plantas de tomate (cm) por efecto de soluciones nutritivas aplicadas a sustratos FC:HL en sistema hidropónico, ciclo 2013-2014.

Concentración SN (%)	27	34	41	48	55	62 ddt	70	76	83	92	112	135
0 (testigo)	50.44 b	61.88 b	70.66 c	78.11 c	85.44 c	91.88 c	95.5 c	99.88 c	104.22 c	108.33 c	113.33 c	141.44 c
25	71.37 a	85.00 a	104.00 a	123.75 a	146.00 a	166.50 a	187.0 a	206.75 a	225.20 a	244.50 a	292.62 a	363.88 a
50	59.70 ab	73.50 ab	96.30 ab	115.80 ab	134.70 ab	158.50 a	180.4 a	200.00 a	225.00 a	245.80 a	294.50 a	365.30 a
100	58.00 b	70.88 b	86.44 b	102.88 b	121.44 b	140.33 b	159.8 b	182.66 b	201.10 b	222.40 b	264.66 b	327.80 b
DMS	12.82	13.28	14.46	15.40	16.48	15.93	14.40	13.80	15.24	18.76	20.27	33.94
Sustrato FC:HL v/v												
25/75	76.33 a	90.25 a	109.00 a	126.50 a	144.25 a	159.66 a	174.66 a	189.41 a	203.66 a	218.16 a	257.58 a	318.67 a
50/50	62.33 b	76.50 b	94.08 b	110.35 b	127.50 b	146.75 b	164.58 a	186.00 a	204.00 a	220.08 a	254.16 a	310.58 a
75/25	40.00 c	50.75 c	64.33 c	77.91 c	93.00 c	110.83 c	127.33 b	141.00 b	159.00 b	177.66 b	216.75 b	269.17 b
DMS	10.01	10.37	11.29	12.02	12.87	12.44	11.02	10.77	11.9	14.65	15.83	26.51

FC= Fibra de coco, HL= Humus de lombriz. Letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey \leq 0.05).

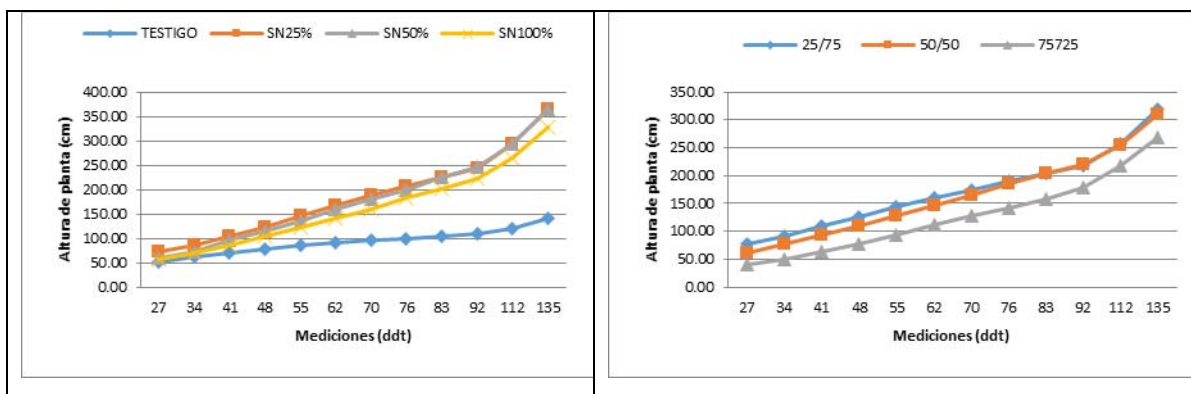


Figura 3. Longitud de tallo de plantas de tomate por efecto de las soluciones nutritivas (a), y mezcla de humus de lombriz-fibra de coco (b) en sistema hidropónico, ciclo agrícola 2013-2014.

En el cuadro 19, de la interacción de SN y sustratos (FC:HL) se presenta la longitud de tallo promedio (Tukey ≤ 0.05) a los 70 ddt, observándose que la mayor altura de 200.00 cm se obtuvo con la aplicación de la SN al 25 % en la mezcla 25:75 (FC:HL v/v) que representa la mayor proporción de humus de lombriz, superando al testigo (solo agua), SN 50 y SN 100 % con 30.83, 25.76 y 20.50% respectivamente. Se observa que, la longitud de tallo está influenciada por la proporción de las mezclas de FC:HL, ya que, en el tratamiento testigo (solo agua) aplicado en la mezcla 75:25 repercutió en el menor longitud de tallo con 42.66 cm, siendo superado por las SN 25, 50 y 100 % de su concentración con 74.70, 73.16 y 69.30 % respectivamente.

Cuadro 19. Longitud de tallo de tomate (cm) por efecto de la interacción de SN y sustratos (FC:HL) a los 70 ddt cultivado en sistema hidropónico, ciclo 2013-2014.

Concentración SN (%)	Sustratos FC:HL % (v/v)		
	25:75	50:50	75:25
Testigo (0)	138.33 d	105.66 e	42.66 f
25	200.00 a	197.33 ab	168.66 bdc
50	186.33 abc	188.66 abc	159.00 dc
100	174.00 abc	166.66 dc	139.00 d

Los resultados de la interacción de los factores (SN y mezclas de FC:HL v/v) para longitud de tallo a los 92 ddt arrojó que las SN aplicadas a las mezclas de sustratos FC:HL (25:75, 50:50) no influyeron estadísticamente, sin embargo, numéricamente, la mayor longitud de tallo se presentó con la SN al 50% aplicada en la mezcla FC:HL 50:50. En cambio, en la mezcla 75:25 (FC:HL v/v) promovió la menor altura en las plantas tratadas con solamente agua (testigo) con 45.00 cm, siendo superadas al aplicar las SN 25, 50 y 100% con 408.15, 422.95 y 348.15 % respectivamente. Por lo anterior, se puede concluir la influencia de las mezclas estudiadas sobre la longitud de tallo de tomate, ya que, se observa una disminución conforme la proporción de humus es menor en la mezcla (Cuadro 20).

Cuadro 20. Longitud de tallo de tomate (cm) por efecto de la interacción de SN y sustratos a los 92 ddt cultivado en sistema hidropónico, ciclo 2013-2014.

Concentración SN (%)	Sustratos FC:HL (v/v)		
	25:75	50:50	75:25
	Longitud (cm)		
Testigo (0)	149.33 c	130.67 c	45.00 d
25	257.33 a	252.67 a	228.67 ab
50	238.33 ab	259.00 a	235.33 ab
100	227.67 ab	238.00 ab	201.67 b

Para la interacción de los factores de estudio (SN*mezcla de sustrato) a los 135 ddt ocasionó la mayor longitud de tallo con la SN aplicada al 25 % de su concentración en la mezcla 25:75 (FC:HL v/v) con 391.00 cm, y el menor valor con 63.00 cm obtenido en plantas tratadas con agua (testigo) en la mezcla 75:25 (FC:HL v/v). Sin embargo, las SN concentradas al 25, 50 y 100 % aplicadas en las mezclas de los sustratos no tuvieron influencia estadísticamente sobre la longitud de tallo. En el cuadro 21, Se observa que hay una reducción de la

longitud de tallo conforme disminuye la proporción de humus de lombriz en las mezclas de los dos sustratos estudiados.

Cuadro 21. Longitud de tallo de tomate (cm) por efecto de la interacción de SN y sustratos a los 135 ddt cultivado en sistema hidropónico, ciclo 2013-2014.

Concentración SN (%)	Sustratos FC:HL (v/v)		
	25:75	50:50	75:25
	Longitud (cm)		
Testigo (0)	189.67 b	171.67 b	63.00 c
25	391.00 a	377.33 a	334.67 a
50	364.67 a	358.33 a	362.00 a
100	329.33 a	335.00 a	317.00 a

4.3.1.3. Diámetro de tallo

Los resultados de análisis de varianza para diámetro de tallo no mostró diferencia estadística significativa en la interacción entre SN*sustratos.

En el cuadro 22 se indica que de las 14 mediciones que se realizaron muestran diferencia significativa para las dos primeras, y altamente significativa para el resto de las fechas que se midieron para el factor soluciones nutritivas (factor A). En cambio, el factor B (mezcla en proporciones diferente de FC:HL) solamente mostró diferencia estadística significativa a partir de la medición 10.

En el mismo cuadro se indica que el mayor diámetro de tallo se logró con las soluciones nutritivas al 50 y 100% de su concentración aplicadas en la mezcla de FC:HL en las primeras nueve mediciones, observándose que en las siguientes mediciones la solución nutritiva al 50% arrojó el mayor diámetro de tallo. En la primera medición (34 ddt), las soluciones nutritivas al 25, 50 y 100% fueron estadísticamente iguales con 11.34, 11.45 y 11.97 mm respectivamente, superando con 140.76, 143.09 y 149.89% a las plantas tratadas con agua (testigo). En la medición ocho (76 ddt) etapa de fructificación de la planta de

tomate, se observó que la SN 50% obtuvo 12.00 mm, superando estadísticamente al promedio del testigo y al obtenido con la solución nutritiva al 25 % de concentración, con 275 y 22.19 % respectivamente. Estos valores son menores a los obtenidos por Ortega-Martínez (2010) que reportan 17.0 mm a los 75 ddt, y 21.0 mm de diámetro de tallo basal a los 125 ddt; Sánchez-Del Castillo, (2014) obtuvo en promedio 12.10 a 14.0 mm de diámetro de tallo medido en el sexto entrenudo a los 92 ddt mm sin provocar diferencias estadísticas al estudiar en tomate cinco sistemas hidropónicos.

Cuadro 22. Diámetro de tallo de planta de tomate por efecto de soluciones nutritivas aplicadas a sustratos FC:HL en sistema hidropónico, ciclo 2013-2014.

Concentración de SN (%)	27	34	41	48	55	62	70	76	83	92	112	135	142	149
	ddt													
0 testigo	5.23 b	4.71 b	4.48 c	4.34 c	3.91 b	3.74 b	3.41 b	3.20 c	2.99 c	2.83 c	2.83 c	2.83 c	2.83 c	2.83 c
25	10.43 a	11.34 a	11.44 b	11.2 b	11.51 a	11.48 a	10.56 a	9.82 b	9.41 b	9.09 b	8.72 b	8.12 b	7.59 b	7.16 b
50	10.24 a	11.45 a	12.97 a	13.77 a	13.19 a	12.95 a	12.06 a	12.00a	11.41 a	11.25 a	10.82 a	10.20 a	9.90 a	8.97 a
100	11.42 a	11.77 a	11.95 a	13.25 a	13.00 a	11.89 a	11.36 a	10.57 ab	10.06 ab	9.97 b	9.37 b	9.09 b	8.42 b	7.83 b
DMSH	1.88	2.10	1.49	1.80	2.07	1.92	1.94	1.74	1.48	0.99	0.91	1.12	1.15	0.94
Sustratos														
FC:HL % v/v														
25/75	10.06 a	10.47a	10.86a	11.49 a	11.27a	11.43a	9.82a	9.33a	8.71a	8.60 a	8.44 a	7.88 a	7.62 a	7.12 a
50/50	9.63 ab	10.06a	10.66a	10.72 ab	10.22a	9.91a	9.41a	8.96a	8.87a	8.87 a	8.22 a	8.02 a	7.63 a	6.91 ab
75/25	8.28 b	8.93a	9.99a	9.94 b	9.85a	9.82a	8.74a	8.58a	8.00a	7.57 b	7.32 b	6.94 b	6.51 b	6.21 b
DMSH	1.47	1.64	1.16	1.41	1.61	1.5	1.52	1.36	1.16	0.77	0.71	0.88	0.9	0.73

Para el factor B (mezclas de FC:HL) los resultados de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) de diámetro de tallo refleja que las mezclas 25:75, 50:50 y 75:25 fueron estadísticamente iguales, no obstante, el sustrato que tiene la mayor proporción de humus de lombriz 25:75 (v/v) provocó los más altos valores de diámetro de tallo a los 76 ddt (Cuadro 22). En cambio, a partir de la medición 10, los resultados de comparación de medias ($P \leq 0.05$) muestran que la mezcla 25:75 y 50:50 (FC:HL v/v) superan estadísticamente a la mezcla 75/25, por lo que las altas proporciones de humus de lombriz permite obtener mayores valores de diámetro de tallo. Estas mezclas (25:75 y 50:50) obtuvieron valores de diámetro

de tallo de 8.60 y 8.87 mm, superando a la mezcla 75:25 (FC:HL) con 13.60 y 17.17 % respectivamente. En las siguientes mediciones se observa el mismo comportamiento en el diámetro de tallo, donde la mezcla con la mayor proporción de FC provoca estadísticamente los más bajos valores de diámetro de tallo (Cuadro 22).

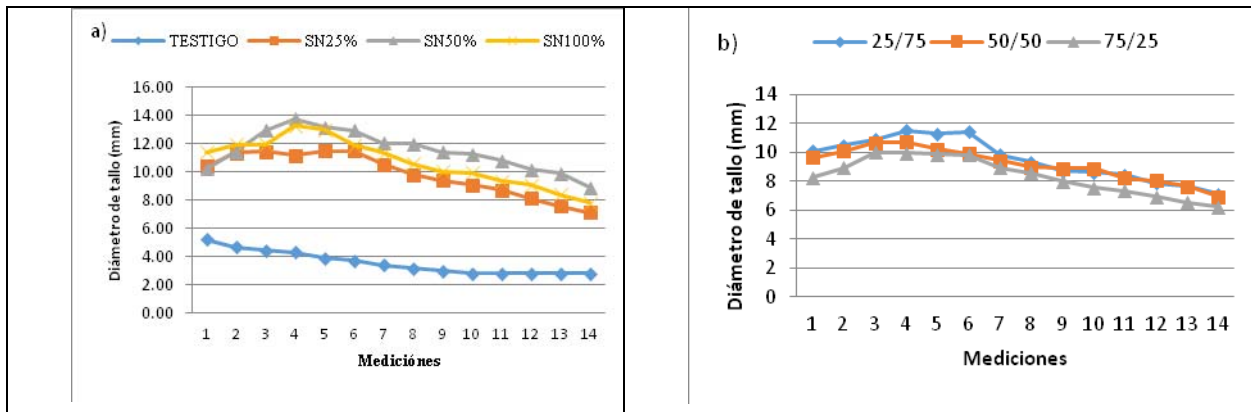


Figura 4. Diámetro de tallo de tomate por efecto de las soluciones nutritivas (a), y mezcla de humus de lombriz-fibra de coco (b) en sistema hidropónico, temporada agrícola 2013-2014.

En la Figura (4a) se observa que, las plantas disminuyeron el diámetro de tallo a partir del muestreo cuatro independientemente de la solución nutritiva que se haya aplicado. Sin embargo, la SN al 50% de su concentración mantuvo el mayor diámetro de tallo, debido a que la aplicación de la SN concentrada al 100% provocó incremento de la CE en el sustrato la cual impidió mayor incremento de diámetro de tallo, en cambio, la SN al 25% de su concentración no mejoró el diámetro de tallo. Las plantas del tratamiento testigo (regadas con agua solamente) sostuvo una disminución del diámetro de tallo desde la primera medición. En la Figura 4b, se observa que el sustrato formado por la mezcla 75:25 (FC:HL v/v) reporta menor diámetro de tallo en todas las mediciones, en comparación con las que contienen la mayor proporción de humus de lombriz (25:75 y 50:50 FC:HL), y que esta variable disminuye conforme avanza la madurez de la planta. Esta disminución del diámetro es ocasionado por la etapa de fructificación y gasto de energía para mantener el crecimiento de los frutos en

los racimos, además de los factores ambientales prevalecientes en el invernadero de temperaturas elevadas y baja humedad relativa (Folquer, 1976). En las tres soluciones nutritivas aplicadas en sustratos FC:HL alcanzan el mayor diámetro de tallo en la medición cuatro, disminuyendo significativamente, siendo la SN 50% de su concentración la que obtuvo los mayores valores de diámetro de tallo, seguido de la SN del 100 y 25%. Las plantas tratadas con solamente agua (testigo) no presentaron incrementos de diámetro de tallo, observándose que a partir de la primera medición disminuyó significativamente en relación al resto de los tratamientos estudiados. Además, Moorby, (1981) menciona que luminosidades bajas dar lugar a tallos delgados y débiles con mayor proporción de tejido parenquimatoso.

4.3.2.3. Peso fresco y seco de tallo, raíz y hojas

El análisis de varianza realizado para peso fresco y seco de tallo, raíz y hojas no se encontró efecto significativo de la interacción de SN*sustrato.

La prueba de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) para peso fresco y seco de tallo (PFT y PST), peso fresco y seco de raíz (PFR y PSR), así como peso fresco y seco de hojas (PFH y PSH) presentaron diferencia estadística altamente significativa para el factor SN (Cuadro 23).

La SN concentrada nutrimentalmente al 50% presentó el mayor PFT con 526.89 g planta⁻¹, superando estadísticamente a las plantas que se trataron con solamente agua (testigo), SN al 25 y 100 % con 87.51, 23.32 y 11.00 % respectivamente. Para peso seco de tallo (PST) la SN al 25% de su concentración fue mayor con 78.44 g planta⁻¹, superando estadísticamente a los tratamientos testigo con 86.12 %, y SN al 25 % con 21.25 %. Vargas y Nienhuis, (2012) reportan en tomates de crecimiento indeterminado valores superiores (136.1 a 256.6 g) a los obtenidos en el presente estudio. Hasheminmajd *et al.* (2004), señalan que la fertilización orgánica produce una reducción en la producción de biomasa motivada por una deficiencia nutrimental, particularmente de nitrógeno y a la presencia de una alta concentración de iones (Cl, Na y Ca).

Cuadro 23. Peso fresco y seco de tallo (PFT y PST), de raíz (PFR y PSR) y peso de hojas (PFH y PSH) de plantas de tomate tratadas con SN en FC:HL en sistema hidropónico, ciclo 2013-2014.

Concentración SN (%)	PFT	PST	PFR g planta ⁻¹	PSR	PFH	PSH
Testigo (0)	65.78 c	10.88 c	46.00 c	5.09 b	88.57 c	18.53 c
25	404.00 b	61.77 b	312.67 b	12.25 a	316.60 b	49.35 b
50	526.89 a	78.44 a	446.00 a	8.62 ab	393.82 b	56.02 b
100	468.89 ab	72.88 ab	303.11 b	12.46 a	553.69 a	89.44 a
DMS	93.14	12.78	107.57	7.16	132.09	17.81
Sustratos						
FC:HL % v:v						
25:75	391.17 a	61.50 a	290.00 a	10.53 a	411.17 a	65.23 a
50:50	363.33 a	54.83 a	274.00 a	8.77 a	263.17 b	44.98 b
75:25	344.67 a	51.66 a	266.83 a	9.51 a	346.18 ab	49.80 b
DMS	72.97	10.01	84.27	5.61	34.81	13.95

PFT= peso fresco de tallo; PST= peso seco de tallo; PFR= peso fresco de raíz; PSR= peso seco de raíz; PFH= peso fresco de hoja; PSH= peso seco de hoja. Medias con letra diferente en columna es estadísticamente diferente.

Para el peso fresco de raíz (PFR), el resultado de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) se observa que la aplicación de la SN concentrada al 50% provocó el mayor PFR con 446.00 g planta⁻¹, superando a los tratamientos testigo, SN al 25 % y SN al 100 % con 89.68, 29.90 y 32.03 % respectivamente (Cuadro 23). Las SN aplicadas al 25, 50 y 100 % no modificaron el PSR, pero estas superaron a las plantas tratadas con solamente agua (testigo). Respecto a la raíz, en Agerato, el tratamiento químico produjo raíces significativamente más largas que los demás tratamientos, a la vez se observó un posible efecto negativo de la VC ya que el crecimiento de la raíz tendió a disminuir y aumentar el volumen de raíz mientras mayor fue su concentración en el sustrato (Acosta-Duran *et al.*, 2014). En cambio, Villa-Briones, (2006) encontraron un aumento de volumen de raíz al incrementar la dosis de vermicomposta. Para la variable de PFH, los resultados reportan que, la SN aplicada al 100% de su concentración obtiene el mayor valor

con 553.69 g planta⁻¹, superando estadísticamente al tratamiento testigo que obtuvo 88.57 g planta⁻¹, y a las SN aplicadas al 25 y 50 % que obtuvieron 316.60 y 393.82 g planta⁻¹ respectivamente. Para el PSH se observa que influye de manera significativa la concentración de la SN, observándose que las plantas donde se aplicó solamente agua (testigo) presentaron el menor PSH con 18.53 g planta⁻¹. El PSH se incrementó conforme la concentración nutrimental en la SN fue mayor (Cuadro 23). Lazcano y Domínguez (2010) encontraron que la adición de 15 y 25% de los purines y vermicompost comercial produjo una reducción significativa en la biomasa aérea de plantas en comparación con el 0 y el 5% humus de lombriz. En cambio Atiyeh *et al.* (2002) observaron que sustituir el 20% de humus de lombriz fue suficiente para producir un aumento significativo en el crecimiento y el número de capullos de flores de plantas de caléndula en comparación con la aplicación de fertilización inorgánica sobre fibra de coco como sustrato. Resultados similares fueron observados por Arancon *et al.* (2008), encontraron un aumento significativo en la biomasa y la producción de flores de petunias con dosis vermicompost de 10% en las macetas.

4.3.3. Concentración nutrimental en hoja de tomate

Los análisis de varianza realizado para la concentración de nutrimentos en hoja de tomate muestran que no hubo diferencias estadísticas significativas debido a la interacción de SN*sustratos.

La concentración promedio de nutrimentos de N, P, K, Ca y Mg en hoja de tomate (93 ddt) fueron modificados estadísticamente al aplicar las SN (factor A). Para el factor B (sustratos) solamente la concentración de N presentó diferencia estadística significativa en la mezcla de sustratos (Cuadro 24).

En el Cuadro 24, se muestra la prueba de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) reportan que la mayor concentración de N, P y K en hojas de tomate, se obtuvo con la aplicación de las SN concentradas al 25 y 50%. Observándose que la SN 100% representa la menor concentración, debido al incremento de la CE en el sustrato, lo cual limitó la absorción de los nutrimentos. Para N la SN aplicada al 25% supera con 7.86, 20.74, y 78.60 % a las SN aplicadas al 50%, 100% y testigo (regadas con agua). Las plantas que únicamente se regaron con agua

(testigo) obtuvieron mayor concentración de Ca y Mg en hoja con 4.11 y 0.62 % respectivamente, disminuyendo al incrementar la concentración de la SN, debido al estrés de la falta de nutrientes, lo cual provocó que el tejido acumulara el calcio en la hoja. Los materiales de lombricomposta usualmente contienen elementos minerales que son más fácilmente disponibles para las plantas (Hernández-Fuentes *et al.*, 2010), lo que explica el incremento de los contenidos foliares de P, Ca y Mg. Cruz-Crespo, *et al.* (2014) encontraron efecto del sustrato tezontle-lombricomposta (4:1 v/v) en la concentración foliar de P, Ca y Mg. A los 40 ddt el sustrato tezontle-lombricomposta obtuvo un incremento de 9 y 10 % para P y Ca, respectivamente, en comparación con el sustrato tezontle. La mezcla de sustrato 25:75 y 50:50 (FC:HL v/v) obtuvieron la mayor concentración de N con 3.41% y 3.43% respectivamente, superando al tratamiento testigo (0%) que reportó 3.11% de N. En cambio, a los 80 ddt el sustrato tezontle-lombricomposta superó al tezontle en 13 % para P y en 14 % para Mg. Arancon *et al.* (2005) reportaron que la concentración de P fue mayor en el tejido foliar de chile pimiento cultivado con diferentes lombricompostas y fertilización química complementaria, que cuando fue crecido sólo con fertilizantes inorgánicos. Jouquet *et al.* (2011) reportaron que el N, P y K provenientes de la fertilización química, se lixiviaron en menor cantidad en el suelo cuando se incorporó lombricomposta, lo que se debió en parte a la lenta tasa de mineralización y a la más alta capacidad de intercambio catiónico. Cruz-Crespo *et al.*, (2012) citan que la concentración nutrimental en el tejido se incrementó al utilizar solución de Steiner al 50%, respecto de emplear solo agua, esto para todos los nutrientes.

Cuadro 24. Efecto de la SN aplicada en mezclas de sustratos (FC:HL) sobre la concentración de nutrimentos en hoja de tomate variedad Gironda en sistema hidropónico a los 93 ddt. Ciclo 2013-2014.

Concentración SN (%)	N	P	K	Ca	Mg
	%				
Testigo (0)	0.98 d	0.23 c	3.58 c	4.11 a	0.62 a
25	4.58 a	0.28 a	4.97 ab	1.42 c	0.31 b
50	4.22 b	0.27 ab	5.38 a	2.07 b	0.34 b
100	3.63 c	0.25 bc	4.39 b	1.76 bc	0.32 b
DMS	0.33	0.02	0.80	0.54	0.06
Sustratos FC:HL (v:v)					
25:75	3.41 a	0.25 a	4.79 a	2.37 a	0.38 a
50:50	3.53 a	0.27 a	4.31 a	2.34 a	0.39 a
75:25	3.11 b	0.26 a	4.64 a	2.30 a	0.42 a
DMS	0.26	0.02	0.62	0.42	0.05

FC=fibra de coco, HL= Humus de lombriz. Letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey \leq .05).

Galindo-Pardo *et al.*, (2014) y Preciado-Rangel *et al.*, (2011) encontraron en cultivo de pepino en sistema protegido al caracterizar sustratos orgánicos, que la SN Steiner promovió el mejor contenido nutrimental en tejido vegetal respecto a los demás sustratos. Lo anterior puede atribuirse a que la solución Steiner contiene los nutrimentos en forma iónica y en proporciones adecuadas. Theunissen *et al.*, (2010) sostienen que la producción orgánica de plantas, es controlada por los macro y los micronutrimentos y por otras sustancias promotoras del crecimiento presentes en el medio de cultivo. En cambio, Pastor, (2000); Urrestarazu, (2004); mencionan que el sustrato, por sí solo, puede intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta, por lo que se pueden clasificar como químicamente activos (turba, corteza de pino, fibra o polvo de coco, etc.) o químicamente inertes (perlita, lana de roca, roca volcánica, entre otros). Asghari (2014) menciona que la adición de fertilizantes a los diferentes medios de crecimiento estudiados en variadas proporciones (perlita,

fibra de coco y vermicompost) al cultivar fresa mostraron resultados negativos en vitamina C y Anthocyanin. Además cita que, usar el 30% de vermicompost en el sustrato más fertilizante químico, los caracteres de la fruta fueron influenciados negativamente, en relación con 10 a 15% de vermicompost en el sustrato. La composta y vermicomposta pueden satisfacer los requerimientos nutrimentales de cultivos hortícolas en invernadero durante los primeros dos meses posteriores al trasplante (Márquez-Hernández *et al.*, 2006). No obstante, después de este tiempo los cultivos han manifestado deficiencias nutrimentales, principalmente de N (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2007), debido posiblemente a la baja tasa de mineralización del N tanto en el composta, como en el vermicomposta.

4.3.4. Conductividad eléctrica (CE) y concentración de iones en solución de drenaje

Los resultados de análisis de varianza para CE y concentración de iones en solución e drenaje muestran que no hubo diferencia estadística significativa para el factor sustratos, ni para la interacción de SN*sustratos.

En el cuadro 25, se reportan los resultados de comparación de medias (Tukey ≤ 0.05), observándose que las SN influyeron estadísticamente en las mediciones de CE, y concentración de NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en la solución de drenaje a los 120 ddt; En el mismo cuadro, se indica que la CE en la solución del drenaje está relacionada con la concentración nutrimental de las SN aplicadas, ya que, la SN al 100% de su concentración presentó CE de 11.29 dS m^{-1} , siendo mayor con 63.15%, 86.35% y 96.01% a las SN aplicadas al 50, 25 y 0 (testigo, solo regadas con agua) respectivamente; lográndose a la vez incrementos de CE en el sustrato conforme la aplicación de la SN fue más concentrada. San Martín-Hernández, *et al.* (2012) encontraron valores más bajos a los obtenidos en el presente estudio con CE de 1.30 dS m^{-1} en el primer mes del cultivo de tomate, y 4.30 dS m^{-1} al final del experimento. La concentración de los iones nutritivos NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} estuvo relacionada con concentración nutrimental de las soluciones nutritivas aplicadas en sistema hidropónico. Las plantas que se regaron con solamente agua tuvieron la menor concentración de las sales nutritivas en la

solución de drenaje, observándose que en esta fecha de muestreo (120 ddt) se presentó un agotamiento de los nutrimentos que pudieron tener la mezcla de los sustratos fibra de coco:humus de lombriz.

Fortis-Hernández *et al.*, (2013) encontraron a los 10 días después de la siembra de pepino el mayor valor de CE en sustrato estiércol bovino solarizado de 16.55 dS m⁻¹, y la solución Steiner (testigo) la menor con 2.90 dS m⁻¹. No obstante, la CE a los 40 dds disminuyó significativamente. De esta manera, encontraron valores de CE de 8.04 dS m⁻¹ para la tripe mezcla de abonos orgánicos y 5.50 dS m⁻¹ en el estiércol solarizado. Esto significa que el contenido de sales se incrementa a medida que avanza la descomposición de los materiales. San Martín-Hernández *et al.* (2012) señalan que la acumulación de los fertilizantes en el sustrato incrementó la CE en el mismo.

Cuadro 25. CE y cuantificación de iones nutritivos en solución de drenaje por efecto de SN aplicadas en sustrato FC:HL en sistema hidropónico a los 120 ddt, ciclo 2013-2014.

Concentración SN (%)	CE (dS m ⁻¹)	NO ₃	K ⁺	Ca ²⁺		Mg ²⁺
				meq L ⁻¹		
0 (testigo)	0.45 c	0.45 c	1.15 b	1.98 c		1.23 c
25	1.54 c	3.67 c	0.99 b	7.44 c		3.90 c
50	4.16 b	19.86 b	3.34 b	23.33 b		12.43 b
100	11.29 a	30.17 a	20.77 a	60.06 a		27.86 a
DMS	1.63	4.08	3.43	9.74		5.08
Sustrato FC:HL % (v/v)						
25:75	4.58 a	13.84 a	6.33 a	26.20 a		11.55 a
50:50	4.30 a	13.23 a	6.01 a	22.74 a		11.14 a
75:25	4.19 a	13.54 a	7.35 a	20.67 a		11.38 a
DMS	1.28	3.20	2.68	7.63		3.98

FC=fibra de coco, HL= Humus de lombriz. Letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey ≤ .05).

Cuadrado-García *et al.*, (2014) mencionan que los contenidos de N aplicados a la planta, expresados en relación con la acumulación total, fueron de 37,93 g, que

equivalen al 100% del N aplicado. Del N total aplicado, el 0,6% (0,22051 g) es drenado, el 36% (13,665 g) es absorbido por la planta y el restante 63,4% (24,049 g) se acumula en el sustrato. Que solo el 36% del N aplicado sea asimilado por la planta, según la investigación, indica que se debe reducir la aplicación de fertilizantes nitrogenados y hacer uso racional del suministro de nutrientes que el cultivo de tomate necesita, con el propósito de reducir el impacto ambiental y optimizar el aprovechamiento de los recursos.

4.3.5. Rendimiento de fruto

En el cuadro 26, se muestran los resultados de análisis de varianza para rendimiento en diferentes tamaños y rendimiento total, los cuales reportan diferencia estadística significativa para el factor SN (Tukey ≤ 0.05). No hubo respuesta significativa para el factor sustratos (mezcla FC:HL v/v), ni para la interacción de los dos factores (SN*sustratos). El rendimiento de fruto de tamaños grandes (4x4 y 4x5) provocó los más bajos rendimientos, observándose que la SN al 25% obtuvo 0.933 kg m⁻², superando estadísticamente a las SN 50 %, 100% y testigo (tratado con solamente agua) con 43.0, 71.8 y 98.4 % respectivamente. Es importante señalar, que esta variedad Girona genéticamente no genera rendimientos de esta tamaño de fruto. Valenzuela-López *et al.*, (2014) señalan que las SN aplicadas no influyeron en el rendimiento de fruto de tomate tamaño grande con el híbrido Imperial al obtener 5.27 a 6.30 kg m⁻², y el tratamiento testigo (regado con agua) obtuvo 0.97 kg m⁻². Grijalva-Contreras *et al.*, (2011) obtuvieron rendimientos de 24.1 a 27.9 kg m⁻² al evaluar en condiciones de invernadero diferentes híbridos de tomate bola, y los menores rendimientos se obtuvieron 17.8, 22.4 y 22.5 kg m⁻² para híbridos Thomas, Rapsodie y Sedona respectivamente, siendo estos superiores a los obtenidos en el presente estudio. El mayor rendimiento de fruto de tamaño mediano (5x5, 5x6 y 6x6) se expresó al aplicar la SN concentrada al 25 % y 50% con 10.144 y 9.152 kg m⁻² respectivamente; y que a aumentar la concentración de la SN al 100% disminuyó a 6.912 kg m⁻²; el más bajo el rendimiento se obtuvo en las plantas que se irrigaron con solamente agua (testigo) con 0.141 kg m⁻². Valenzuela-López *et*

al., (2014) encontraron rendimientos inferiores a los obtenidos en el presente estudio. Ellos mencionan que las SN concentradas al 50 y 100% obtuvieron el mismo rendimiento de 6.01 y 6.55 kg m⁻², seguido de 5.05 y 1.34 kg m⁻² para la SN del 25% y testigo respectivamente. En cambio, para el rendimiento de fruto de tamaño chico las SN no provocaron respuesta significativa al obtener 4.41, 4.914 y 5.132 kg m⁻² con sus respectivas SN de 25, 50 y 100 %. Las plantas que se regaron con agua presentan el más bajo rendimiento con 0.477 kg m⁻². Valenzuela-López *et al.* (2014) mencionan que los rendimientos de híbrido Imperial de fruto de tamaño chico con 1.64, 2.13 y 2.32 kg m⁻² en plantas tratadas con las SN de 25, 50 y 100% respectivamente. Estos rendimientos son menores a los obtenidos en el presente estudio. Ojodeagua-Arredondo *et al.* (2008) no encontraron diferencias estadísticas al cultivar tomate variedad Gironda en suelo y sustrato (tezontle) al obtener rendimientos total de 34.1 y 30.4 kg m⁻²; pero obtuvieron diferencias significativas en frutos de tamaños mediano en tezontle negro y frutos chicos en suelo con 7.75 kg m⁻² y 0.51 kg m⁻² respectivamente, pero para tamaño grande y extra grande el uso de suelo y tezontle como medio de crecimiento no influyeron significativamente durante 187 días de cosecha. En el rendimiento de fruto total, la SN aplicada al 25% y 50% de su concentración promovieron estadísticamente el mayor rendimiento con 14.475 y 14.599 kg m⁻² respectivamente; en cambio, la SN con mayor concentración nutricional (100%) provocó una disminución del rendimiento total con 12.303 kg m⁻², pero el tratamiento testigo fue el más bajo con 0.633 kg m⁻². Valenzuela-López *et al.*, (2014) al estudiar las mismas soluciones aplicadas en mezcla de sustratos humus de lombriz-fibra de coco obtuvo el mayor rendimiento de fruto total al aplicar las SN 50 y 100%, superando a las SN 25 % y testigo (irrigado con agua); estos rendimientos no coinciden con los obtenidos en el presente estudio, ya que, el mayor rendimiento se presentó en las SN 25 y 50% en variedad Gironda. Thuy-Thu *et al.*, (2013) encontraron que el mayor rendimiento de tomate lo obtuvieron al aplicar la solución de fertilizantes inorgánicos (2,400 g planta⁻¹), logrando superar estadísticamente a los tratamientos que se aplicó vermicomposta y composta que obtuvieron rendimiento promedio de 1,350 y 950 g planta⁻¹

respectivamente. Estos rendimientos son menores a los obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, la vermicomposta por si solo es difícil que cumpla con las condiciones adecuadas para el buen desarrollo de las plantas, motivo por el cual es necesario hacer mezclas con otros materiales (Cruz-Crespo *et al.*, 2012).

Cuadro 26. Rendimiento de tomate variedad Girona producido con la aplicación de soluciones nutritivas en mezclas de sustratos FC:HL en sistema hidropónico.

Concentración SN (%)	Grandes	Medianos	Chicos	Rendimiento total
	Kg m ⁻²			
0 (Testigo)	0.015 c	0.141 c	0.477 b	0.633 c
25	0.933 a	10.144 a	4.400 a	15.475 a
50	0.531 b	9.152 a	4.914 a	14.599 a
100	0.263 bc	6.912 b	5.132 a	12.303 b
DMSH	0.384	1.918	0.935	2.210
<hr/>				
Sustratos FC:HL (v:v)				
25:75	0.449 a	7.297 a	4.015 a	11.760 a
50:50	0.368 a	6.825 a	3.886 a	10.780 a
75:25	0.532 a	6.139 a	3.870 a	10.544 a
DMSH	0.300	1.501	0.732	1.732

FC=fibra de coco, HL= Humus de lombriz. Letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey \leq .05).

Atiyeh *et al.*, (2001) mencionan que al usar más de 20% de compost en el sustrato, existe una disminución de rendimiento del cultivo de tomate. Márquez-Hernández *et al.*, (2008) encontraron en sustratos orgánicos de origen bovino con mezclas de vermicompost al 50% + arena, vermicompost + perlita al 37.5 y 50%, rendimientos nueve veces mayores a los obtenidos en campo. También, señalan que probablemente factores como lixiviación, menor tasa de mineralización, volatilización y adsorción de nutrientes, entre otros procesos, pueden influir para no obtener el rendimiento potencial de un cultivo. Hashemimajd *et al.* (2004) y Azarmi *et al.*, (2008), señalan que es necesario suplementar con fertilización foliar

orgánica los requerimientos de los nutrientes, para inducir mayor producción en cultivos bajo agricultura protegida, cuando se producen con el uso de sustratos orgánicos. Moreno-Reséndez *et al.* (2014) citan que al no utilizar fertilizantes sintéticos durante el ciclo vegetativo del cultivo de melón, permite suponer que los diferentes tipos de vermicomposta por sus características físicas, químicas y biológicas, lograron satisfacer la demanda nutricional. Fortis-Hernández *et al.* (2013) mencionan que el mayor rendimiento alcanzado en pepino fue con fertilización inorgánica (solución nutritiva Steiner) con 9.170 kg m⁻² respecto al obtenido por la vermicomposta de 6.20 kg m⁻². Además, señalan que el contenido de elementos nutritivos de la vermicomposta utilizada, puede suponer que las necesidades nutritivas del pepino fueron satisfechas con los diferentes porcentajes de vermicomposta empleados en el estudio.

4.4. CONCLUSIONES

Con la solución Steiner modificada al 25% de concentración nutrimental, se lograron resultados similares a los obtenidos con la solución Steiner al 50%, por lo que no se recomienda usar la SN a 100 %, en lo que concierne al verdor, concentración de N, P, y K en hojas, longitud de tallo y rendimiento de fruto; pero diámetro del tallo, peso fresco y seco de tallos y raíces, se incrementaron con la solución Steiner modificada al 50%; en cambio la solución al 100% aumentó el peso fresco y seco de hojas. En tanto que al usar soluciones al 25 y 50%, disminuyeron la CE y los iones NO₃⁻, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en la solución de drenaje, lo que también indica que la solución Steiner modificada al 50% es una tecnología adecuada para manejar de manera sustentable los sistemas de producción de tomate hidropónico en invernadero.

La mezcla conformada con la mayor proporción de humus de lombriz en el sustrato aumentó el verdor de las plantas de tomate (hasta 51 ddt), así como también la longitud y diámetro de tallo, concentración de N en hoja y peso fresco y seco de hojas.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES FNALES

5.1. Ciclo agrícola 2011-2012. Cultivar 'Imperial'

En un primer experimento, la solución nutritiva Steiner modificada al 50% de concentración nutrimental ocasionó efectos similares en intensidad del verdor, diámetro ecuatorial y polar de los frutos y en rendimiento total de frutos m^{-2} , con respecto a las respuestas inducidas por la solución nutritiva recomendada por Steiner, mientras que en un segundo experimento durante el mismo ciclo agrícola, el rendimiento de frutos también fue similar con las soluciones al 50 y 100% de concentración nutrimental, por lo que la solución nutritiva Steiner modificada al 50% es una tecnología que puede ser recomendada para lograr producciones y productividades similares a las que se obtienen con la solución Steiner al 100% de concentración de nutrientes, asimismo, para manejar de manera más sustentable los sistemas de producción de tomate en condiciones de invernadero.

Las variables de longitud y diámetro de tallo, firmeza y °Brix de los frutos, concentración de N, P, y K en tejido foliar, rendimiento por calibre y total la solución nutritiva Steiner modificada al 50% de concentración nutrimental ocasionó respuestas similares a las inducidas por la solución Steiner al 100% de concentración de nutrimentos, pero en cambio disminuyó la CE y la concentración de los iones NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en la solución de drenaje, lo que confirma que con la solución nutritiva Steiner modificada al 50% se puede tener similar crecimiento, producción y productividad, comparado con lo que se obtiene con la solución Steiner al 100%, teniendo así un manejo más sustentable de los sistemas de producción de tomate en condiciones de invernadero.

El sustrato conformado con la mayor proporción de humus de lombriz provoca mayor concentración de N en hoja, y a la vez mayor longitud de tallo en planta de tomate, y al incrementar la concentración nutrimental en la solución nutritiva aumenta la CE, la concentración de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} sin afectar el rendimiento de fruto.

5.2. Ciclo agrícola 2013-2014. Cultivar 'Gironda'

La solución nutritiva al 100% de concentración de nutrimentos en combinación con el sustrato conformado con la mayor proporción de humus de lombriz, lograron mayor índice de verdor, peso fresco y seco de hojas de la planta de tomate, en relación a la solución nutritiva del 50 y 25%; en cambio la solución nutritiva concentrada al 50% incrementaron el diámetro de tallo, PFT, PST, PFR y PSR, concentración de N, P y K en foliar y estas mismas soluciones fueron superiores a las plantas tratadas con agua (testigo); mientras que la longitud de tallo, concentración de N, P y K en tejido foliar, y rendimiento en m^{-2} fue mayor al usar la solución Steiner modificada al 25% y 50%; en tanto que estas soluciones nutritivas (25 y 50%) disminuyeron la CE y concentración de los iones de NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en la solución de drenaje, lo que indica que la solución Steiner al 25% es una tecnología adecuada para incrementar producción y productividad, y manejar de manera sustentable los sistemas de producción de tomate hidropónica en invernadero.

La disminución de CE y de los iones NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en la solución de drenaje en dos experimentos con diferentes cultivares en diferentes ciclos agrícolas al usar las soluciones al 25 y 50% respecto con lo que resulta con la solución Steiner al 100% de su concentración nutrimental, indica que estas disminuciones son las causas por las que se contamina menos a los sistemas de producción de tomate cultivado en condiciones de invernadero; mientras que los incrementos de N, P, y K, en el tejido foliar explica, en parte, porqué las plantas cultivadas con solución Steiner al 25% y/o 50% en invernadero son más eficaces en la producción de alimentos.

La mezcla conformada con la mayor proporción de humus de lombriz en el sustrato aumentó el verdor de las plantas de tomate (hasta 51 ddt), así como también la longitud y diámetro de tallo, concentración de N en hoja y peso fresco y seco de hojas.

CAPITULO 6. LITERATURA CITADA

- Abad, M., Noguera, P. and Burés, S. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: Case study in Spain. *Bioresource Technology*. 77:197-200
- Abad-Berjon, M, Noguera-Murray, P., Carrión-Benedito, C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu-Gavilán. *Cultivo sin suelo*. Madrid: Mundi Prensa. Pp. 113-158.
- Acosta-Duran, C. Vázquez-Benítez, N., Villegas-Torres, O., Beatriz-Vence, L., y Acosta-Oreñaloza, D. 2014. Vermicomposta como componente de sustrato en el cultivo de *Ageratum houstonianum* Mill. y *Petunia hybrida* E. Vilm en contenedor. *Bioagro*. 26 (1): 107-114.
- Acosta-Durán, C.M. 2012. Selección de sustratos para horticultura. *Redes Edit*. México, DF. 108 p.
- Alcántar-González, G., y Sandoval-Villa, M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. *Publicación Especial 10*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Alidadi, H., Saffari, A. R., Ketabi, D., Peiravi, R., & Hosseinzadeh, A. 2014. Comparison of Vermicompost and Cow Manure Efficiency on the Growth and Yield of Tomato Plant. *Health Scope*. 15(21): 81-89.
- Alpi, A. y Tognoni, F. 1999. *Cultivo en invernadero*. 3a Edición. Mundi-prensa Madrid, España. 347 pp.
- Ameri A., Tehranifar, A., Shoor, M., and Davarynejad, G. H. 2012. Effect of substrate and cultivar on growth characteristic of strawberry in soilless culture system. *African Journal of Biotechnology* 11:11960-11966.
- AMHPAC, Asociación Mexicana de Horticultura Protegida A. C. 2013. Mexico boasts nearly 21 thousand hectares under protected agriculture. <http://www.houseofproduce.com/news/production/?storyid=141> (Octubre 2013).

- Álvarez-Rivero, J. C., Díaz-González, J.A. y López-Naranjo, J. I. 2005. Agricultura orgánica vs agricultura moderna como factores en la salud pública. ¿Sustentabilidad? Horizonte Sanitario. 5:28-40.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Babenko, A., Cannon, J., Galvis, P., and Metzger, J. D. 2008. Influences of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. *Applied Soil Ecology*. 39: 91–99.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Biermanb, P., Metzger, J. D., Luchtd, C. 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*. 49:297-306.
- Arancon, N. Q., Clive, A. E., Atiyeh, R., and Metzger, J. D. 2004. Effects of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource Technology* 93:139- 144.
- Arancon, N.Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Metzger, J. D., Lee, S., y Welch, C. 2002. Effects of vermicompost, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food wastes, on the germination, growth and flowering of petunias in greenhouse. *Applied Soil Ecology* 39:91-99.
- Armenta-Bojórquez, A., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J., Apodaca-Sánchez, M., Gerardo-Montoya, L. y Nava-Pérez, E. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*. 6 (1): 51-56.
- Asghari, R. 2014. Effect on Growth médium and Nutrient Solution on Phytochemical and Nutritional Characteristics of Strawberry (*Fragaria x annassa* Duch). *Journal of Agricultural Science*. 6 (8): www.ccsenet.org/jas.

- Atiyeh, R, Lee, S., Edwards, C., Arancon, Q., Metzger, J. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm processed organic wastes on plant growth. *Bioresour. Technol.* 84(1): 7-14.
- Atiyeh, R.M., Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Metzger, J.D. 2000. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresour. Technol.*, 75: 175-180.
- Atiyeh, R.M., Edwards, C.A., Subler, S., and Metzger, J.D. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: Effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresour. Technol.*, 78(1): 11-20.
- Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., and Metzger, J. D. 2000b. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiología.* 44: 579-590.
- Ávila-Juárez, L., Rodríguez-González, A., Rodríguez-Piña, N., Guevara-González, R. G., Torres-Pacheco, I., Ocampo-Velázquez, R. V., Bah, Moustapha. 2015. Vermicompost leachate as a supplement to increase tomato fruit quality. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 15 (1): 46-59.
- Azarmi, R, Ziveh, P.S., Satari, M.R. 2008. Effect of vermicompost on Growth and nutrient status of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Pakistan J BiolSci*
- Bastida, A. 2008. *Los Invernaderos en México.* Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo. 123 pp.
- Bennett, A.J., Bending, G.D., Chandler, D., Hilton, S., Mills, P. 2012. Meeting the demand for crop production: the challenge of yield decline in crops grown in short rotation. *Biol. Rev.* 87, 52-71.
- Bunt, A. C. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. pp. 301-354. In: C. Cadahía L. (ed) *Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales.* Mundi-Prensa, Madrid España.

- Burés S. 1997. Sustratos. Madrid: Ediciones Agrotécnicas. Pp. 342.
- Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Rev. Chapingo S. Hortic.* 5(1):5–11.
- Castañeda, M., Rodrigo, V., Ramos, E., Peniche, V. y Rebeca del R. 2007. Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región central de México. *Agrociencia.* 3: 317-335.
- Castellanos, J. Z., y Vargas-Tapia, P. 2009. Los Sustratos en la Horticultura Protegida. In: *Manual de Producción de Tomate en Invernadero.* J. Z. Castellanos. INTAGRI México. pp. 105-130.
- Castro-Brindis, R., Galvis, S. A., Sánchez-García, P., Peña-Lomelí. A., Sandoval-Villa, M. y Alcántar-Gonzalez, G. 2004. Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 10: 147-152.
- Chaoui, H. I., L. M Zibilske & T. Ohno. 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry.* 35: 295–302.
- Chowdhury, R. 2004. Effects of chemical fertilizers on the surrounding environment and the alternative to the chemical fertilizers IES-ENVIS NEWSLETTER. Vol. 7 (3): 4-5.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim A., Sandoval-Villa, M., Bugarín-Montoya, R., Robles-Bermúdez, A., Juárez-López, P. 2013. Sustratos en la horticultura. *Bio-ciencias* 2 (2): 17-26.
- Cruz-Crespo, E., Sandoval-Villa, M., Volke-Haller, V. H., Ordaz-Chaparro, V., Tirado-Torres, J. L., y Sánchez-Escudero, J. 2010. Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana.* 28: 219-229.

- Cruz-Crespo, E., Sandoval-Villa, M., Volke-Haller, V., Can-Chulim, A., y Sánchez-Escudero, J. 2012. Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (7): 1361-1373.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Bugarin-Montoya, R., Pineda-Pineda, J., Flores-Canales, R., Juárez-López, P., y Alejo-Santiago, G. 2014. Concentración foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.* 37 (3): 289-295.
- Cuadrado-García, L. N., López-Roa, E. N., Bojacá-Aldana, C.R., y Almanza-Merchan, P.J. 2014. Influencia del nitrógeno en la producción del tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) sembrado en sustrato en Sutamarchán (Boyacá). *Ciencia y Agricultura*. 11(1):85-90.
- De Grazia, J., Tiftonell, P. A., y Chiesa, A. 2007. Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). *Cien. Inv. Agr.* 34 (3): 195-204.
- Delgado, M. 1985. Primera jornada nacional de lombricultura. Sociedad Nacional de Agricultura. Centro de Investigación y Desarrollo de Lombricultura. Universidad Santiago de Chile. 51 p.
- De la Cruz-Lázaro, E., Osorio-Osorio, R., Martínez-Moreno, E., Lozano- Del Río, A.J., Gómez-Vázquez, A., y Sánchez-Hernández, R. 2010. Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*. 35 (5): 363-368.
- De La Cruz-Lázaro, E., Estrada-Botello, M. A., Robledo-Torres, V., Osorio-Osorio, R., Márquez-Hernández, C., y Sánchez-Hernández, R. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia*. 25: 59-67.
- De Ponti, T., Bert, R., Martin, K. Van Ittersum. 2012. The crop yield gap between organic and conventional agricultura. *Agricultural Systems*. 108:1-9.

- Dogliotti, S. 2012. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). http://www.fagro.edu.uy/~fisveg/docencia/cursosfisiologi/cultivos/materiales teoricos//Repartido_Fisiologia_Tomate.pdf. (Consulta: agosto 18, 2013).
- Dorais, M., A. P. Papadopoulos, and A. Gosselin. 2001. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie*. 21: 367-383. Review article.
- Domínguez, J., Lazcano, C. and Gómez, M. 2010. Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana*. 2:359-371.
- Doyle, O. P. E., King, C., O'Haire, R., Moore, T., NiChualain, D., and Carlile, W. 2011. The effect of a peat based growing medium, with varying fertilizer levels and amended with composted green waste (CGW), on the growth and development of tomato (*Lycopersicon lycopersicum* (L.)). *Acta Horticulturae*. 891:93:102
- Durdane, Y., Naif G., Yusuf, Y., Mine, A., and Perihan, C. 2011. Effect of different organic fertilizers on yield and fruit quality of indeterminate tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Scientific Research and Essays* 6 (17): 3623-3628. Available online at <http://www.academicjournals.org/SRE>. Consulta 8 de mayo de 2013.
- Edwards, C.A, Arancon, N.Q., Vasko-Bennett, M., Askar, A., Keeney, G. 2010. Effect of aqueous extracts from vermicomposts on attacks by cucumber beetles (*Acalymnavittatum*) (Fabr.) on cucumber and tobacco hornworm (*Manducasexta*) (L.) on tomatoes. *Pedobiologia*. 53:141–148.
- Edwards, C.A., Burrows, I. 1988. The potential of earthworm composts as plant growth media. In: Edwards CA, Neuhauser (eds) *Earthworms in environmental and waste management*. SPB Academic Publishers, The Netherlands, pp 211–220.

- Eghball, B., Ginting, D., and Gilley, J. E. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agronomy Journal*. 96: 442-447.
- Ehret, D. L. and Ho, L. C. 1986. Effects of osmotic Potential in Nutrient Slution on Diurnal Growth of tomato fruit. *J. Exp. Bot.* 37 (9): 1294-1302.
- FAO, 2010. Faostat. Área cosechada, producción y rendimiento de tomate. En: <http://faostat.Fao.org/sites/567/desktopDefault.aspx?pageID#ANCOR>. Consultado en Enero de 2010.
- Fawzy, Z. F., El-Bassiony, A. M., Li, Y., Ouyang, Z. and Ghoname, A. A. 2012. Effect of mineral, organic and Bio-N fertilizers on growth, yield and fruit quality of sweet pepper. *J. App. Sci. Res.* 8:3921-3933.
- Fernández, S.C. 2012. Análisis y Evaluación de riesgos de incidencias naturales en el sistema productivo agrario intensivo de Almería. (Tesis de doctorado) Universidad de Almería. España.
- Figueroa-Viramontes, U., Faz, C.R., Quiroga, G.H.M., Cueto, W.J.A. 2001. Optimización del uso de estiércol bovino en cultivos forrajeros y riesgos de contaminación por nitratos. Informe de investigación. Campo Experimental La Laguna. CIRNOC-INIFAP. pp. 40. Matamoros, Coahuila.
- Folquer, F. 1976. El tomate: estudio de la planta y su producción. 2a ed. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 104 p.
- Fortis-Hernández, M., Sánchez-Tapia, C., Preciado-Rangel, P., Salazar-Sosa, E., Segura-Castruita, M.A., Orozco-Vidal, J.A., Chavarría-Galicia, J.A., Trejo-Valencia, R. 2013. Sustratos orgánicos tratados para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*. 1 (2): 1-7 *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*. Vol.1, Núm. 2: 1-7.

- Galindo-Pardo, F. V., Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., Trejo-Valencia, R., Segura-Castruita, M. A., y Orozco-Vidal, J. A. 2014. Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para la producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5 (7): 1219-1232.
- Gallardo, A., Delgado, M., Morillas, L. y Covelo, F. 2009. Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres; especificaciones del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Ecosistemas*. 18 (2):4-19.
- García, M. y Jaurigui, D. 2008. Efecto de la salinización con NaCl o Na₂SO₄ sobre la anatomía foliar en dos genotipos de caña de azúcar (*Saccharum* spp) con tolerancia salina diferencial. *ERNSTIA*. 18(1): 89-105.
- Godoy-Hernández, E., Castellanos, R. J. Z., Alcántar-González, G., Sandoval-Villa, M. y Muñoz, R. J. J. 2009. Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. *Terra Latinoamericana*. 27 (1): 1-9.
- Gómez-Hernández, T. y F. Sánchez-del Castillo, F. 2003. Soluciones nutritivas diluidas para la producción de jitomate a un racimo. *Terra Latinoamericana* 21:57-63.
- Gómez-Tovar, L. y Gómez-Cruz, M.A. 2004. La agricultura orgánica en México y el mundo. *Biodiversitas*. 55:13-15.
- Gorber, E., and Calatayud, A. 2010. Optimization of nutrition in soilless systems: a review. *Advances in Botanical Research*. 53:193-245.
- Gutiérrez-Miceli, F. A., Santiago-Borraz, J. A., Montes-Molina, C., C. Nafate, M. Abdud-Archila, M. A., Oliva Llaven, Rincón-Rosales, R. and L. Deendoven. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Bioresource Technology*. 98: 2781-2786.

- Hashemimajd, K., Kalbasi, M., Goichin, A., Shariatmadari, H. 2004. Comparison of vermicompost and compost as potting media for growth of tomatoes J. Plant Nutr. 27: 1107-1123.
- Heeb, A., Lundegårdh, B., Ericsson, T., y Savage, G. P. 2005. Nitrogen form affects yield and taste of tomatoes. Journal of the Science of Food and Agriculture 85: 1405-1414.
- Hernández-Fuentes, A. D., Campos-Montiel, R., y Pinedo-Espinoza, J. M. 2010. Comportamiento poscosecha de pimiento Morrón (*Capsicum annum* L.) var. California por efecto de la fertilización química y aplicación de Lombrhumus. Revista Iberoamericana de tecnología Poscosecha. 11 (1): 82-91.
- Howard, M. 1998. Hydroponic Food Production. A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower. Woodbridge. Santa Barbara, California. 520
- INEGI. 2007. Instituto nacional de geografía e informática Censo Agropecuario. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal.
- Ismail, S.M., Ozawa, K., and Khondaker, N.A. 2008. Influence of single and multiple water application timings on yield and water use efficiency in tomato (variety First power). Agricultural Water Management. 95: 116-122.
- Jouquet, E. P., Bloquel, E., Thu-Doan, T., Ricoy, M., Orange, D., Rumpel, C., and Tran-Duc, T. 2011. Do compost and vermicompost improve macronutrient retention and plant growth in degraded tropical soils? *Compost Science & Utilization* 19:15-24.
- Juárez-López, P., Bugarín-Montoya, R., Castro-Brindis, R., Sánchez-Monteón, A.L., Cruz-Crespo, E., Juárez-Rosete, C. R., Alejo-Santiago, G., y Balois-Morales, R. 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. Revista fuente año. 3 No. 8.

- Kader, A. A. 1993. Postharvest biology and technology: an overview. Postharvest technology of horticultural crops. University of California division of agriculture and natural resources. P. 15-30.
- Levinsh, G. 2011. Vermicompost treatment differentially affects seed germination, seedling growth and physiological status of vegetable crop species. *Plant Growth Regul.* 65(1): 169-181.
- Lazcano, C. y J. Dominguez. 2010. Effects of vermicompost as a potting amendment of two commercially-grow ornamental plant species. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8(4):1260-1270.
- Leidi, E. O., y Pardo, J. M. 2002. Tolerancia de los cultivos al estrés salino. *Revista de Investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias.* 2(2): 2-10.
- Li, Y. L. 2000. Analysis of greenhouse tomato production in relation to salinity and shoot environment. PhD dissertation. Wageningen University. Wageningen, The Netherlands.
- Manjarrez-Martínez, M. J., Ferrera-Cerrato, R. y González-Chavez, M. C. 1999. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y la tasa fotosintética de chile serrano. *Terra Latinoamericana.* 17: 9-15.
- Márquez-Hernández, C. y Cano-Ríos, P. 2005. Producción orgánica de tomate cherry en invernadero. *Actas Portuguesas de Horticultura.* 5 (1): 219-224.
- Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P. Chew-Madinaveitia, Y. I., Moreno-Resendez, A. y Rodríguez-Dimas, N. 2006. Sustratos en la producción de cherry bajo invernadero, revista Chapingo. *Serie Horticultura.* 12(2):183-188.
- Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Ávila, D. J. A., Rodríguez-Dimas, N., y García, H. J.L. 2013. Yield and quality of tomato with sources of fertilization under greenhouse conditions. *International Journal Of experimental Botany.* (82): 55-61.

- Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., y Rodríguez-Dimas, N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agricultura Técnica en México*. 4 (1): 69-74.
- Márquez-Quiroz, C., Robledo-Torres, V., Benavides-Mendoza, A., Vázquez-Badillo, M.E., De la Cruz-Lázaro, E., Estrada-Botello, M.A., y López-Espinosa, S.T. 2014. Uso de mallas sombra: una alternativa para la producción de tomate cherry. *Eco-sistemas y recursos agropecuarios*. 1(2): 175-180.
- Mendoza-Rodríguez, M. D. L. N., Alcantar-González, G., Aguilar-Santelises, A., Etchevers-Barra, J. D., y Santizo-Rincón, J. A. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra Latinoamericana*. 16(2):135-141.
- Mercado-Luna, A., Rico-García, E., Lara-Herrera, A., Soto-Zarazúa, G., Ocampo-Velázquez, R., Guevara-González, R., Gerrara-Ruiz, G., and Torres-Pacheco, I. 2010. Nitrogen determination on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings by color image analysis (RGB). *African Journal of biotechnology*. 9(33): 5326-5332.
- Mohamed, A., Sckkary, J. H., Tucker, T. C. 1987. Growth and chlorophyll mineral and total aminoacid composition of tomato and wheat plants in relation to nitrogen and iron nutrition. Growth and nutrient uptake. *Journal of plant nutrition*. 10(6): 699-712.
- Moorby, J. 1981. Transport systems in plants. Lonman and technical. New York, EUA. 169 P.
- Morales, J.C., Fernández, M.V., Montiel, A., y Peralta, B.C. 2009. Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz *Eisenia foetida*. *Biotecnia*. 11(1):19-26.

- Moreno-Reséndez, A., Aguilar, D. y Luévano, G. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 29: 763-774.
- Moreno-Reséndez, A., Gómez-Fuentes, L., Cano-Ríos, P., Martínez-Cueto, V., Reyes-Carrillo, J. L., Puente-Mamriquez, J. L., y Rodríguez-Dimas, N. 2008. Genotipos de tomate en mezclas de vermicompost:arena en invernadero. *Terra Latinoamericana*. 6 (2): 103-109.
- Moreno-Reséndez, A., López-Aguilar, F. J., Figueroa-Miramoentes, U., Rodríguez-Dimas, N., Vásquez-Arroyo, J., Reyes-Carrillo, J. L., Cano-Ríos, P., and Reyes-Valdés, M. H. 2012. Tomato production in sand: vermicompost mixtures compared with sand and nutritive solution. *Basic Research Journal of Agricultural Science and Review*. 1:19-26.
- Moreno-Reséndez, A., Valdés-Perezgasga, M. T., y Zárate-López, T. 2005. Desarrollo del tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica*. 65(1): 26-34.
- Ndegwa, P. M., y Thompson, S. A. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresource Technology*. 71: 5-12.
- Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguéz, E., Larrinaga-Mayoral, J. A. y García-Hernández, J. L. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annum* L.) en zonas árida. *Interciencia*. 27:417-421.
- Nieves, G., Van Der, Valk V. y Elings, A. 2011. Mexican protected horticulture. Production and market of Mexican protected horticulture described and analysed Wageningen UR Greenhouse Horticulture. Landbouw Economisch Instituut. The Hague. Ministre of Economic Affairs. Rapport GTB. 1. 126.

- NMX-FF-031-1997. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Hortalizas frescas. Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Especificaciones. Normas mexicanas. Dirección general de Normas. 15 p. Available in: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas>. PDF. Consulta: noviembre 14, 2012.
- Ojeda, J., Silveira, G.M.I., Báez, S.R., Troncoso, R. R., Mercado, R.J. y Bringas, T.E. 1995. Predicción de la vida anaquel del tomate usando características de calidad. *Horticultura Mexicana*. 4 (2):73.
- Ojodeagua-Arredondo, J. L., Castellanos-Ramos, J., Muñoz-Ramos, J.J., Alcantar-González, G., Tijerina-Chavez, L., Vargas-Tapia, P., Enriquez-Reyes, S. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista fitotecnia Mexicana*. 31(4): 367-374.
- Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Salcido-Ramos, B. A., y Manzo-Ramos, F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. *Revista Ra Ximhai*. 6 (3): 339-346.
- Pastor, S. J. N. 2000. Utilización de sustratos en viveros. *Terra latinoamericana*. 17 (3):213–235.
- Peña-Cabriales, J. J., Grajeda-Cabrera, O. A., y Vera-Nuñez, J. A. 2001. Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (¹⁵N). *Terra Latinoamericana*. 20: 51-56.
- Pires, R.C.M., Furlani, P. R., Sakai, E., Lourenção, A.L., Silva, E. A., Torre Neto, A., Melo, A. M. T. 2009. Tomato development and yield under different irrigation frequencies in greenhouse. *Horticultura Brasileira*. 27: 228-234. (in Portuguese, with abstract in English).

- Planes-Leyva, M., Calderón-Aguero, J. O., Terry-Lamothe, A., Figueroa-Santana, I., Lores, A. 2004. La biofertilización como herramienta biotecnológica de la agricultura sostenible. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 10 (1): 5-10
- Polat, E., Halil, D., and Fedai, E. 2010. Yield and quality criteria in organically and conventionally grown tomatoes in Turkey. *Sci.Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 67 (4): 424-429.
- Ponce, C. P. 2013. Panorama de la Agricultura Protegida en México. <http://www.hortalizas.com/articulo/35512/panorama-de-laagricultura-protegida-en-México> (Julio 2013).
- Porter-Humpert, C. 2000. New trends in sustainable farming build compost use. *BioCycle* 41 Issue 7 p30-Links
- Preciado-Rangel. P., Fortis-Hernández, M., García-Hernández, J. L., Rueda-Puente, E., Esparza-Rivera, J. R., Lara-Herrera, A., Segura-Castruita, M. A. y Orozco-Vidal, J. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*. 36 (9): 689-693.
- Pretty, J, Sutherland, W.J., Ashby, J., Auburn, J., Baulcombe, D., Bell, M. 2011. Las cien preguntas más importantes para el futuro de la agricultura global. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 9(1): 1-20.
- Resh, H.M. 2001. *Hydroponic Food Production*, 6th Ed. Lawrence Erlbaum Publ. Mahwah, New Jersey, U.S.A.
- Riggle, D. 1998. Vermicomposting research and education. *Biocycle*. 39:54-56.
- Rinaldi, M., Convertini, G., and Elia, A. 2007. Organic and mineral nitrogen fertilization for processing tomato in Southern Italy. *Acta Horticulturae*. 758: 241-248.
- Rodríguez-Díaz, E., Salcedo-Pérez, E., Rodríguez-Macías, R., González-Eguiarte, D. R., y Mena-Munguía, S. 2013. Reúso de tezontle: efecto en sus características físicas y químicas y en la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Terra Latinoamericana*. 31(4): 275-284.

- Rodríguez-Dimas, N., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Palomo-Gil, A., Favela-Chávez, E., Álvarez-Reyna, V., Márquez-Hernández, C., y Moreno-Reséndez, A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev.Fitotec. Mex.* 31 (3): 265-272.
- Rodríguez-Dimas, N., Cano-Ríos, P.; Favela-Chávez, E., Palomino-Gil, A. y De Paúl- Álvarez, V. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo. Serie Horticultura.* 13(2): 185-192.
- Rodríguez-Dimas, N., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Favela-Chávez, E., Moreno-Reséndez, A., Márquez-Hernández, C., Ochoa-Martínez, E., y Preciado-Rangel, P. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana.* 27 (4): 319-327.
- Rodríguez-Mendoza, M. N., Alcántar-González, G., Aguilar-Santelisis, A., Etchevers-Barra, J. D., Santizo-Rincon, J. A. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra Latinoamericana* 16(2): 135-141.
- Ruiz-Espinoza, F.H., Murillo-Amador, B., García-Hernández, J.L., Fenech-Larios, L., Rueda-Puente, E.O., Troyo-Diéguez, E., Kaya, C., and Beltrán-Morales, A. 2010. Field evaluation of the relationship between chlorophyll content in basil leaves and a portable chlorophyll meter (SPAD- 502) readings. *J. Plant Nutr.* 33: 423-438.
- SAGARPA, 2010. Monografía de cultivos: Tomate. www.sagarpa.gob.mx (consulta, octubre de 2012).
- SAGARPA. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Inventario de invernaderos del estado de puebla. [Serie en internet] 2008. En: <http://www.oeidrus-puebla.gob.mx/RID.pdf>. Última consulta: 12 de mayo de 2012.

- Sahni, S., Sarma, B.K., Singh, D.P., Singh, H.B., Singh, K.P. 2008. Vermicompost enhances performance of plant growth-promoting rhizobacteria in *Cicer arietinum* rhizosphere against *Sclerotium rolfsii* and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Crop Prot.* 27: 369–376.
- Sánchez-Del Castillo, F., Moreno-Pérez, E.C., Pineda-Pineda, J., Osuna-Rodríguez, J.M., Rodríguez-Pérez, J. E., y Osuna-Enciso, T. 2014. Producción hidropónica de Jitomate (*Solanum Lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Agrociencia.* 48:185-197.
- San Martín-Hernández, C., Ordaz-Chaparro, V. M., Sánchez-García, P., Colinas-León, M. T., Borges-Gómez, L. 2012. Calidad de tomate (*Solanum Lycopersicum* l.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia.* 46: 243-254.
- Santamaría-Cesar, J., Figueroa-Viramontes, U., Medina-Morales, M. C. 2004. Productividad de la alfalfa en condiciones de salinidad en el distrito de riego 017. Comarca Lagunera. *Idem.* 22 (3): 343-349.
- Salisbury, F. y Ross, C. 1991. Fisiología vegetal. Grupo editorial Iberoamericana. México. 759 p.
- SAS Statistical Analysis Systems 2002. SAS Software versión 9.1. SAS institute, Inc, Cary, NC, USA.
- Sezen, S. M., Celikel, G., Yazar, A., Tekin, S., Kapur, B. 2010. Effect of irrigation management on yield and quality of tomatoes grown in different soilless media in a glasshouse. *Scientific Research and Essay.* 5: 41-48.
- Sezen, S.M., Celikel, G., Yazar, A., Mendi, Y.Y., Sahinler, S., Tekin, S., Gencel, B. 2006. Effects of drip irrigation management and different soilless culture on yield and quality of tomato grown in a plastic house. *Pakistan Journal of Biological Sciences.* 9: 766-771.
- SIAP. 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Boletín semanal del SIAP de la SAGARPA, 2

- Stacey, S. P. 2004. Is organic farming Sustainable? www.sustainable-farming.inf/organic.pdf. Consultado en Julio de 2013.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. Proc. 6to. Int. cong. on Soilless Culture. ISOSC, Lunteren, Holanda. Pp 633-649.
- Subler, S., Edwards, C. A., and Metzger, J. D. 1998. Comparing vermicomposts and composts. *Biocycle* 39: 63-66.
- Thuy, T. D., Thi, N. P., Rumpel, C., Nguyen, B. V., and Jouquet, P. 2013. Interactions between compost, vermicompost and earthworms influence plant growth and yield: A one-year greenhouse experiment. *Scientia Horticulturae*. 160: 148-154.
- Theunissen, T., Ndakidemi, P. A., and Laubscher, C. P. 2010. Potencial of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of the Physical Sciences*. 5(13): 1964-1973.
- Trápaga, Y. y Torres, F. 1994. El mercado internacional de la agricultura orgánica. UNAM./Juan Pablos, México. 221 pp.
- Tuzel, Y., Yagmur, B., and Gumus, M. 2003. Organic tomato production under greenhouse conditions. *Acta Hort (ISHS)*. 614:775-780.
- Urrestarazu, M., Salas, M. C., Padilla, M. I., Moreno, J. E., and Carrasco, G. A. 2001. Evaluation of different composts from horticultural crop residues and their uses in greenhouse soil-less cropping. *Acta Hort*. 549: 147-152.
- Urrestarazu, M., Soler, J., Salas, M.C., Muro, J., Irigoyen, I., y Salazar, R. 2005. La fibra de pino como sustrato en cultivo sin suelo de plantas hortícolas.
- Urrestarazu, M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. Mundi-Prensa. Madrid, España
- Valentín-Miguel, M. C., Castro-Brindis, R., Rodríguez-Pérez, J. E., y Pérez-Grajales, M. 2013. Extracción de macronutrientes en chile de agua (*Capsicum annum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 19:71-78.

- Valenzuela, O., y Gallardo, C. 2002. Sustratos hortícolas: un insumo clave en los sistemas de producción de plántulas. Memorias XXV Congreso Argentino de Horticultura y primer encuentro virtual. Asociación Argentina de Horticultura. Buenos Aires, pp. 22-29.
- Valenzuela-López, M., Partida-Ruvalcaba, L., Díaz-Valdés, T., Velázquez-Alcaraz, T de J., Bojórquez-Bojórquez, G., y Osuna-Enciso, T. 2014. Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(5):807-818.
- Vargas-Ramírez, C., y Nienhuis, J. 2012. Evaluación del crecimiento y productividad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo cultivo protegido en tres localidades de Costa Rica. Revista Tecnología en marcha. 25 (1): 3-15.
- Vázquez-Benítez, N., Acosta-Duran, C. M., Villegas-Torres, O. G., Preciado-Rangel, P., y Oliver-Guadarrama, R. 2012. Aportaciones de la vermicomposta al cultivo de plantas en contenedor. in: Acosta-Duran, Villegas-Torres, Alia-Tejacal, Andrade-Rodríguez, Guillen-Sánchez y López-Martínez (eds). Tópicos selectos de Horticultura. Ed. Trillas. México. Pp.89-110.
- Vázquez-Vázquez, C., Salazar-Sosa, E., Fortis-Hernández, M., Reyes-Oliva, M.I., Zúñiga-Tarango, R., González, A, J. 2010 Uso de cubiertas plásticas para solarización de estiércol bovino. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1:619-625.
- Villa-Briones, A., Zavaleta-Mejía, E., Vargas-Hernández, M., Gómez-Rodríguez, O., y Ramírez-Alarcón, S. 2006. Incorporación de vermicomposta para el manejo de *Nacobbus aberrans* en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Revista Chapingo. Serie Horticultura. 14(3):249-255.

- Villa-Castorena, M., Catalán-Valencia, E. A., Insunza-Ibarra, M. A., Román-López, A., González-López, M. L., y Valdéz-Amaya, J. 2009. Cultivares y nutrición de chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) en invernadero de clima controlado. *Biotecnia*. 11:4549.
- Villarreal-Romero, M., Hernández-Verdugo, S., Sánchez-Peña, P., García-Estrada, R., Osuna-Enciso, T., Parra-Terrazas, S. y Armenta-Bojórquez, A. D. 2006. Efecto de la cobertura del suelo con leguminosas en rendimiento y calidad del tomate. *Terra Latinoamericana*. 24 (4): 549-556.
- Wills, R., McGrasson, B., Graham, D., Joyce, D. 1998. Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. Segunda edición. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza España. P. 143-166.
- Yescas-Coronado, P., Segura-Castruita, M. A., Orozco-Vidal, J. O., Enríquez-Sánchez, M., Sánchez-Sandoval, J. L., Frías-Ramírez, J. E., Montemayor-Trejo, J. A., y Preciado-Rangel, P. 2011. Uso de diferentes sustratos y frecuencias de riego para disminuir lixiviados en la producción de tomate. *Terra Latinoamericana*. 29 (4): 441-448.
- Zaller, J. G. 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae*. 112: 191-199.