

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Producción Hidropónica de Plántulas de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.)
con Guishe de *Agave lechuguilla* Torrey como Posible Sustituto del
Peat-moss

Por:

BELÉN GUADALUPE MUÑOZ ROCHA

TESIS

Presentada como requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Producción Hidropónica de Plántulas de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.)
con Guishe de Agave lechuguilla Torrey como Posible Sustituto del
Peat-moss

por:

BELÉN GUADALUPE MUÑOZ ROCHA
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez
Asesor Principal



Dr. Victor Manuel Reyes Salas
Coasesor



Dr. Armando Pérez Hernández
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2019

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por estar conmigo en todo momento.

A MI ALMA TERRA MATER, por darme la oportunidad de culminar mi carrera profesional.

A la Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez, por haberme permitido ser su tesista, por todo su apoyo y consejos.

A todos los maestros que contribuyeron en mi formación profesional.

A mis amigos y compañeros: Susana, Ruth, Elizabeth, Estrella, Sergio, Pedro, y especialmente a Deyalem y Edith, por todo su apoyo y amistad brindado a lo largo de mi estancia en la UAAAN.

DEDICATORIA

A mis padres

Ángel Muñoz y Esther Rocha. Por haberme forjado como la persona que soy; muchos de mis logros se los debo a ustedes, siempre me motivaron a alcanzar mis anhelos.

A mis hermanos

Carmen, Flor, Diego y Moisés, aunque la mayoría de las veces parece que estuviéramos en una batalla, hay momentos en que la guerra cesa y nos unimos para lograr nuestros objetivos.

A mi tía

Rosa Muñoz quien siempre me apoyo y brindo su cariño.

A mi primo

Luis Ángel, por todas tus travesuras de niño que siempre me hacen reír. Te regalo estas palabras mágicas que solo aumentan en poder al usarlas constantemente "YO PUEDO". Puedes llegar a donde tú quieras. Se perseverante y podrás lograr tus sueños.

Especialmente a mi esposo

Héctor Guadalupe Rangel Rodríguez. Por tu gran amor, apoyo, cariño, paciencia y por todos los lindos momentos que hemos compartido, por darle tanta alegría a mi vida y sobre todo por haber aceptado compartir tu vida a mi lado, Te amo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
La planta de agave lechuguilla	4
Usos	4
Morfología de la planta	5
Taxonomía.....	5
Hábitat y Distribución.....	6
Producción de plántula de tomate hidropónico.....	6
Importancia del cultivo	6
Producción de plántula en invernadero	6
Sustratos en la Agricultura.....	7
Caracterización de los sustratos.....	8
Descripción de los sustratos utilizados en el experimento	11
Mezclas	12
Materiales con posibilidad de uso como sustratos	13
MATERIALES Y MÉTODOS	16
Localización del experimento	16
Material vegetativo.....	16
Recopilación del material.....	16
Procedimiento	18
Preparación de mezclas.....	18
Preparación de las charolas	18
Nutrición de las plántulas.....	19
Además del análisis de agua se obtuvieron las propiedades de las mezclas de sustratos como se describe a continuación:	20
Obtención de las propiedades de los sustratos	20
Variables Evaluadas.....	21
Apariencia de la plántula	21

Diámetro del tallo.....	21
Longitud del vástago	21
Longitud de la raíz	22
Peso fresco del vástago	22
Peso fresco de la raíz	22
Peso seco del vástago.....	22
Peso seco de la raíz	22
Diseño experimental.....	22
Análisis Estadístico.....	23
Modelo estadístico.....	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
CONCLUSIÓN	40
LITERATURA CITADA.....	40
ANEXOS	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.Comparación del análisis fisicoquímico realizado a las fibras de guishe (Cerde, 2012).	15
Cuadro 4. Valores de Da, CE y pH obtenidos del análisis de las mezclas de los sustratos.	21
Cuadro 5.Valores de la conductividad eléctrica en sustratos (Ansorena, 1994)	38
Cuadro 6. Correlación entre el pH, CE, Da del sustrato y el desarrollo de la plántula de tomate.....	38
Cuadro A 1. Análisis de varianza de la apariencia de la plántula.....	44
Cuadro A2. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) de la apariencia de la plántula Factor A.....	44
Cuadro A3.Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) de la apariencia de la plántula Factor B	44
Cuadro A4. Análisis de varianza para la variable diámetro de tallo.	45
Cuadro A 5.Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) en la variable diámetro de tallo Factor A.....	45
Cuadro A6.Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) en la variable diámetro de tallo Factor B.....	45
Cuadro A7. Análisis de varianza para la variable longitud del vástago.	46
Cuadro A8.Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) en la variable longitud de vástago Factor A.....	46
Cuadro A9.Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) en la variable longitud de vástago Factor B.....	46
Cuadro A10. Análisis de varianza para la variable de longitud de la raíz.....	47
Cuadro A11.Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) en la variable longitud de la raíz Factor B.....	47
Cuadro A12.Análisis de Varianza para la variable peso fresco del vástago.	48
Cuadro A13.Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso fresco del factor A.....	48
Cuadro A14. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso fresco del vástago factor B	48
Cuadro A15. Análisis de Varianza para la variable peso fresco de la raíz. ...	49
Cuadro A16.Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso fresco de la raíz factor A.....	49
Cuadro A17.Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso fresco de la raíz Factor B.	49
Cuadro A18. Análisis de Varianza para la variable peso seco del vástago... ..	50

Cuadro A19.Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso seco del vástago Factor A	50
Cuadro A20.Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso seco del vástago Factor B	50
Cuadro A21. Análisis de Varianza para la variable peso seco de La raíz.	51
Cuadro A22.Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso seco de la raíz Factor A.	51
Cuadro A23.Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso seco de la raíz Factor B	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Agave lechuguilla Torrey en su hábitat natural.	5
Figura 2. Distribución de los tratamientos durante la realización del experimento.	23
Figura 3. Metodología efectuada en el experimento. A= recolección del material, B=semi-compostaje del guise, C=montaje del experimento, D=homogenizado del guishe, E=desinfestación del guishe, F= secado del guise , GH=Preparación de las mezclas , I=acomodo de los tratamientos, J= preparación del guishe para las lecturas de pH y CE, K= experimento montado, LM= lavado de raíz, N= medición de longitud del vástago, Ñ= medición del peso fresco de la planta, O= secado de vástago y raíz.....	25
Figura 4. Apariencia de la plántula de tomate al cultivarse con dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla. Escala de la apariencia 1, 2 y 3 (3=plántula muy vigorosa, 2= plántula medianamente vigorosa, 1= plántula raquítica).	27
Figura 5. Apariencia de plántula de tomate cultivada con dos soluciones nutritivas y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla en invernadero.	27
Figura 6. Diámetro de tallo en la producción de plántula de tomate cultivado con dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.....	29
Figura 7. Longitud de vástago de tomate al cultivarse con dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.	30
Figura 8. Longitud de la raíz en plántulas de tomate al cultivarse en dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.	31
Figura 9. Peso fresco de vástago en la producción de plántula de tomate al cultivarse en dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.	32

Figura 10. Peso fresco de la raíz de tomate al cultivarse en dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.	34
Figura 11. Comparación de los tratamientos después del lavado de raíz.	34
Figura 12. Peso seco del vástago de tomate al cultivarse en dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.	35
Figura 13. Peso seco de la raíz en la producción de plántula de tomate al cultivarse en dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.	36
Figura 14. Valores de pH, CE y Da de las mezclas de sustratos.	37

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en el área experimental del Departamento de Horticultura en el año 2018. El objetivo de trabajo fue evaluar el uso de guishe de *Agave lechuguilla* Torrey en la producción de plántula de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) hidropónico como sustituto del peat-moss. Para ello el guishe fue semi-compostado por un periodo de 90 días, desinfectado y mezclado con peat-moss, perlita y vermiculita. Los tratamientos se formaron con cuatro cantidades de guishe (10%, 20%, 30% y 40%) y dos soluciones nutritivas (Steiner modificada al 50% y una solución utilizada por productores en el estado de Guanajuato) más un tratamiento testigo o control donde no se agregó guishe. El diseño experimental fue un bloques al azar con arreglo factorial 2x5 donde el primer factor fue la solución nutritiva y el segundo la cantidad de guishe en la mezcla de sustratos. Se encontró que el guishe utilizado en las diferentes proporciones permitió el crecimiento y desarrollo satisfactorio de la plántula de tomate. Y a mayor cantidad de guishe en la mezcla de sustratos menor fue la apariencia de la plántula, diámetro de tallo, longitud de vástago, peso fresco del vástago, peso fresco de raíz, peso seco del vástago y peso seco de raíz. Mientras que a mayor cantidad de guishe en la mezcla de sustratos mayor fue la longitud de la raíz. También se obtuvo que el crecimiento y desarrollo de la plántula de tomate fue resultado del efecto combinado entre la solución nutritiva y las mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla y la mejor solución nutritiva fue la Steiner modificada al 50% y la cantidad de guishe en la mezcla de sustratos más idónea fue la de 10 y 20%.

Palabras claves: Residuo de agave lechuguilla, nutrición, desecho vegetal, subproducto, sustratos.

INTRODUCCIÓN

La investigación de nuevos materiales para formular sustratos que sirvan como medio de crecimiento vegetal se ha transformado en una activada fundamental, debido al encarecimiento y baja disponibilidad de los ya existentes, y a su vez a la creciente demanda de sustratos cada vez más específicos. Ante este panorama, parece interesante investigar la aptitud de los subproductos o residuos generados por diferentes actividades productivas y de consumo, como componentes de sustratos, particularmente por su reducido costo (Zapata *et al.*, 2005).

Uno de estos residuos es el guishe que se obtiene del tallado de *Agave lechuguilla* Torrey el cual tiene un alto contenido celulosa, hemicelulosa, lignina soluble, lignina insoluble, cenizas y extractivos donde se incluye a la sapogeninas un compuesto que le da propiedades detergentes y le permite ser aprovechado para el lavado de ropa o loza (Carmona *et al.*, 2017). Dicho residuo no tiene uso alguno y solo se amontona en las áreas donde se talla la planta favoreciendo de esta manera los problemas fitosanitarios por ser hospedero de plagas (insectos y roedores) y enfermedades. Además, altera negativamente la fertilizada de los suelos y ocasiona muerte del ganado cuando consume el subproducto.

Si bien existen propuestas y estudios que ofrecen alternativas para su uso, aun es necesario buscar nuevas opciones de aprovechamiento. Una de estas alternativas consiste en obtener un material con características apropiadas después de sufrir el proceso de semi-compostaje útil para el crecimiento satisfactorio de plantas. Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue:

Objetivo

Evaluar el uso de guishe de *Agave lechuguilla* Torrey en la producción de plántula de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) hidropónico como sustituto del peat-moss.

Hipótesis

El guishe del *Agave lechuguilla* Torrey tiene propiedades adecuadas como elemento de un sustrato capaz de sustituir al peat-moss en la producción hidropónica de plántula de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

REVISIÓN DE LITERATURA

La planta de agave lechuguilla

La lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torrey) es una planta nativa de las zonas áridas y semiáridas de México y sur de los Estados Unidos, y se considera una de las especies más comunes en el desierto Chihuahuense. Es una de las especies no maderables explotadas en las zonas áridas y semiáridas del país, donde se utiliza para la extracción del ixtle a través del tallado (Castillo *et al.*, 2011).

Usos

Existe evidencias arqueológicas del uso de la fibra de lechuguilla por los habitantes prehispánicos de las zonas áridas del norte de México; en cuatro Ciénegas, Coahuila, se registraron sandalias hechas con dicha fibra de aproximadamente 800 años de edad (Valdez, 1995).

En la actualidad el principal uso de la fibra es la fabricación de cepillos industriales, también se utiliza como materia prima para la elaboración de diversos utensilios domésticos como cordelería, estropajos, cepillos, brochas para maquillaje, entre otros, que son elaborados tanto en empresas nacionales, como a nivel internacional (Semarnat, 2012).

Las perspectivas de comercialización de la fibra de lechuguilla son bastantes alentadoras, debido a la existencia de un mercado nacional e internacional, con tendencia a una mayor demanda de fibras naturales. El principal mercado es el internacional, donde el 93% de la producción se exporta principalmente a Estados Unidos, Holanda, Suiza y Honduras donde México es el único país exportador (CONAFOR, 2006). Entre 2003 y 2007 se registraron ventas de 350 mil dólares. Aunque existe una fuerte demanda, la mano de obra para la extracción de la fibra se ha reducido en forma considerable, pues los recolectores buscan otras opciones de empleo ante el desarrollo industrial de la región del norte (Castillo *et al.*, 2011).

Morfología de la planta

El Agave lechuguilla es un arbusto rosetófilo, acaule, pequeño, con 11 a 30 hojas en promedio, puede medir entre 30 y 40 cm de ancho y 20 a 70 cm de alto (Magallan,1998). La raíz es larga, fibrosa y delgada, puede llegar a una profundidad de 8 a 12 cm del suelo. Sus hojas se forman a partir de una yema apical considerablemente desarrollada (denomina cogollo), que en agave es un cono formado por hojas jóvenes enrolladas sobre un eje central; las hojas jóvenes recién desplegadas son verde-blanquecino o verde-azulado. Cuando maduran pueden medir entre 25 a 50 cm de alto y 2.5 a 6 cm de ancho, tienen una forma lineal lanceolada, con un color que va del verde claro al amarillo verdoso (Reyes *et al.*, 2000).



Figura 1. *Agave lechuguilla* Torrey en su hábitat natural.

Taxonomía

Clasificación taxonómica de *Agave lechuguilla* Torrey (Blando y Marín, 2001).

Reino: Metaphyta (Plantae)

Phylum: Spermatophyta (Embriophyta Siphonogama)

Subphylum: Angiosperma (Antophyta)

Clase: Monocotyledoneae

Orden: Agavales

Familia: Agavaceae (Amarylidaceae)

Género: *Agave*

Especie: *Lechuguilla* Torrey

Hábitat y Distribución

Agave lechuguilla es el taxón del subgénero *Littae* con distribución geográfica más amplia; según Nobel (1998), es una especie que se presenta en 100 000 km², desde Texas y Nuevo México, hasta Querétaro, Hidalgo y Guanajuato. Se desarrolla en los sistemas áridos y semiáridos, crece generalmente en suelos profundos de origen calizo arcilloso y de origen ígneo en pendientes pronunciadas, coluviales someros y pedregosos, soportan largos periodos de sequía en regiones cuya precipitación oscila entre 200 a 500 mm y una altitud entre 200 a 2,400 msnm (Zamora *et al.*, 2008). La densidad de población oscila entre 21,000 a 28, 333 plantas por hectárea (Reyes *et al.*, 2000).

Producción de plántula de tomate hidropónico

Importancia del cultivo

El tomate o jitomate es uno de los cultivos de gran importancia en México y en el mundo y es uno de los primeros cultivos producidos por el método hidropónico. Así mismo, la agricultura protegida es una tecnología que en los últimos años se ha incrementado debido a que ha permitido un mayor control del clima, riego, nutrición y sanidad.

La superficie de producción nacional de jitomate bajo invernadero paso del 32.2% en el año 2010, al 59.6% en el 2015 con una superficie de 75,900 ha y continúa creciendo.

Producción de plántula en invernadero

Para obtener frutos de calidad en el cultivo de tomate, se debe contar con una producción de plántula de calidad. Una buena plántula de tomate para trasplante debe ser vigorosa, verde, libre de plagas y enfermedades, y con buen desarrollo radicular. Una vez trasplantada, debe tolerar los cambios ambientales y de manejo para lograr un óptimo desarrollo (Vavrina, 2002).

La buena producción de plántula se puede lograr con una adecuada nutrición la cual se administra por medio de la solución nutritiva. Una solución nutritiva

está conformada por agua de buena calidad y fertilizantes en una cantidad adecuada y fácilmente disponibles para ser aprovechados por las plantas. Steiner (1961) fue el pionero en proponer una solución nutritiva universal para la mayoría de los cultivos intensivos que aún se sigue utilizando o ha servido de base para formular otras soluciones útiles para el buen crecimiento y desarrollo de muchos cultivos hidropónicos y en suelo.

La solución Steiner está conformada por nutrimentos en determinada proporción con cargas eléctricas negativas (aniones) donde considera al fosfato (H_2PO_4^-), el nitrato (NO_3^-) y el sulfato ($\text{SO}_4^{=}$) y nutrimentos con carga positiva (cationes) donde entra el potasio (K^+), calcio (Ca^{++}) y magnesio (Mg^{++}). La proporción de aniones debe oscilar entre; 50-70% de NO_3^- , 3-20% de H_2PO_4^- y 24-40% de $\text{SO}_4^{=}$. Mientras que de cationes; 30-40 de K^+ , 35-55% de Ca^{++} y 15-30% de Mg^{++} (Castellanos, 2009).

Además de la nutrición la producción de plántula hidropónica de tomate debe contar con un manejo preciso de temperatura, control de plagas y enfermedades con el uso de sustratos con propiedades físicas y químicas ideales para el adecuado crecimiento y desarrollo del cultivo.

Sustratos en la Agricultura

El termino sustrato en la agricultura se aplica a todo material sólido, que, colocado en un contenedor o en bolsa, en forma pura o mezclada, permite el desarrollo del sistema radical y el crecimiento del cultivo (Abad y Noguera, 1998) y que puede intervenir o no en la nutrición de la planta.

Los sustratos se usan en sistemas de cultivos sin suelo, entendiendo como tales a aquellos sistemas en las que las plantas se desarrolla su sistema radical en un medio sólido y el cual está confinado a un espacio limitado y aislado del suelo (Urrestarazu, 2000).

Los sustratos utilizados comúnmente en la horticultura protegida son: lana de roca, tezontle, arena, corteza de pino, turba, perlita, vermiculita y fibra de coco.

Caracterización de los sustratos

Al igual que se caracterizan los suelos para poder manejarlos, también es necesario conocer las características de los sustratos. En el caso de los suelos, las caracterizaciones químicas es la más importante y en general es menos importante las propiedades físicas. Por el contrario, en el caso de los sustratos la caracterización física es de fundamental importancia (Raviv *et al.*, 1986) y la química menos relevante dado que los nutrientes se suministran a través de la solución nutritiva.

Características físicas

Entendiendo por propiedades físicas aquellas que podemos ver y sentir: granulometría, color, retención de agua y aireación. Generalmente son de mayor importancia, ya que una vez seleccionada una mezcla como medio de cultivo, apenas puede modificarse su estructura, a diferencia de su composición química, que puede ser alterada mediante el riego y el abono.

Granulometría o tamaño de la partícula: Se refiere a la proporción de diámetros de las partículas que constituyen el sustrato. Materiales con textura gruesa, con tamaño de partícula superior a 1 mm retienen cantidades reducidas de agua y presentan alta aireación. Por el contrario, los materiales finos, con partículas inferiores a 0.5 mm retienen grandes cantidades de agua. En cuanto a este parámetro es recomendable que el sustrato tenga una mezcla de partículas que van de 0.2 a 2 mm de diámetro, ya que en este rango se retienen suficiente agua fácilmente disponible y presenta una adecuada aireación (Castellanos, 2009)

Densidad aparente (Da). Se define como la relación entre la masa del material sólido seco, por la unidad de volumen y se expresa en $\text{g}\cdot\text{cm}^3$. Este parámetro juega un papel en los costos de transporte y manejo del sustrato, ya que un material de muy baja densidad cuesta mucho su transporte y debe ser compactado hasta el punto en que no pueda recuperar sus características.

La densidad aparente de los sustratos que se usan en la horticultura va de 0.05 hasta 0.8 g·cm³ (Abab y Noguera 1998).

Densidad real (Dr). Es la relación entre la masa del material sólido seco (a 105°C) y el volumen real ocupado por las partículas que lo conforman, excluyendo el espacio poroso. En forma muy general y para fines prácticos, la Densidad real de los materiales minerales se podría considerar alrededor de 2.65 g·cm³ y de los orgánicos de 1.5 g·cm³.

Espacio Poroso Total (EPT). Es el volumen total no ocupado por la fase sólida, es decir, la parte que no está conformada por partículas ni minerales (Martínez, 1992). En los sustratos orgánicos el valor de EPT se ubica por arriba de 85%, mientras que en sustratos como tezontle se han encontrado valores de 60 a 80%. Es importante recalcar que un alto EPT no implica necesariamente un sustrato con buena estructura, sino que es necesario conocer la relación de la entre la fracción de la porosidad que se encarga de alojar el agua después del riego y la fracción que es drenada después de este y que es la que proporciona la aireación al sistema radical del cultivo (Abab y Noguera, 1998).

Capacidad de Aireación (CA). Es la proporción del volumen del sustrato de cultivo ocupado por el aire, o el porcentaje de aire que queda en el sustrato cuando se aplica una tensión de 10 cm de carga de agua de tensión. El nivel óptimo oscila entre 20 y 30% en un sustrato orgánico, mientras que para uno inorgánico está en el rango de 25 a 35%.

Agua Fácilmente Disponible (AFD). Se ha sugerido que el valor óptimo de agua fácilmente disponible para los sustratos en general, oscila entre 20 y 30% en volumen. El conocimiento de este tipo de agua es muy importante para llevar a cabo la programación del riego.

Capacidad de Retención de Agua (CRA). La capacidad de retención de agua, se refiere al contenido máximo de agua que puede retener un sustrato una vez que este se ha saturado y se ha dejado drenar. Su valor óptimo varía de 50 a 70% en volumen, para sustratos orgánicos (Fonteno, 1996).

Características químicas

Potencial de Hidrogeno (pH). Tiene efectos importantes sobre la disponibilidad de los nutrientes en el sustrato, así como la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica; bajo condiciones de cultivo intensivo se recomienda mantener un pH entre 5.5 y 6.5 (Escudero, 1993). Cuando el pH es menor a 5.0 pueden presentarse deficiencias de K, Ca, Mg y B, mientras que por arriba de 6.5 puede disminuir la disponibilidad de Fe, Mn, Zn y Cu.

Salinidad (CE). Se refiere a la concentración de sales en el sustrato, y se determina como conductividad eléctrica (CE) en $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, en extractos de saturación se recomienda valores de 1.2 a $2.6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Lemaire *et al.*, 2003). Es recomendable que el sustrato al momento de iniciar la plantación tenga siempre una conductividad menor de $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para evitar daños por salinidad.

Disponibilidad nutricional. Es la capacidad de un sustrato para aportar nutrimentos a la planta y depende del contenido de estos en el sustrato y de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) que posee.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC). Se define como la suma total de cationes que pueden ser absorbidos e intercambiados en un sustrato. En el caso de materiales orgánicos la CIC puede ir de 50 a $100 \text{ me}\cdot 100 \text{ g}$, mientras que para los materiales minerales puede ir de 0 a $10 \text{ me}\cdot 100 \text{ g}$ de sustrato (Nelson, 1998).

Características Biológicas

La importancia de la caracterización biológica esta aumentado debido a que cada vez es más frecuente utilizar esquilmos de la agricultura como sustitutos de los sustratos convencionales. Estas propiedades evalúan la estabilidad del material, así como la liberación de elementos o sustancias que pudieran ser tóxicas o benéficas para el cultivo (Lemaire *et al.*, 2003).

La biostabilidad de los sustratos se refiere a su resistencia a la descomposición por la acción microbiana. Una baja biostabilidad provoca deficiencia de oxígeno y nitrógeno, además de liberar sustancias fitotóxicas.

En cuanto a la fitotoxicidad es necesario realizar bioensayos de germinación con especies sensibles como la lechuga, para determinar si el material pudiera tener alguna sustancia que inhiba el crecimiento de la planta.

Descripción de los sustratos utilizados en el experimento

Perlita

Es un aluminosilicato que se fabrica a partir de rocas volcánicas vítreas, con densidades originales de $1.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$. En su tratamiento industrial se calienta a temperaturas de 1000° C durante algunos minutos y se logra su expansión hasta reducir la densidad aparente a $0.12 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$. Este sustrato tiene un excelente drenaje, es ligero, de muy baja capacidad de intercambio catiónico ($0.15 \text{ me}\cdot 100 \text{ cm}^3$), (Castellanos, 2009).

La perlita comercial se expande en distintas granulometrías, siendo generalmente las granulometrías medias (entre 3 y 5 mm) las más utilizadas. Su densidad aparente varía de 0.10 a $0.12 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$.

La perlita expandida es un material casi inerte, que no se descompone biológica o químicamente, si bien se cita que a un pH inferior a 5 puede aparecer toxicidad por solubilidad del aluminio. Su pH es neutro (6.5 - 7.2) y la conductividad eléctrica es muy (0.01 - $0.12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$). No contiene microorganismos, siendo completamente estéril por su proceso de obtención (Burés, 1997).

Vermiculita

El pH de la vermiculita es neutro, si bien debido a la presencia de impurezas procedentes de rocas carbonatadas, la reacción es normalmente alcalina. La capacidad de intercambio catiónico es muy elevada, de 90 a $150 \text{ meq}\cdot\text{l}$, similar a la de materiales orgánicos como la turba (Bures, 1997).

Turba o Peat-moss

Es la forma de materia orgánica más popular para la preparación de sustratos. Satisface más el criterio para la selección de ingredientes de sustratos que cualquier otra forma de material orgánico disponible para la industria en invernadero.

Aunque es un sustrato costoso, la turba posee muy buenas propiedades físicas como baja densidad aparente ($0.05\text{--}0.01\text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$), alto porcentaje de espacio poroso y alta capacidad de retención de agua. Y cuando se mezcla con otros materiales cambia sus propiedades físicas y químicas como la porosidad, la acidez y los niveles nutricionales. Por lo general, la turba preparada comercialmente tiene un pH entre 5.5 y 6.5 y una conductividad eléctrica que va desde 0.7 hasta $1.1\text{ dS}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Es bajo en sales solubles, fácil de mezclar con otros componentes, uniforme en calidad y de larga duración en un sustrato. El drenaje y la aireación son muy buenos. No agrega cantidades importantes de nutrientes, ni su uso resulta en una disminución en los nutrientes disponibles. El aspecto más importante es que no ocurren cambios biológicos o químicos, en el medio de cultivo.

Mezclas

La obtención de mezclas de sustratos no resulta sencilla puesto que existen números materiales, que pueden ser adecuados como sustratos de cultivos. Estos materiales pueden tener distintas propiedades que satisfacen condiciones específicas para un cultivo.

Las características que debe tener una buena mezcla de sustratos son:

- Ligereza en peso.
- Uniformidad en composición.
- Accesibilidad económica.
- Fácil disponibilidad.
- Carencia de plagas y enfermedades.

- Alta capacidad de intercambio catiónico.
- Elevada retención de humedad
- Buen drenaje y aireación.

Materiales con posibilidad de uso como sustratos

El número de materiales que pueden ser utilizados como sustratos es muy amplio. Muchos residuos o subproductos derivados de explotaciones agrícolas o industriales están actualmente sustituyendo a los materiales más tradicionales por la ventaja que presentan en la disminución del costo. La mayor parte de los materiales procedentes de residuos requieren un proceso de adecuación que permita obtente características estables (Bures, 1997).

Paja

La paja procede de las explotaciones cerealistas, y se ha utilizado frecuentemente como fuente de materia orgánica o bien como cama del ganado. Es un material rico en lignina y pobre en nitrógeno, por lo que su descomposición es difícil. Es conveniente comportarla para su uso como sustrato, debiéndose trocear y aportar nitrógeno para favorecer su descomposición y evitar que tome nitrógeno del cultivo.

Restos de tallos

Los restos de tallos de tabaco (*Nicotiana tabacum*) pueden utilizarse como sustratos de cultivo, mezclados con otros materiales orgánicos, una vez compostados. Los restos de tallos de tabaco tienen elevado contenido de manganeso y son ricos en potasio.

Restos de caña de azúcar

Este material consiste en la fibra procedente de los restos de la caña de azúcar, una vez que se procesa en los molinos de azúcar. También se conoce como bagazo y ha sido utilizado en algunas zonas como sustrato de cultivo hortícola.

Peces

En granjas de peces la mortalidad representa un volumen considerable. Estos restos una vez compostados pueden utilizarse como medio de cultivo. Los peces deben compostarse aeróbicamente durante un cierto tiempo, para que disminuya el contenido de fenoles y de ácidos orgánicos fitotóxicos, que se producen en los primeros estadios de la descomposición que suele tener lugar en condiciones anaeróbicas. Se ha descrito el compostaje de peces junto con serrín y su aplicación como sustrato.

Guishe

El guishe es un subproducto que se genera del tallado del *Agave lechuguilla* Torrey, el cual está formado por tejido suculento, fibra de baja calidad y agua. Actualmente no se le da ningún tipo de aprovechamiento.

Generalmente se deja a campo abierto, provocando contaminación visual, así como el envenenamiento del ganado al ser consumido, además de que sirve como hospedero de plagas.

Hoz y Nava en el 2017, mencionaron que los residuos del agave es un factor de corrosión del suelo en donde se vierten, altas concentraciones generan relaciones C/N muy altas, con la consecuencia de inmovilización del nitrógeno, además de que provee mayor acidez al suelo y aparte disminuye la percolación y el drenaje.

Orozco *et al.* (1977) estimaron que el peso fresco promedio de un cogollo es de 356.54 g y contiene 14.6% fibra y 85.4% guishe. Considerando una producción media de 21.2 g de fibra por planta, equivaldría a una producción de 523 kg·ha⁻¹ (Berlangua *et al.*, 1992), se puede calcular que aproximadamente existe una potencia de acumulación de guishe de 3,059 kg·ha⁻¹ al cual no se le da uso alguno.

Cuadro 1. Comparación del análisis fisicoquímico realizado a las fibras de guishe (Cerde, 2012).

Parámetro	Parras de la Fuente, Ejido Porvenir	Ramos Arizpe, Ejido Tortuga	Saltillo, Ejido Bañuelos.
MST* (%)	97.17	99.47	97.88
Humedad (%)	97.17	99.47	97.88
Cenizas (%)	2.82	0.52	2.01
Fibra cruda (%)	10.77	14.29	9.89
Extracto etéreo (%)	36.6 ± 0.79	43.57 ± 0.79	45.58 ± 1.92
Azúcares Totales (%)	0.75	0.15	0.85

*MST= materia seca total

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El presente trabajo se llevó a cabo en uno de los invernaderos del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

El tipo de invernadero utilizado fue de dos aguas con dimensiones de 7 m de ancho y 30 m de largo, con estructura metálica y con cubierta de fibra de vidrio. El invernadero cuenta con una pared húmeda y dos extractores de aire de activación automática.

Material vegetativo

Como material vegetativo se utilizó tomate tipo bola variedad Floradade, de la empresa de Hortaflores. Esta variedad se caracteriza por ser una planta grande, determinada y adaptable a climas húmedos. Su fruto de tamaño grande tiene forma aglobada y color rojo. Las defensas a enfermedades son muy numerosas. Es un tomate de temporada mediana a tardía. Las semillas contaban con un 92% de germinación y un 99% de pureza.

Recopilación del material

El guishe se recolectó el día 11 de mayo del 2018 en el ejido Jalpa que se localiza en el Municipio General Cepeda del Estado de Coahuila de Zaragoza México, ubicado en las coordenadas GPS: Longitud -101.77 y Latitud 25.55. La localidad se encuentra a una altura de 1,300 metros sobre el nivel del mar.

Formación de tratamientos

Para cumplir con el objetivo propuesto en este trabajo los tratamientos se formaron mezclas de sustratos con cuatro cantidades de guishe (10, 20, 30 y 40%) y peat moss, perlita y vermiculita. Como tratamiento testigo o control se utilizó una mezcla de sustrato sin guishe (0%). La cantidad de perlita y vermiculita fue la misma para todos los tratamientos mientras que la cantidad de peat moss se modificó en función de la cantidad de guishe de forma que se completara el 100%.

También se probaron dos soluciones nutritivas una de ellas fue la solución Steiner modificada propuesta por Castellanos (2009) al 50% (S1) y una utilizada por productores de Guanajuato (S2). Quedando los tratamientos como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Formación de tratamientos con cuatro cantidades de guishe y dos soluciones nutritivas en la producción hidropónica de tomate en invernadero.

No. de tratamiento	Nomenclatura	Sustratos y guishe de lechuguilla			
		Peat moss (%)	Perlita (%)	Vermiculita (%)	Guishe (%)
1	M1S1	70	20	10	0
2	M2S1	60	20	10	10
3	M3S1	50	20	10	20
4	M4S1	40	20	10	30
5	M5S1	30	20	10	40
6	M1S2	70	20	10	0
7	M2S2	60	20	10	10
8	M3S2	50	20	10	20
9	M4S2	40	20	10	30
10	M5S2	30	20	10	40

Procedimiento

Después de recolectar el guishe se procedió a triturarlo con unas tijeras de podar, para obtener un material más fino. Una vez triturado se dejó semicompostear desde el 25 de mayo del 2018 hasta el 23 de agosto del mismo año, se aireaba cada ocho días sin descuidar el porcentaje de humedad.

Una vez terminado el proceso de semicomposteo se procedió a desinfestar el guishe. Para ello se utilizó una vaporera y una parrilla de gas, se colocó el material dentro de la vaporera la cual contaba con una cantidad suficiente de agua, se dejó el material aproximadamente una hora moviendo constantemente para que el vapor de agua lo impregnará y de esta manera eliminara los insectos u otros microorganismos que se encontraran en el material. Una vez desinfestado, se procedió a secarlo, extendiendo el material sobre un plástico dentro del invernadero.

Cuando el material se encontraba seco, se recolecto y se cribó con una malla de 6 x 6 mm, esto para tener un material más homogéneo. Después se procedió a preparar las mezclas para conformar los tratamientos.

Preparación de mezclas

La preparación de las mezclas de acuerdo a los tratamientos establecidos se realizó en base a volumen y para ello se utilizó un vaso de precipitado de un litro para medir el volumen de cada material. Una vez agregadas las cantidades en un contenedor grande se procedió a mezclar perfectamente y se agregó agua hasta lograr una saturación de agua al 60%.

Preparación de las charolas

Se utilizaron 15 charolas de unicel de 200 cavidades, previamente lavadas y desinfectadas, donde se colocaron las mezclas anteriores.

Una vez colocado las mezclas en las charolas se procedió a realizar la siembra para ello se colocaron 2 semillas por cavidad aproximadamente a 5 mm de profundidad. Esto se realizó el día 2 de agosto del 2018. La emergencia fue el día 9 de agosto. Y para el 17 de agosto se procedió a realizar el raleo dejando una planta por cavidad.

Nutrición de las plántulas

Para elaborar la solución Steiner modificada recomendada por Castellanos (2009) al 50% y la solución de solanáceas (S2) se utilizaron fertilizantes químicos comerciales en $\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$ con un ajuste en el pH a 5.5 en las cantidades mostradas en el Cuadro 3. Para ello inicialmente se analizó un análisis de agua por el laboratorio Fertilibab.

Cada solución se preparó en una cubeta de 20 L y para uniformizar la aplicación de la solución se utilizó una bomba de aspersión manual de capacidad de 3.4 L.

La aplicación de las soluciones se realizó del 17 al 23 de agosto cada tercer día, y del 24 de agosto al 9 de octubre, la aplicación de las soluciones se realizaba 6 días a la semana, el séptimo día solo se regaba con agua.

Cuadro 3. Cantidad de miliequivalentes requeridos para preparar las soluciones nutritivas probadas.

me·l ⁻¹					
Nutriente	S1	S2	Nutriente	S1	S2
Aniones			Microelementos		
NO ₃ ⁻	6.0	4.5	Fe	0.4	0.4
H ₂ PO ₄ ⁻	0.75	4.5	Mn	0.15	0.15
SO ₄ ⁼	3-8	3.0	Zn	0.03	0.03
HCO ₃ ⁻	0.5	0.5	B	0.2	0.2
Cationes			Cu	0.03	0.03
K ⁺	3.5	6.0	Mo	0.66	0.66
Ca ⁺⁺	4.5	7.0			

Mg ⁺⁺	2.0	3.0			
NH ₄ ⁻	0.24	0			

Además del análisis de agua se obtuvieron las propiedades de las mezclas de sustratos como se describe a continuación:

Obtención de las propiedades de los sustratos

Se determinó el pH, la CE y la Da de cada mezcla, en el laboratorio de postcosecha del Departamento de Horticultura.

pH y CE

Para obtener estas propiedades de cada mezcla se pesó 50 g, se colocó cada una en un vaso de precipitado de 600 ml, luego se agregó agua destilada, se tapó con papel aluminio y se dejó reposar por 24 h. Se obtuvo un blanco como referencia el cual tenía un pH de 8.

Trascurridas las 24 h se filtró el líquido y se procedió a tomar la lectura de pH y CE, con el medidor pH/CE/TDS/°C múltiple de la marca Hanna el cual fue calibrado antes de utilizarlo con la solución buffer pH 7 y 4.

Da

Esta se obtuvo con el método del cilindro donde se colocó cada mezcla en un vaso de precipitado de 250 ml, luego se colocaron en la estufa de secado a una temperatura de 80°C por 24 h.

A las 24 h se colocó una marca donde había quedado el sustrato en cada vaso, después se pesó en una balanza electrónica de precisión OHAUS SCOUT y se tomó la lectura, después se retiró el sustrato de cada vaso y se volvió a pesar el vaso ya sin sustrato, luego se colocó agua hasta donde había quedado la marca y se midió el volumen.

Una vez obtenidos estos datos se utilizó la siguiente fórmula para obtener la Da.

$$Da = \frac{PVS - PV}{V}$$

Vol

Donde:

PVS= Peso del vaso más el sustrato

PV =Peso del vaso

Vol= Volumen

Los resultados obtenidos en el análisis de las diferentes mezclas de sustratos se muestran Cuadro 4.

Cuadro 2. Valores de Da, CE y pH obtenidos del análisis de las mezclas de los sustratos.

Mezcla	Da*	CE	pH
BLANCO		0.01	8
M1	0.102	0.05	5.61
M2	0.120	0.38	5.9
M3	0.126	0.67	6.43
M4	0.139	0.96	6.73
M5	0.151	1.2	7.05

*Da= Densidad aparente, CE= Conductividad eléctrica, pH= Potencial de Hidrogeno,

Variables Evaluadas

Las siguientes variables fueron evaluadas del 9 al 12 de octubre del 2018. De cada bloque se evaluaron 30 plántulas, dando un total de 90 plantas por tratamiento.

Apariencia de la plántula

Se obtuvo de forma visual considerando la siguiente escala: 3=plántula vigorosa, 2= plántula medianamente vigorosa, 1= plántula raquítica.

Diámetro del tallo

Para esta variable se utilizó un vernier digital, midiendo el cuello de la plántula, el resultado se reportó en mm.

Longitud del vástago

Esta variable se obtuvo midiendo la plántula con una cinta métrica, colocándola desde el cuello de la misma hasta la punta más larga del follaje.

Longitud de la raíz

Para poder obtener esta variable fue necesario limpiar cuidadosamente la raíz eliminando cualquier residuo de sustrato. Para esta variable se utilizó una cinta métrica la cual fue colocada desde el cuello de la plántula hasta la raíz más larga.

Peso fresco del vástago

Primeramente, se separó la parte del vástago de la raíz utilizando unas tijeras, posteriormente se pesaron en grupos de seis plántulas en la balanza electrónica de precisión OHAUS SCOU, obteniendo un total de cinco repeticiones, luego fueron colocadas en bolsas de papel para proceder a secarlas.

Peso fresco de la raíz

Al igual que la variable anterior las raíces fueron pesadas en grupos de seis, balanza electrónica de precisión OHAUS SCOU y colocadas en bolsas de papel.

Peso seco del vástago

Las muestras se colocaron en la estufa de secado a 60° C durante dos días, luego se pesaron en la balanza electrónica de precisión OHAUS SCOU

Peso seco de la raíz

Las muestras se colocaron en la estufa de secado a 60° C durante dos días, luego se pesaron en la balanza electrónica de precisión OHAUS SCOU.

En la Figura 3 se pueden observar imágenes de la realización del experimento.

Diseño experimental

El experimento se distribuyó en un diseño de bloques al azar con 10 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento, donde cada repetición estuvo conformada por un bloque con 30 plántulas y donde la unidad experimental fue una plántula.

T1B1	T5B3	T3B3	T3B1	T5B2	T1B3
T2B2	T3B2	T1B2	T4B3	T2B3	T4B2
	T5B1	T10 B1	T2B1		
	T4B1	T9B1	T7B1		
T6B1	T10 B3	T8B3	T8B1	T10 B2	T6B3
T7B2	T8B2	T6B2	T9B3	T7B3	T9B2

Figura 2. Distribución de los tratamientos durante la realización del experimento.

Análisis Estadístico

Con los datos obtenidos se obtuvo un ANOVA ($\alpha= 0.05$) y una comparación de medias con la prueba Tukey al 95 % de confiabilidad en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 2 x 5. Así mismo, se realizó una correlación con los datos obtenidos de las variables y los valores de pH, Da y CE. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete computacional SAS ver 9.0.

Modelo estadístico

El modelo del diseño empleado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

μ = media general,

α_i = es el efecto del i-ésimo nivel del factor A

β_j = es el efecto del j-ésimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$ = el efecto de interacción en la combinación ij

ε_{ijk} = es el error aleatorio que supone sigue una distribución con media cero y varianza constante σ^2 y son independientes entre sí.

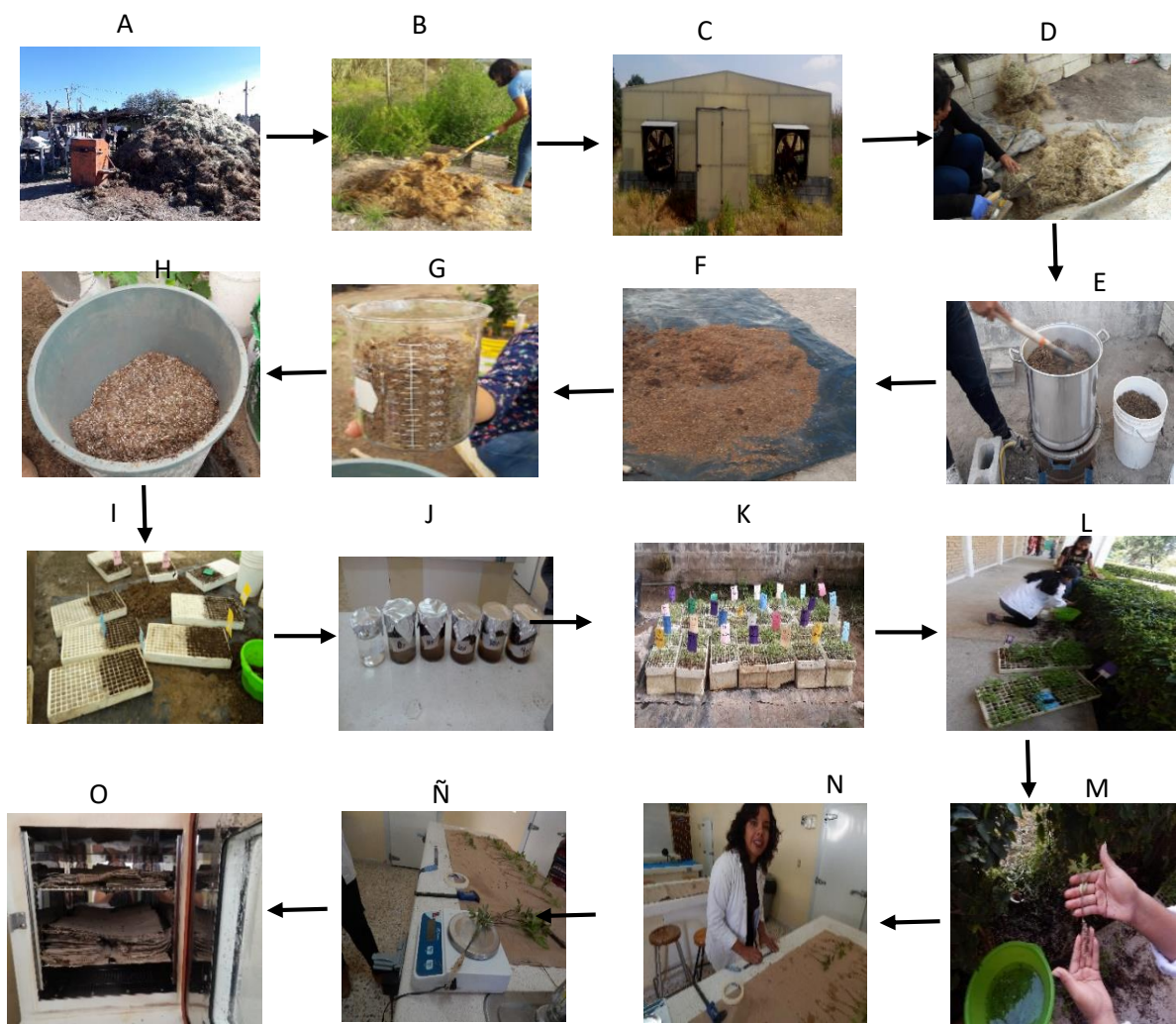


Figura 3. Metodología efectuada en el experimento. A= recolección del material, B=semi-compostaje del guise, C=montaje del experimento, D=homogenizado del guishe, E=desinfección del guishe, F= secado del guise , GH=Preparación de las mezclas , I=acomodo de los tratamientos, J= preparación del guishe para las lecturas de pH y CE, K= experimento montado, LM= lavado de raíz, N= medición de longitud del vástago, Ñ= medición del peso fresco de la planta, O= secado de vástago y raíz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los datos obtenidos en esta investigación, se presentan los siguientes resultados y discusión para las variables evaluadas.

Apariencia de la plántula (AP)

La apariencia de la plántula de tomate es un componente importante a la hora de su comercialización y en el buen crecimiento y desarrollo de la planta posterior al trasplante. Una planta sana y vigorosa, asegurará un excelente rendimiento y calidad de fruto a la hora de la cosecha.

Al realizar los análisis estadísticos se obtuvo alta diferencia significativa en la interacción entre los factores solución nutritiva y cantidad de guishe en la mezcla de sustratos (Cuadro A1). Es decir, que la apariencia de la planta está en función de la solución nutritiva en combinación con la mezcla de sustratos. En la Figura 4 se observa que los valores más altos alcanzados en el experimento con respecto a esta variable, se ubicaron en la categoría plántula medianamente vigorosa. Y en la Figura 5 se observa las características de vigor, color verde de hojas, coloración púrpura en la base del tallo y envés de las hojas, y una estructura leñosa del tallo de las plántulas obtenidas en el experimento, mismas que coinciden con lo que recomiendan Escobar y Lee (2009) para tener un trasplante exitoso en el cultivo de tomate.

También en la Figura 4 se observa que la tendencia fue a disminuir ligeramente la apariencia de la planta en forma lineal a medida que se incrementó la cantidad de guishe en la mezcla de sustratos. La diferencia entre la mezcla comercial o testigo (70% peat moss + 20% de perlita + 10% de vermiculita) y la mezcla elaborada con la cantidad de guishe más alta en el experimento (40% de guishe + 30% de peat moss + 20% de perlita + 10% de vermiculita) redujo la apariencia 9.5% en las plántulas regadas con el 50% de la solución Steiner (S1) y 5.5% la apariencia de las plántulas regadas con la solución nutritiva de solanáceas (S2). Resultados similares obtuvo Magdaleno *et al.*,

(2006) el regar plántulas de tomate con una solución nutritiva compuesta con el 50% de sales Steiner.

Si bien se reduce ligeramente la apariencia de la plántula a medida que se incrementa la concentración de guishe en la mezcla de sustratos, el costo beneficio podría ser bueno ya que se reduciría la cantidad de peat moss utilizado en la mezcla lo cual reduciría el costo y daría uso a las montañas de desecho que son un foco de infección.

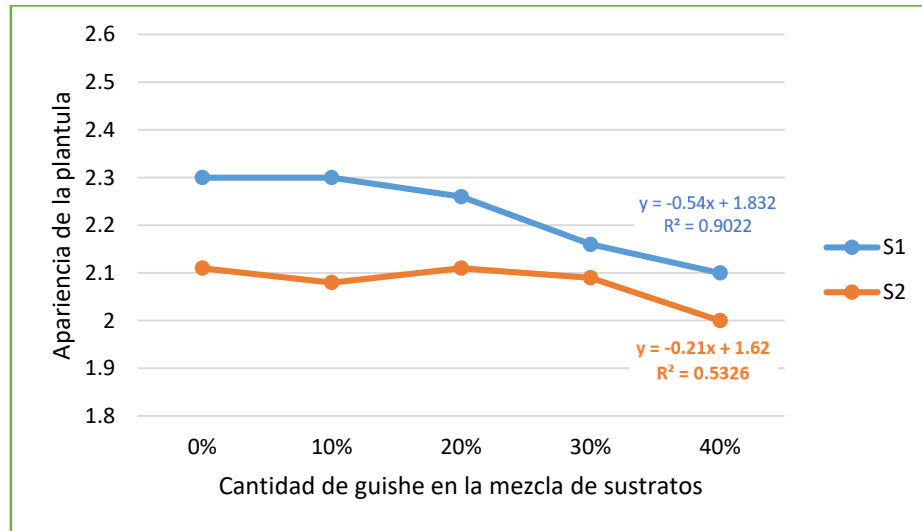


Figura 4. Apariencia de la plántula de tomate al cultivarse con dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla. Escala de la apariencia 1, 2 y 3 (3=plántula muy vigorosa, 2= plántula medianamente vigorosa, 1= plántula raquítica).

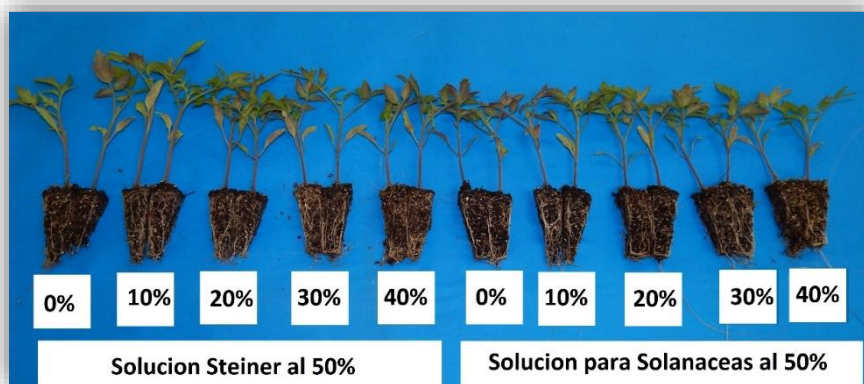


Figura 5. Apariencia de plántula de tomate cultivada con dos soluciones nutritivas y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla en invernadero.

Diámetro del tallo (DT)

Una plántula de calidad se identifica por un tallo vigoroso y el grosor del tallo comúnmente está relacionado con la dureza de la plántula. Monge (2007) menciona que un tallo de 0.4-0.5 cm en tomate es adecuado al momento del trasplante.

Al realizar el análisis estadístico para esta variable se obtuvo diferencia significativa en la interacción de los factores solución nutritiva y mezclas de sustrato con guishe de lechuguilla (Cuadro A4).

En la Figura 6 se observa que la plántula cultivada con la solución nutritiva elaborada con el 50% de sales nutritivas Steiner redujo el diámetro de tallo a medida que se incrementó la cantidad de guishe en la mezcla de sustratos de forma lineal. Mientras que, un comportamiento similar pero menos notorio se observó en las plántulas cultivadas con la solución nutritiva S2. El diámetro de tallo obtenido por las plántulas de tomate cultivadas en la mezcla de sustrato sin guishe y regadas con la solución Steiner al 50% presentó un valor de 3.5 mm mismo que se redujo a un 17.2% en la mezcla de sustrato con 40% de guishe e igual solución nutritiva. En tanto que, las plántulas cultivadas con la solución nutritiva S2 y sin guishe alcanzaron un diámetro de 3.0 mm mismo que se redujo en 7.1% en las plántulas cultivadas con la misma solución nutritiva, pero con el 40% de guishe en la mezcla de sustrato. Esto pudiera deberse a que la mezcla de sustrato que contenía la mayor cantidad de guishe, presentó poca retención de humedad afectando la nutrición de la planta y en consecuencia la disminución para esta variable.

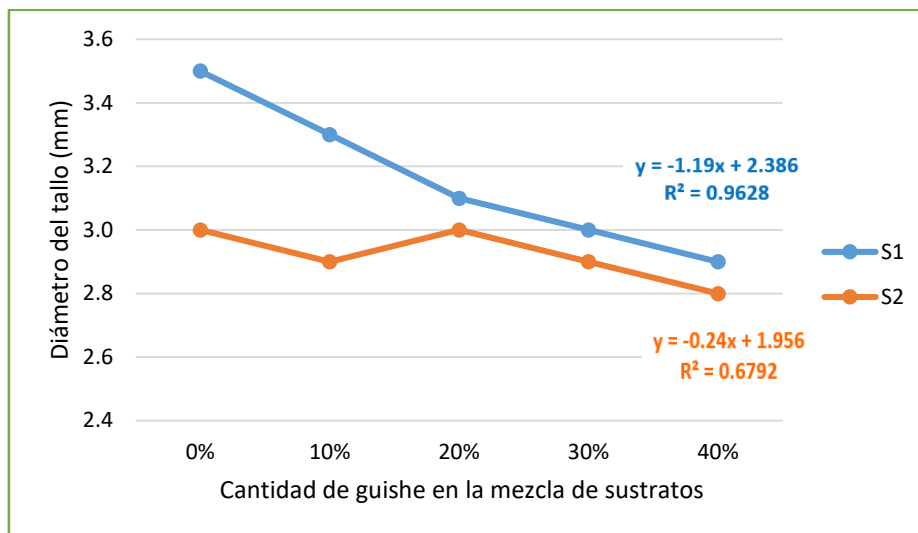


Figura 6. Diámetro de tallo en la producción de plántula de tomate cultivado con dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.

Longitud del vástago (LV)

Para esta variable en el análisis de varianza realizado se observó diferencia significativa en los factores solución nutritiva y cantidad de guishe en la mezcla de sustratos de forma independiente (Cuadro A7).

Se observó que todos los tratamientos donde se aplicó la solución S1 en la producción de plántula de tomate presentó la mayor longitud del vástago con valores que oscilaron entre 13.8 y 17.2 cm.

En la Figura 7 se puede apreciar una tendencia negativa con la aplicación de los tratamientos. En la comparación de medias con la prueba de Tukey se obtuvo que la plántula cultivada con el 20% de guishe en la mezcla de sustratos independiente de la solución nutritiva, fue igual estadísticamente al testigo donde no se utilizó guishe y donde se obtuvo un valor promedio de 15 cm (Cuadro A9). Longitud recomendable en la producción de plántula de tomate según Pulido y Escobar (2009).

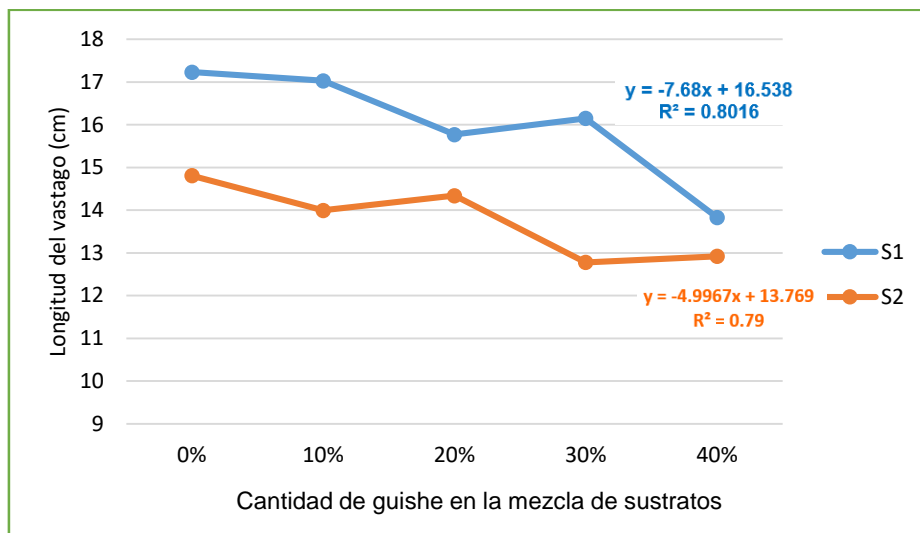


Figura 7. Longitud de vástago de tomate al cultivarse con dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.

Longitud de la raíz (LR)

El sistema radicular tiene importantes funciones físicas y fisiológicas desde el inicio de la germinación hasta el crecimiento y desarrollo del cultivo. Para Leskovar (2001) el establecimiento de un cultivo de trasplante depende de un buen desarrollo radicular. Y para Vavrina (2002) una buena plántula para trasplante debe ser vigorosa, verde, libre de plagas y enfermedades, y con buen desarrollo radicular y una vez trasplantada, debe tolerar los cambios ambientales y de manejo para lograr un óptimo desarrollo. Además, las raíces deben ser blancas, delgadas y que cubran todo el contenedor ya que las raíces con un color marrón y que no se extienden hacia la parte inferior del contenedor, son síntoma de que han estado creciendo bajo un estrés de humedad, lo cual puede retardar el enraizamiento en el campo (Pulido y Escobar 2009).

Para esta variable con el análisis estadístico solo se observó diferencia significativa en el factor cantidad de guishe en la mezcla de sustratos (Cuadro A10).

Y si bien en la Figura 8 se observa, que al utilizar este subproducto al 20% en la mezcla se obtuvo una longitud de raíz promedio de 13.02 cm, independientemente de la solución. Lo cual representa una diferencia del 11.4% con el testigo o mezcla comercial (70% de peat moss + 20% de perlita + 10% de vermiculita). De acuerdo a lo mencionado por Serrada (2012) quien dice que para que una plántula sea considerada de buena calidad debe de presentar una raíz compacta para que tenga capacidad de arraigo. Resulta mejor el uso del 10% de guishe en la mezcla de sustratos donde se obtuvo una longitud de raíz promedio de 11.6 cm, lo cual representa una diferencia del 0.95% con el testigo comercial.

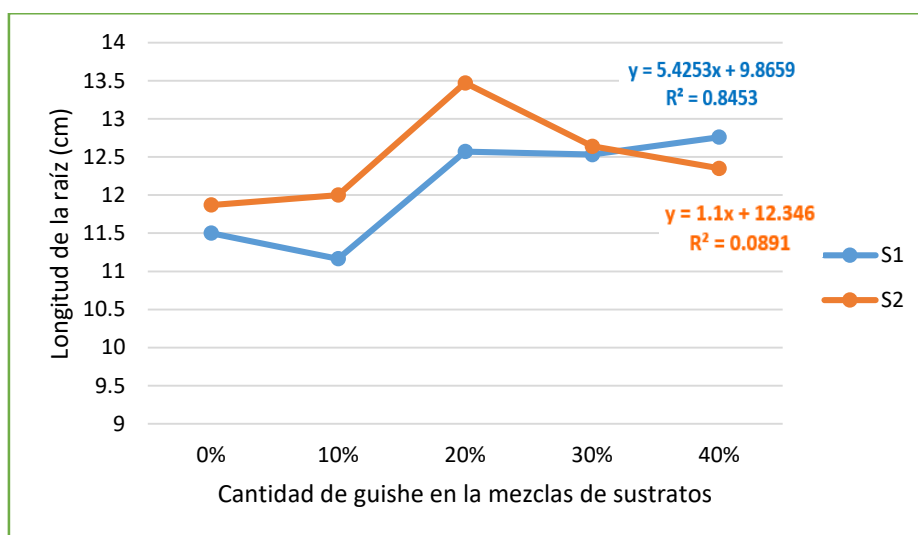


Figura 8. Longitud de la raíz en plántulas de tomate al cultivarse en dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.

Así mismo se observa en términos generales en la Figura 8 que a medida que aumentó la cantidad de guishe en el sustrato mayor fue la longitud de raíz. Posiblemente esto se deba a que a mayor cantidad de guishe menor fue la retención de humedad (por el gran contenido de fibra que posee aproximadamente 34.7%) y menor la disponibilidad de nutrientes lo que obligó

a la raíz de la plántula a buscar humedad expendiendo su raíz como lo menciona Herrera (2002).

Peso fresco del vástago (PFV)

Al realizar el análisis estadístico para esta variable se obtuvo diferencia significativa en el ANVA en la interacción de los factores solución nutritiva y mezclas de sustrato con guishe (Cuadro A13). Es decir que el peso fresco del vástago está en función de la solución nutritiva en combinación con la mezcla de sustratos.

En la Figura 9 se observa que la plántula cultivada en la solución nutritiva elaborada con el 50% de sales nutritivas Steiner mostró reducir el peso fresco del vástago a medida que se incrementó la cantidad de guishe en la mezcla. Mientras que, un comportamiento similar pero menos notorio se observó en las plántulas cultivadas con la solución nutritiva S2. Así mismo se observa que las plántulas cultivadas con un 10% de guishe en la mezcla de sustratos e irrigadas con la solución Steiner al 50% presentó una respuesta igual al tratamiento testigo o comercial en la variable PFV.

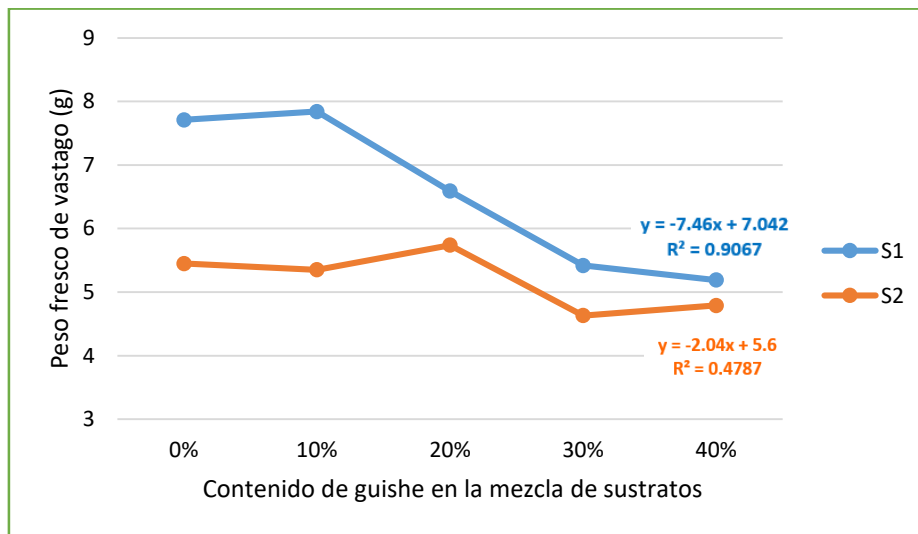


Figura 9. Peso fresco de vástago en la producción de plántula de tomate al cultivarse en dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.

Con los resultados obtenidos se corrobora lo mencionado por Ibarra (1997), en su investigación menciona que el peso fresco la plántula depende de los medios de cultivos.

Peso fresco de la raíz (PFR)

Para esta variable con el análisis estadístico se observó diferencia significativa en los factores solución nutritiva y en el factor cantidad de guishe en la mezcla de sustratos, de forma dependiente. Es decir, se observó diferencia significativa en la interacción de ambos factores (Cuadro A16).

Como se observa en la Figura 10, las plántulas que crecieron en las mezclas de sustrato con el 10% de guishe (60% de peat moss, 10% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita) e irrigadas con la solución Steiner al 50%, se obtuvo un valor de 3.11 g superando con un 44% a las plántulas que desarrollaron en la misma mezcla, pero irrigadas con la solución para la Solanáceas al 50%. Lo anterior puede atribuirse a que la solución Steiner presenta un balance adecuado de aniones y cationes, que permite una absorción adecuada de todos los nutrientes por las plantas (Lara, 2000)

En la mezcla comercial (70% de peat moss, 20% de perlita y 10% de vermiculita) e irrigadas con la solución Steiner al 50%, se obtuvo un peso fresco de la raíz de 2.6 gramos, el cual fue superado con un 19.6% por las plántulas que se desarrollaron en la mezcla de sustrato utilizando el 10% de guishe y misma solución nutritiva.

Roblero (2013), realizó una investigación donde utilizó a *Thillandsia recurvata* L. compostado como componente de sustrato para la germinación y desarrollo de *Cedrella odorata* L. En los diferentes tratamientos utilizados no se encontró diferencia significativa para la variable peso fresco de la raíz. Esto nos indica que es importante probar otros materiales como sustratos, para saber si se obtiene plántulas de una calidad aceptable comparándolos con un sustrato convencional.

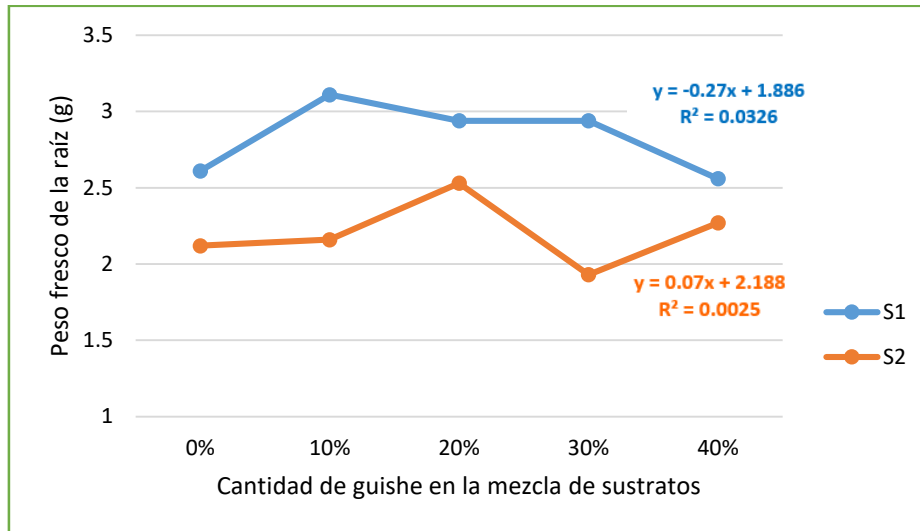


Figura 10. Peso fresco de la raíz de tomate al cultivarse en dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.

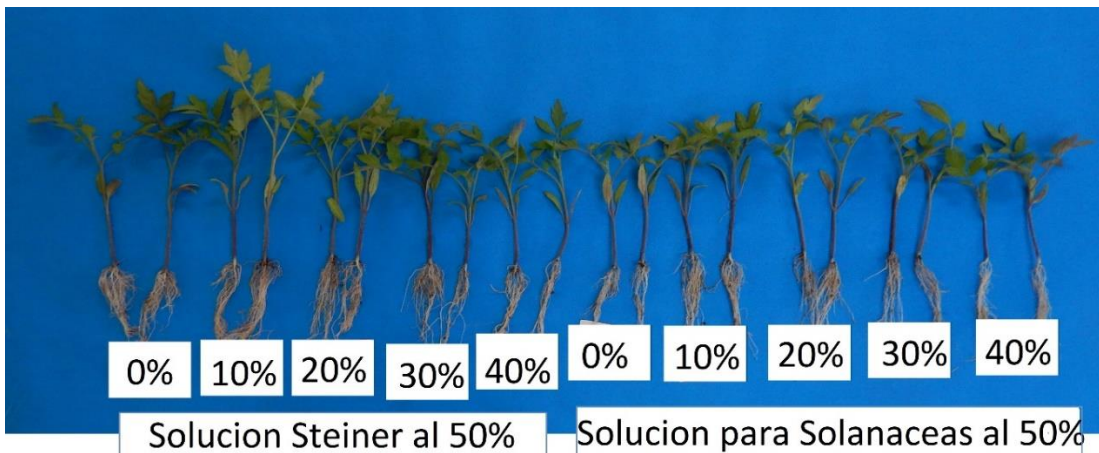


Figura 11. Comparación de los tratamientos después del lavado de raíz.

Peso seco del vástago (PSV)

El peso seco de vástago es un sinónimo de la biomasa acumulada y vigor en la plántula y es un componente importante a la hora de realizar el trasplante y posterior crecimiento y desarrollo de la planta.

Al realizar el análisis estadístico para esta variable se obtuvo diferencia significativa en el ANVA en la interacción de los factores solución nutritiva y mezclas de sustrato con guishe (Cuadro A19). En la Figura 12 se aprecia que la producción de plántula de tomate se vio afectada por los tratamientos probados de forma negativa. Es decir, que a medida que se incrementó la cantidad de subproducto en la mezcla de sustratos se redujo el peso seco de vástago regado con las dos soluciones nutritivas en prueba.

El mejor tratamiento numéricamente para esta variable de acuerdo a la Figura 12 se puede ubicar entre con las mezclas de sustratos conformadas con un 10 y 20% de guishe. Ya que mostraron una acumulación de biomasa similar a la mezcla comercial que fue donde se observaron los valores más altos para la variable.

Esto pudiera deberse a que la capacidad de la planta para acumular biomasa en sus órganos depende del suministro adecuado de N/K (Hernández *et al.*, 2009).

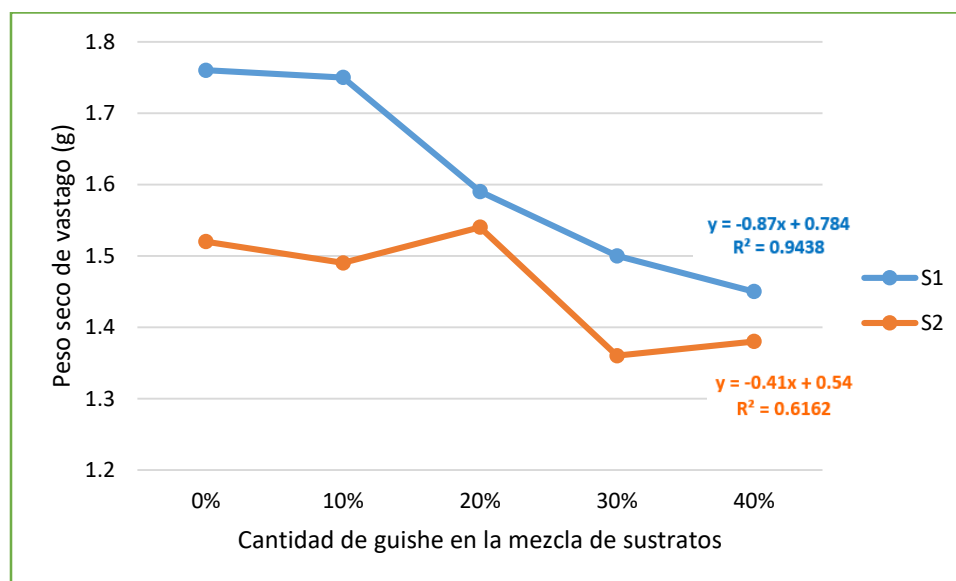


Figura 12. Peso seco del vástago de tomate al cultivarse en dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.

Peso seco de la raíz (PSR)

Al realizar el análisis estadístico para esta variable se obtuvo diferencia significativa en el ANVA en la interacción de los factores solución nutritiva y mezclas de sustrato con guishe (Cuadro A22).

En la Figura 13 se observa que el valor más alto se obtuvo, cuando se utilizó el guishe al 10% (60% de peat moss, 10% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita) y la solución Steiner al 50% (S1), con un promedio de 1.20 gramos, el cual supero con un 8.1% a las plántulas que se desarrollando en la misma mezcla de sustratos pero regadas con la solución para Solanáceas (S2).

Las plántulas que se desarrollaron en una mezcla convencional de sustratos (70% peat moss + 20% de perlita + 10% de vermiculita) y regadas con la solución S1 obtuvieron un promedio de peso seco de raíz de 1.14 g, las cuales fueron superadas por un 5.3%, por las plántulas que se desarrollando con la mezcla que contenía el 10% de guishe e irrigadas con la misma solución nutritiva.

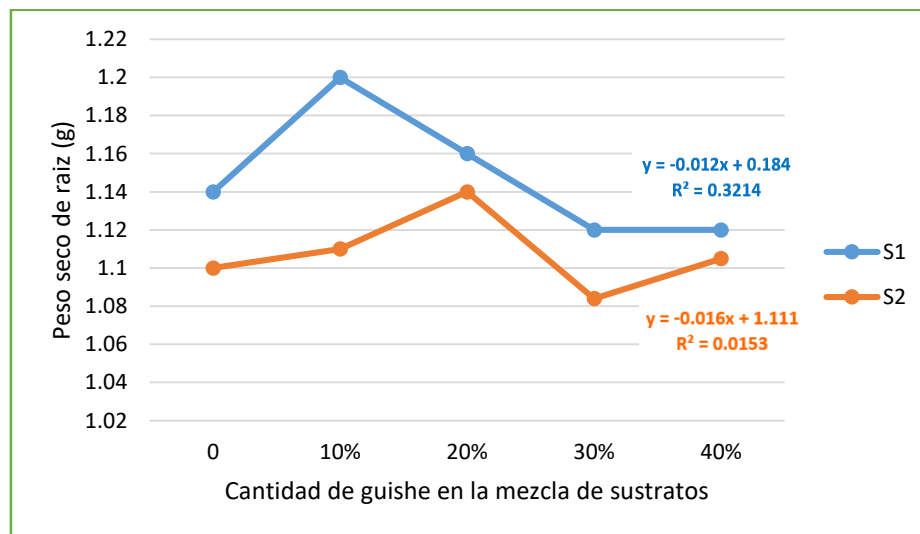


Figura 13. Peso seco de la raíz en la producción de plántula de tomate al cultivarse en dos soluciones nutritivas (S1 y S2) y cuatro mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.

Propiedades de las mezclas de sustratos

Potencial de hidrogeno (pH), Salinidad (CE) y Densidad Aparente (Da)

En la Figura 14 se aprecian los valores obtenidos del pH, CE y Da. Se observa que a medida que aumentó la cantidad de guishe en la mezcla de sustratos mayores fueron los valores para los parámetros pH y CE. Lo cual indica que el aporte de guishe de alguna manera afectó estos valores sin ser tóxico para la planta a pesar del alto contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina soluble, lignina insoluble, cenizas y extractivos donde se incluye a la sapogeninas (Carmona *et. al.* 2017)

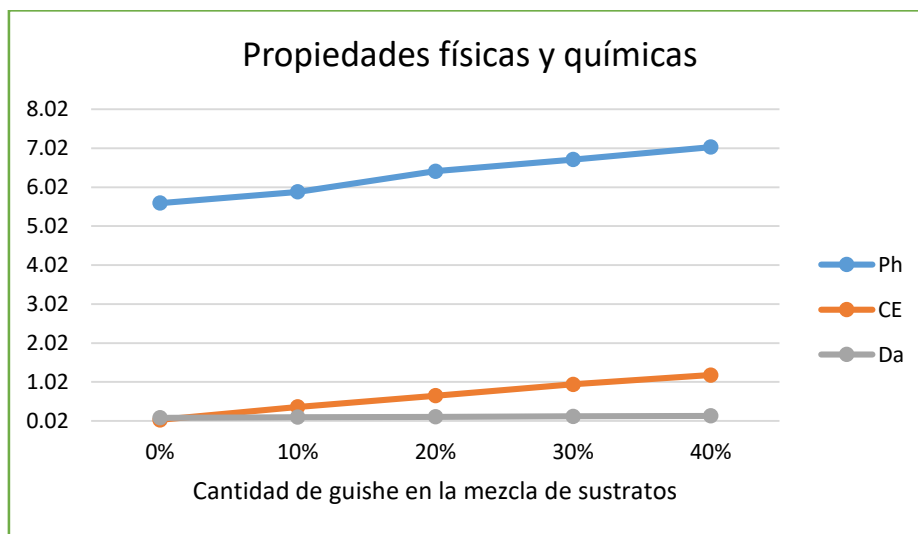


Figura 14. Valores de pH, CE y Da de las mezclas de sustratos.

En las mezclas utilizadas en la producción de plántula de tomate hidropónico en invernadero se encontró que el contenido de pH fluctuó entre 5.61- 7.03, lo cual denota que fue un material aceptable para ser utilizado, ya que los nutrientes estuvieron disponibles para la planta y los resultados lo demostraron. En cuanto a la CE (conductividad eléctrica) de las mezclas de sustratos los valores fluctuaron entre 0.05-1.2 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, lo que indica que los materiales fueron ideales para utilizarlos para semillero (Cuadro 5).

En relación a la Da (Densidad aparente) las mezclas utilizadas mostraron un rango de 0.12 a 0.15 g·cm³ lo cual también fue aceptable para el desarrollo de la plántula de tomate.

Cuadro 3. Valores de la conductividad eléctrica en sustratos (Ansorena,1994)

Muy bajo	0.75 mS·cm a 20 °c
Para semilleros y bandejas de repique	0.75 a 2
Apropiado para la mayoría de las plantas	2 a 3.5
Elevado para la mayoría de las especies	+ de 3.5

En el Cuadro 6 se presenta la correlación de las propiedades químicas (pH, CE) y la propiedad física (Da), con cada una de las variables evaluadas. Se observó una correlación positiva para la variable LR en tanto que para las variables AP, DT, LV, PFV, PFR, PSV, PSR la correlación fue negativa.

Cuadro 4. Correlación entre el pH, CE, Da del sustrato y el desarrollo de la plántula de tomate.

	AP	DT	LV	LR	PFV	PFR	PSV	PSR
pH	-0.37**	-0.48**	-0.25**	0.22**	-0.61**	-0.04 ^{NS}	-0.69**	-0.33**
CE	-0.37**	-0.48**	-0.25**	0.21**	-0.61**	-0.04 ^{NS}	-0.7**	-0.32*
Da	-0.36**	-0.47**	-0.25**	0.20**	-0.58**	-0.004 ^{NS}	-0.67**	-0.26*

**= altamente significativo, * = significativo, NS = No significativo. (pH=potencial de hidrogeno, CE=Conductividad Eléctrica, Da=densidad aparente, AP= apariencia de la plántula, DT=diámetro de tallo, LV=Longitud de vástago, LR=longitud de raíz, PFV= peso fresco del vástago, PFR=peso fresco de la raíz, PSV=peso seco del vástago, PSR=peso de la raíz).

Estos resultados son parecidos a los encontrados por Vásquez (2010) en su investigación de sustratos donde utilizó *Tillandsia recurvata* L. con diferentes moliendas, en los resultados obtenidos llegó a la conclusión que al aumentar los valores de las propiedades física y químicas existe una correlación negativa para las variables altura de la planta, diámetro de tallo y longitud de raíz, con los cuales se colabora que al amentar el valor de estas propiedades el crecimiento y desarrollo de la plántula se ven afectados.

CONCLUSIÓN

El subproducto de la lechuguilla conocido como “guishe” utilizado al 10, 20, 30 y 40% junto con los sustratos peat moss, perlita y vermiculita permitió el crecimiento y desarrollo aceptable de plántulas de tomate cultivados bajo un sistema hidropónico en invernadero.

Se observó que a mayor cantidad de guishe en la mezcla de sustratos fue menor la apariencia de la plántula, diámetro de tallo, longitud de vástago, peso fresco del vástago, peso fresco de raíz, peso seco del vástago y peso seco de raíz. Mientras que a mayor cantidad de guishe en la mezcla de sustratos mayor fue la longitud de la raíz.

Se obtuvo también en el experimento que el crecimiento y desarrollo de la plántula de tomate fue resultado del efecto combinado entre la solución nutritiva y las mezclas de sustratos con guishe de lechuguilla.

Sin embargo. la solución nutritiva con mejores respuestas fue la Steiner modificada al 50% y la cantidad de guishe en la mezcla de sustratos más idónea fue la de 10 y 20%.

LITERATURA CITADA

- Abad, M. y Noguera, P. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. In: Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales. C. Cadahia (Coord.). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, pp. 287-342.
- Abad, M. y Noguera, P. 2000. Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: Manual de cultivo sin suelo. M. Urrestarazu (Ed.). Manuales Universidad de Almería, servicio de publicaciones. 137-182 pp.
- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-prensa, Madrid, España. 172 p.
- Berlanga R., C. A., González L. L. A. y Franco L. H. 1992. Metodología para la evaluación y manejo de lechuguilla en condiciones naturales. Folleto Técnico No. 1 SARHINIFAP-CIRNE. Campo Experimental "La Saucedá" Saltillo, Coahuila, México. 22 p.
- Blando-Navarrete J., y Marín S.B, 2001. Determinación del Potencial Productivo de la Lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr) en el municipio de San Juan de Guadalupe, Dgo. Chapingo. 100 p.
- Burés, S., 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas, Madrid, 342 pp.
- Carmona, J., Morales-Martínez T., Mussatto, S., Castillo-Quiroz, D., & Ríos-González L. 2017. Propiedades químicas, estructurales y funcionales de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.). *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 8(42).
- Castellanos, J. Z, 2009. Manual de producción de tomate en Invernadero. México. Ediciones INTAGRI, 117 p.
- Castillo Q., D., O. Mares A. y E. E. Villavicencio G. 2011. Lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) planta suculenta de importancia económica y social de las zonas áridas y semiáridas de México Boletín de la Sociedad de Cactáceas y Suculentas. 23 p.
- Cerda S.P. 2012. Caracterización y aprovechamiento del residuo del tallado del *Agave lechuguilla* Torrey (guishe). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 63 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2006. Productos no forestales, Ixtle (Lechuguilla) Reporte de investigación. Revista electrónica de la Comisión Nacional Forestal. 27 p.
- Escobar, H; Lee, R. 2009. Manual de producción de tomate bajo invernadero. V2. 2 ed. Bogotá, Colombia. 180 p.
- Escudero, J. 1993. Cultivo Hidropónico Del Tomate. Curso Superior De Especialización Sobre Cultivos Sin Suelo. Almería, Pp 261- 297.
- Fonteno, W. C., 1996. Growing media: Types and physical/chemical properties. In: water, media and nutrition for greenhouse crops. David Wm. Reed (ed). Ball Publishing. Batavia, Illinois, USA.

- Hernández, María I.; Chailloux, Marisa; Moreno, V.; Mojena, M.; Salgado, Julia M. 2009. Relaciones Nitrógeno-Potasio en Fertirriego para el Cultivo Protegido del Tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) y su Efecto en la Acumulación de Biomasa Y Extracción de Nutrientes Cultivos Tropicales, vol. 30, núm. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas La Habana, Cuba. pp. 71-78.
- Herrera, J. 2002. Germinación y crecimiento de la planta En: Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Volumen IV. Editorial Universidad de Costa Rica. San José. 7-42 pp.
- Hoz-Zavala M. y Nava-Diguero D, 2017. Los Residuos de Agave como Factor de Corrosión del Suelo Donde se Vierten. Revista del Desarrollo Tecnológico. Vol 1. No 2,11-24.
- Lara H., A. 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Revista Terra, Vol 17, pp 221-229.
- Lemaire, F.; Fatigues, A.; Revière, L. M.; Charpentier, S. and Morel, P. 2003. Cultures en post et conteneurs, principes agronomiques et applications. 2^a ed. INRA. Paris. 210 p.
- Leskovar, D. 2001. Producción y ecofisiología del trasplante hortícola. Texas University, USA. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 25 pp.
- Magallán H.E. F. 1998. Las agaváceas de Querétaro. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. 155 p.
- Magdaleno-Villar, J. J.; Peña-Lomelí, A.; Castro-Brindis, R.; Castillo-González, A. M.; Galvis-Spinola, A.; Ramírez-Pérez, F.; Hernández-Hernández, B. 2006. Efecto de soluciones nutritivas sobre el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) REVISTA CHAPINGO SERIE HORTICULTURA, vol. 12, núm. 2,pp. 223-229. Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, México
- Martínez, F. X., 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. Actas de horticultura, 11:55-66.
- Monge, C. 2007. Evolución del crecimiento y desarrollo de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) Mill y chile dulce (*Capsicum annum*) Linn, mediante la utilización de seis sustratos y tres métodos de fertilización en el Cantón de San Carlos, Costa Rica. Tesis de licenciatura. Instituto tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, 95p.
- Nelson, P. 1998. Greenhouse operation and mangement. Prentice Hall, New Jersey. 637 p.
- Orozco, L.M., Nava, C. R., Medina, T. J. & de la Cruz, J. A. (1977). Investigación silvoagropecuaria de las zonas áridas de México, campo experimental Noria de Guadalupe. Monografía Técnico-Científica, UAAAN, 3, 182-265.
- Pulido S. y Escobar H. 2009. Propagación de tomate. En: Manual de producción de tomate bajo invernadero. Escobar H. y Lee R. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia. 180 p.

- Raviv, M., Chen, y Beardell, D.V., 1986. The influence of particle-size distribution in pinebarck: sand: brown coal potting mixes on water supply, aeration and plant growth. *Scientia Horticulturae*, 29: 1-14.
- Reyes, A., Aguirre R, Peña V, 2000. Biología y aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torrey. *Boletín de la sociedad Botánica de México*, 76 p.
- Roblero M. 2013. Germinación y desarrollo de *Cedrella odorata* L., en tres tratamientos utilizando composta de *Thillandsia recurvata* L. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, 67 p.
- Semarnat. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2012. Establecimiento y aprovechamiento de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr), 23 p.
- Serrada H.R, 2002. Viveros, introducción y cultivo de raíz desnuda. Escuela universitaria de ingeniería técnica forestal.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* XV. 2(15): 134-154.
- Urrestarazu, G. M. 2000. Manual de cultivo sin suelo. Universidad de Almería, España. Ediciones Mundi-Prensa, España.
- Valdés C.M. 1995. La gente del mezquite. CIESAS-INI. México, D. F. 279 p.
- Vavrina C.S. 2002. An introduction to the Production of Containerized Vegetable Transplant. Fact Sheet HS849. Horticulture Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. 17 p.
- Vázquez R.D. 2010. Utilización del heno de mota *Thillandsia recurvata* L como sustrato para la germinación de *Pinus cembroides* Zucc. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, 61 p.
- Zamora, M.C., Velasco, B.E., Cano P.A., y Arellano R.A. 2008. Manual que establece los criterios técnicos para el aprovechamiento sustentable de recursos forestales no maderables de clima árido y semiárido. 19 p.
- Zapata N., Guerrero F., Polo A., 2005, Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de sustratos de cultivo. *Agricultura técnica* versión impresa ISSN 0365-2807 Vol. 65 N° 4.
- Ibarra P. L. 1997. Efecto de tres sustratos orgánicos y una solución nutritiva en la producción de plántulas de tomate. Tesis Maestría. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coahuila.

ANEXOS

Cuadro A 1. *Análisis de varianza de la apariencia de la plántula.*

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P-valor
A	1	1.6547	1.6547	157.54**	<.0001
B	4	0.9832	0.2458	23.4**	<.0001
A*B	4	0.2426	0.0607	5.78**	0.0002
Error	261	2.7414	0.0105		
Total	299	5.8913			

Coeficiente de variación (CV) = 6.207768

Cuadro A2. *Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) de la apariencia de la plántula Factor A.*

Factor A	Descripción	Apariencia	Clasificación
S1	Solución Steiner al 50%	2.22	A
S2	Solución para solanáceas al 50%	2.08	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro A3. *Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) de la apariencia de la plántula Factor B*

Factor B	Descripción	Apariencia	Clasificación
M1	70% de peat moss, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	2.21	A
M2	60% de peat moss, 10% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	2.19	A
M3	50% de peat moss, 20% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	2.19	A
M4	40% de peat moss, 30% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	2.13	B
M5	30% de peat moss, 40% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	2.05	C

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro A4. Análisis de varianza para la variable diámetro de tallo.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P-valor
A	1	4.4165	4.4165	294.75**	<.0001
B	4	3.1452	0.7863	52.48**	<.0001
A*B	4	1.5515	0.3879	25.89**	<.0001
Error	261	3.9108	0.0150		
Total	299	13.4159			

CV=6.04

Cuadro A 5. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) en la variable diámetro de tallo Factor A.

Factor A	Descripción	Diámetro (mm)	Clasificación
S1	Solución Steiner al 50%	3.15	A
S2	Solución para solanáceas al 50%	2.9	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro A6. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) en la variable diámetro de tallo Factor B.

Factor B	Descripción	Diámetro (mm)	Clasificación
M1	70% de peat moss, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	3.16	A
M2	60% de peat moss, 10% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	3.12	A
M3	50% de peat moss, 20% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	3.04	B
M4	40% de peat moss, 30% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	2.94	C
M5	30% de peat moss, 40% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	2.89	C

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro A7. Análisis de varianza para la variable longitud del vástago.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados.	Cuadrado medio	F	P-valor.
A	1	372.2988	372.2988	36.05**	<.0001
B	4	250.0873	62.5218	6.05**	0.0001
A*B	4	65.9579	16.4895	1.6 ^{NS}	0.1756
Error	261	2695.6502	10.3282		
Total	299	3677.3246			

CV= 23.14

Cuadro A8. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) en la variable longitud de vástago Factor A

Factor A	Descripción	LV (cm)	Clasificación
S1	Solución Steiner al 50%	16.00	A
S2	Solución para solanáceas al 50%	13.77	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro A9. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) en la variable longitud de vástago Factor B

Factor B	Descripción	LV (cm)	Clasificación
M1	70% de peat moss, 20% de perlita y 10 % de vermiculita.	16.017	A
M2	60% de peat moss, 10% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	15.513	A
M3	50% de peat moss, 20% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	15.068	A
M4	40% de peat moss, 30% de guise, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	12.468	AB
M5	30% de peat moss, 40% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	13.373	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro A10. Análisis de varianza para la variable de longitud de la raíz.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P-valor
A	1	6.6871	6.6871	0.91 ^{NS}	0.3421
B	4	183.9831	45.9958	6.23 ^{**}	<.0001
A*B	4	29.0342	7.2585	0.98 ^{NS}	0.4172
Error	261	1927.1503	7.3837		
Total	299	2349.2107			

CV=24.4

Cuadro A11. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) en la variable longitud de la raíz
Factor B

Factor B	Descripción	LR (cm)	Clasificación
M1	70% de peat moss, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	11.69	C
M2	60% de peat moss, 10% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	11.58	C
M3	50% de peat moss, 20% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	13.02	A
M4	40% de peat moss, 30% de guishe, 20 % de perlita y 10% de vermiculita.	12.59	BA
M5	30% de peat moss, 40% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	12.5	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro A12. Análisis de Varianza para la variable peso fresco del vástago.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P-valor
A	1	25.5344	25.5344	299.4**	<.0001
B	4	24.4115	6.1029	71.56**	<.0001
A*B	4	8.8584	2.2146	25.97**	<.0001
Error	36	3.0703	0.0853		
Total	49	62.0011			

CV=6.0

Cuadro A13. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso fresco del factor A.

Factor A	Descripción	PFV(g)	Clasificación
S1	Solución Steiner al 50%	6.61	A
S2	Solución para solanáceas al 50%	5.18	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro A14. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso fresco del vástago factor B

Factor B	Descripción	PFV (g)	Clasificación
M1	70% de peat moss, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	6.58	A
M2	60% de peat moss, 10% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	6.60	A
M3	50% de peat moss, 20% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	6.16	B
M4	40% de peat moss, 30% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	5.03	C
M5	30% de peat moss, 40% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	4.95	C

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro A15. Análisis de Varianza para la variable peso fresco de la raíz.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P-valor
A	1	4.9506	4.9506	330.66**	<.0001
B	4	0.9503	0.2376	15.87**	<.0001
A*B	4	1.1252	0.2813	18.79**	<.0001
Error	36	0.5390	0.0150		
Total	49	7.8527			

CV=8.11

Cuadro A16. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso fresco de la raíz factor A

Factor A	Descripción	PFR (g)	Clasificación
S1	Solución Steiner al 50%	2.84	A
S2	Solución para solanáceas al 50%	2.2	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro A17. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso fresco de la raíz Factor B.

Factor B	Descripción	PFR (g)	Clasificación
M1	70% de peat moss, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	2.37	B
M2	60% de peat moss, 10% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	2.63	A
M3	50% de peat moss, 20% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	2.73	A
M4	40% de peat moss, 30% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	2.43	B
M5	30% de peat moss, 40% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	2.38	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro A18. Análisis de Varianza para la variable peso seco del vástago.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P-valor
A	1	0.3261	4.9506	179.57**	<.0001
B	4	0.4332	0.1083	59.63**	<.0001
A*B	4	0.0881	0.0220	12.13**	<.0001
Error	36	0.0654	0.0018		
Total	49	0.9256			

CV=3.51

Cuadro A19. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso seco del vástago Factor A.

Factor A	Descripción	PSV (g)	Clasificación
S1	Solución Steiner al 50%	1.62	A
S2	Solución para solanáceas al 50%	1.45	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro A20. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso seco del vástago Factor B

Factor B	Descripción	PSV (g)	Clasificación
M1	70% de peat moss, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	1.639	A
M2	60% de peat moss, 10% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	1.619	AB
M3	50% de peat moss, 20% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	1.566	B
M4	40 % de peat moss, 30 % de guise, 20 % de perlita y 10 % de vermiculita.	1.427	C
M5	30% de peat moss, 40% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	1.406	C

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro A21. Análisis de Varianza para la variable peso seco de La raíz.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P-valor
A	1	0.0203	4.9506	135.88**	<.0001
B	4	0.0213	0.0053	35.68**	<.0001
A*B	4	0.0086	0.0021	14.32**	<.0001
Error	36	0.0054	0.0001		
Total	49	0.0560			

CV=1.03

Cuadro A22. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso seco de la raíz Factor A.

Factor A	Descripción	PSR (g)	Clasificación
S1	Solución Steiner al 50%	1.15	A
S2	Solución para solanáceas al 50%	1.11	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro A23. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la variable peso seco de la raíz Factor B

Factor B	Descripción	PSR (g)	Clasificación
M1	7% de peat moss, 20 % de perlita y 10% de vermiculita.	1.121	B
M2	60% de peat moss, 10% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	1.156	A
M3	50% de peat moss, 20 % de guishe, 20 % de perlita y 10 % de vermiculita.	1.148	A
M4	40% de peat moss, 30% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	1.102	C
M5	30% de peat moss, 40% de guishe, 20% de perlita y 10% de vermiculita.	1.109	BC

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

