



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"

EFFECTO DE DIFERENTES SUSTRATOS EN LA GERMINACIÓN,
NUTRICIÓN Y DESARROLLO POSTEMERGENTE DE PEPINILLO
(*Cucumis sativus* L.), BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. *italica* L.), JITOMATE
(*Solanum lycopersicum* L.), TOMATE (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem.) y
PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A

JAIME GOMEZ GARCIA

Directora: Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza.

Asesor interno: Dr. Carlos Castillejos Cruz.

Unidad de Investigación en Sistemática Vegetal y Suelo.

Septiembre 2012.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
 "ZARAGOZA"
 DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
 P R E S E N T E.

Comunico a usted que el alumno **GOMEZ GARCIA JAIME**, con número de cuenta **304259584**, de la carrera de Biología se le ha fijado el día **18** del mes de **septiembre** de 2012 a las **12:00 hrs.** para presentar examen profesional, el cual tendrá lugar en esta Facultad con el siguiente jurado:

- PRESIDENTE M. en C. AMADEO BARBA ÁLVAREZ.
- VOCAL DRA. MARÍA DE LAS NIEVES RODRÍGUEZ MENDOZA
- SECRETARIO DR. CARLOS CASTILLEJOS CRUZ
- SUPLENTE M. en C. BALBINA VÁZQUEZ BENÍTEZ.
- SUPLENTE DRA. MARÍA SOCORRO OROZCO ALMANZA

El título de la tesis que presenta es: **EFFECTO DE DIFERENTES SUSTRATOS EN LA GERMINACIÓN, NUTRICIÓN Y DESARROLLO POSTEMERGENTE DE PEPINILLO (*Cucumis sativus* L.), BRÓCOLI (*Brassica olearacēae* var. *italica* L.), JITOMATE (*Solanun lycopersicum* L.), TOMATE (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem.) y PIMIENTO (*Capsicum annum* L.).**

Opción de titulación: tesis.

Agradeceré por anticipado su aceptación y hago propia la ocasión para saludarle.

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
 México, D. F., a 20 de agosto de 2012

Dr. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NÚÑEZ
 DIRECTOR
 ZARAGOZA
 DIRECCION



RECIBÍ
 OFICINA DE EXÁMENES
 PROFESIONALES Y DE GRADO

VO. BO.
 Dr. CARLOS CASTILLEJOS CRUZ
 JEFE DE CARRERA

**ESTA TESIS SE LLEVÓ A CABO EN EL COLEGIO DE POSTGRADUADOS
CAMPUS MONTECILLO DENTRO DE LA LÍNEA PRIORITARIA DE
INVESTIGACIÓN 4. AGRONEGOCIOS, AGROECOTURISMO Y
ARQUITECTURA DEL PAISAJE.**

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por brindarme un espacio dentro de sus aulas e instalaciones para lograr mi formación como biólogo.

Al Colegio de Postgraduados por abrirme sus puertas para la realización de esta tesis.

A la Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza, por haber aceptado ser mi directora de tesis y guiarme a lo largo de este tiempo, enseñándome el sentido de la responsabilidad, además por brindarme su tiempo, conocimiento, apoyo y amistad.

Al Dr. Carlos Castillejos Cruz, por ser un guía desde el primer momento en que trabajé a su lado, así como un ejemplo a seguir, por su amistad, consejos, confianza, conocimiento y que a pesar de tener un sinnúmero de ocupaciones siempre tuvo tiempo para mí.

A mis sinodales; M. en C. Amadeo Barba Álvarez, M. en C. Balbina Vázquez Benítez y a la Dra. María Socorro Orozco Almanza, por sus observaciones y sugerencias realizadas para la mejora de este trabajo.

Al laboratorio de nutrición vegetal del Colegio de Postgraduados, por haberme dado la oportunidad de hacer uso de sus instalaciones y equipos para la realización de mi trabajo.

A la Dra. Libia Trejo por las facilidades otorgadas durante mi estancia en el laboratorio y a la M. en C. Alejandrina por su apoyo y atenciones.

Al Dr. Julio Sánchez por ofrecerme la oportunidad de haber conocido el CP, por sus atenciones y haberme brindado parte del material que utilice para mi experimento.

Al personal técnico de laboratorio de nutrición vegetal; Roberto, Juan Manuel y especialmente a Wenceslao por tomarse el tiempo para brindarme conocimiento extra, así como a Guadalupe Amaya, por su amistad, atención, paciencia, conocimientos y momentos de alegría.

Al Sr. Juan Carlos Cedillo por toda su ayuda, consejos y experiencia durante mi trabajo en el invernadero y por ser un buen amigo.

Al laboratorio L-303 de la FES-Zaragoza, por dejarme hacer uso de sus instalaciones y material, así como al M. en C. Ramiro Ríos por el espacio y equipo prestados.

A Miguel Equihua, por su amistad, y ayuda que fue muy valiosa, brindada durante su estancia de verano en el COLPOS.

A Alonso Rentería, por estar al pendiente de mis plantas en el invernadero cuando yo no podía.

A la Dra. Nieves y a su familia por haberme abierto las puertas de su hogar y haciéndome una más, ofreciéndome las atenciones y un lugar cuando lo necesité.

Al Dr. Carlos Castillejos, la M. en C. Sonia Rojas Chávez y a su familia, por haberme hecho sentir parte de ella permitiéndome utilizar su hogar como lugar de trabajo y brindándome todas las atenciones en un sinnúmero de ocasiones.

A mis compañeros de generación porque en algún momento compartimos buenos momentos, pero especialmente a mis amigos incondicionales, Karen Giovanna Castillo Sánchez, Yaneli del Carmen Jiménez Jiménez, Korina Almazán Álvarez, Isabel Castro Rodríguez, Luis Ángel Salgado Ramírez y Alfredo Sinai Guillén Palma, por su apoyo y palabras de aliento, así como por todas las experiencias buenas, divertidas y no tan buenas vividas a lo largo de todo este tiempo dentro y fuera de la escuela.

A Karen Giovanna Castillo Sánchez, por los buenos y malos momentos juntos que me enseñaron a ser una mejor persona, así como por impulsarme a seguir siempre adelante.

A Yaneli del Carmen Jiménez Jiménez, porque estuvimos juntos desde el inicio de la carrera y a lo largo de ella, pero en especial por este último año lleno de emociones en donde tu ayuda, consejos y apoyo fueron una parte muy importante para que siguiera adelante y que este trabajo quedara finalizado.

A los biólogos Cristóbal Daniel Sánchez Sánchez, Christian Yair Medina Silva y Eduardo Pavel Hernández Cortés, por todos esos momentos de risas e incoherencias que hicieron que este trabajo fuera más ameno.

A mi familia; mis padres Marcela y Jaime a los que amo y admiro porque a pesar de todo han dado lo mejor de sí para que mi formación personal y profesional sea lo más completa posible y hacer de mí un mejor hombre. A mi abuelita Lugarda por todo su amor y atenciones desde que era un pequeño. A mi tía Soledad porque siempre me recibe con los brazos abiertos.

A mis amigos del deporte Joel, Jorge y en especial a Tenoch, Edna y Mayeed, por ayudar a distraerme pasando tantos años divirtiéndonos estando arriba de una bicicleta, haciendo viajes que fatigan el cuerpo pero liberan y enriquecen la mente y el espíritu.

A Dios por guiarme a lo largo de mi vida, dándome salud, fuerza, sabiduría y paciencia necesarias para poder concluir este trabajo, así como haber puesto en mi camino a tantas personas increíbles.

DEDICATORIA

A mi madre Marcela, por mantenerse firme todos estos años y darme todo su amor, cariño, sabiduría, apoyo incondicional y ser la mejor guía que puedo tener a lo largo de esta vida.

A mi padre Jaime, quién a pesar de no estar tan cerca siempre está pendiente de mi formación como ser humano y me brinda su amor, consejos y sabiduría.

A mi familia García porque juntos hemos pasado grandes momentos.

A mi familia Gómez que a pesar de que estamos distanciados los aprecio mucho.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1 Germinación y desarrollo.....	3
2.2 Modelos de crecimiento.....	4
2.3 Cultivos sin suelo e hidroponía.....	6
2.4 Nutrición vegetal.....	7
2.5 Sustratos.....	9
2.6 Características físicas y químicas que se consideran ideales en los sustratos.....	10
2.7 Descripción de los materiales a utilizar.....	11
2.7.1 Fibra de coco.....	11
2.7.2 Placa de germinación OASIS®.....	11
2.7.3 Turba o peat moss.....	12
2.7.4 Tezontle.....	13
2.7.5 Vermicompost.....	13
2.8 Horticultura y hortalizas.....	14
2.9 Características de las especies a utilizar.....	15
2.9.1 Pepinillo (<i>Cucumis sativus</i> L.).....	15
2.9.2 Brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i> L.).....	15
2.9.3 Jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	16
2.9.4 Tomate verde (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Hornem.).....	16
2.9.5 Pimiento (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	16
2.10 Semilleros y producción en invernadero.....	17

3. OBJETIVO GENERAL	19
3.1 Objetivos particulares.....	19
4. HIPÓTESIS	19
5. MATERIALES Y MÉTODOS	20
5.1 Evaluación de viabilidad.....	20
5.2 Preparación de semilleros.....	20
5.3 Germinación en semilleros.....	20
5.4 Análisis del desarrollo.....	21
5.4.1 Contenido de clorofila (SPAD).....	21
5.4.2 Diámetro de tallo en la base.....	21
5.4.3 Longitud de la parte aérea.....	21
5.4.4 Volumen de raíz.....	21
5.4.5 Área foliar.....	21
5.4.6 Peso seco.....	21
5.5 Análisis estadístico.....	22
5.6 Índices de crecimiento.....	22
5.7 Análisis nutrimental en plántulas.....	22
5.8 Análisis de los sustratos.....	23
5.8.1 Análisis Químico.....	23
5.8.2 Análisis físico.....	24
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	26
6.1 Evaluación de viabilidad.....	26

6.2 Germinación en semilleros.....	28
6.3 Análisis del desarrollo.....	35
6.3.1 Contenido de clorofila (SPAD).....	35
6.3.2 Diámetro del tallo en la base.....	36
6.3.3 Longitud de la parte aérea.....	38
6.3.4 Volumen de raíz.....	39
6.3.5 Área foliar.....	40
6.3.6 Peso seco.....	42
6.4 Índices de crecimiento.....	43
6.4.1 Razón de área foliar (RAF).....	43
6.4.2 Tasa de asimilación neta (TAN).....	48
6.4.3 Tasa de crecimiento relativo (TCR).....	52
6.5 Análisis nutrimental en plántulas.	56
6.5.1 Nitrógeno total.....	56
6.5.2 Fósforo.....	58
6.5.3 Potasio.....	60
6.5.4 Calcio.....	62
6.5.5 Magnesio.....	64
6.5.6 Azufre.....	66
6.5.7 Hierro.....	68
6.6 Análisis de los sustratos.....	70

6.6.1 Análisis químico.....	70
6.6.2 Análisis físico.....	80
7. CONCLUSIONES.....	84
8. LITERATURA CITADA.....	85
APÉNDICE 1.....	95
APÉNDICE 2.....	102

Cuadros

Núm.		Pág.
1	Porcentaje máximo de viabilidad de las semillas de las distintas especies.	28
2	Porcentaje de germinación en los semilleros con los distintos sustratos.	29
3	Propiedades químicas pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Conductividad Eléctrica (CE) y Materia Orgánica (MO) para los sustratos trabajados.	71
4	Concentración de iones solubles N, P, K, Ca, Mg y Fe para los sustratos trabajados.	79
5	Concentración de iones intercambiables K, Ca, Mg y Na para los sustratos trabajados.	79
6	Propiedades físicas: Densidad aparente (Da), Densidad real (Dr), Porosidad de aire (Pa) y Retención de humedad (Rh), para los sustratos trabajados.	80

Núm.	Figuras	Pág.
1	Porcentaje de germinación acumulada para las semillas de diferentes especies mediante la prueba de viabilidad por germinación directa en cajas petri.	26
2	Prueba de viabilidad por germinación directa en cajas petri.	27
3	Porcentaje de germinación acumulada para Pepinillo en semillero en los diferentes sustratos.	30
4	Porcentaje de germinación acumulada para Jitomate en semillero en los diferentes sustratos.	31
5	Porcentaje de germinación acumulada para Brócoli en semillero en los diferentes sustratos.	32
6	Porcentaje de germinación acumulada para Pimiento en semillero en los diferentes sustratos.	33
7	Porcentaje de germinación acumulada para Tomate verde en semillero en los diferentes sustratos.	34
8	Germinación en semilleros.	35
9	Contenido de clorofila en las especies trabajadas.	36
10	Diámetros de tallo de las especies trabajadas	37
11	Diámetro de tallo en Brócoli	37
12	Longitud de la parte aérea de las especies trabajadas.	38
13	Longitud de la parte aérea de Tomate verde.	39
14	Volumen de raíz de las especies trabajadas.	40
15	Volumen de raíz en Pepinillo.	40
16	Área foliar de las especies trabajadas.	41
17	Área foliar de Pimiento.	42
18	Peso seco de las especies trabajadas.	43
19	Razón de área foliar RAF para plántulas de Jitomate en los distintos sustratos empleados.	44
20	Razón de área foliar RAF para plántulas de Brócoli en los distintos sustratos empleados.	45

21	Razón de área foliar RAF para plántulas de Pimiento en los distintos sustratos empleados.	46
22	Razón de área foliar RAF para plántulas de Tomate verde en los distintos sustratos empleados.	47
23	Tasa de asimilación neta TAN para plántulas de Jitomate en los distintos sustratos empleados.	48
24	Tasa de asimilación neta TAN para plántulas de Brócoli en los distintos sustratos empleados.	49
25	Tasa de asimilación neta TAN para plántulas de Pimiento en los distintos sustratos empleados.	50
26	Tasa de asimilación neta TAN para plántulas de Tomate verde en los distintos sustratos empleados.	51
27	Tasa de crecimiento relativo TCR para plántulas de Jitomate en los distintos sustratos empleados.	52
28	Tasa de crecimiento relativo TCR para plántulas de Brócoli en los distintos sustratos empleados.	53
29	Tasa de crecimiento relativo TCR para plántulas de Pimiento en los distintos sustratos empleados.	54
30	Tasa de crecimiento relativo TCR para plántulas de Tomate verde en los distintos sustratos empleados.	55
31	Concentración de nitrógeno total en el tejido vegetal de las especies estudiadas en función del sustrato en que se trabajó.	58
32	Concentración de fósforo en el tejido vegetal de las especies estudiadas en función del sustrato en que se trabajó.	60
33	Concentración de potasio en el tejido vegetal de las especies estudiadas en función del sustrato en que se trabajó.	62
34	Concentración de calcio en el tejido vegetal de las especies estudiadas en función del sustrato en que se trabajó.	64
35	Concentración de magnesio en el tejido vegetal de las especies estudiadas en función del sustrato en que se trabajó.	66
36	Concentración de azufre en el tejido vegetal de las especies estudiadas en función del sustrato en que se trabajó.	68
37	Concentración de hierro en el tejido vegetal de las especies estudiadas en función del sustrato en que se trabajó.	70

RESUMEN

Se determinó el efecto de los sustratos fibra de coco, turba de *Sphagnum* (peat moss), tezontle, vermicompost y placa de germinación OASIS® sobre la germinación, nutrición y desarrollo postemergente de cinco especies con importancia hortícola: pepinillo, brócoli, jitomate, tomate y pimiento. Para ello, en cada uno de los sustratos se colocaron 100 semillas de cada especie, se evaluó su porcentaje de germinación, siete días después de que se alcanzó el máximo porcentaje de germinación. A las plántulas se les determinaron parámetros fisiológicos y morfológicos que consistieron en la medición de la cantidad de clorofila (lecturas SPAD), longitud de la parte aérea, grosor del tallo en la base, volumen radical, área foliar y peso seco. Las plántulas fueron cosechadas cuatro semanas después de la emergencia para determinarles, nitrógeno total y otros macro y micronutrientes (P, K, Mg, Ca, Fe, S). Para conocer el efecto del sustrato sobre la nutrición y el establecimiento del cultivo, se determinaron las propiedades físicas y químicas: densidad aparente y porosidad de aire, densidad real, retención de humedad, conductividad eléctrica (CE), pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), iones solubles e iones intercambiables. En las plántulas se calculó la razón de área foliar (RAF), tasa de asimilación neta (TAN) y la tasa de crecimiento relativo (TCR). Se obtuvo que en la germinación, los sustratos no presentan diferencias. Para el crecimiento de las plántulas se encontró que los diferentes sustratos presentaron diferencias significativas. El vermicompost resultó ser un sustrato apropiado para sustituir al peat moss ya que presentó características físicas y químicas que propiciaron un adecuado desarrollo y nutrición en todas las especies.

1. INTRODUCCIÓN

Desde la década de los setenta la producción de hortalizas se ha convertido en una alternativa agrícola importante para una buena parte de las regiones rurales de México. Las hortalizas contribuyen con poco más del 3% de la superficie agrícola sembrada, pero aportan el 16% del valor de la producción agrícola y más del 50% del valor de las exportaciones (Macías, 2003).

México se encuentra entre los principales productores y exportadores de hortalizas en el mundo, se ubica en el cuarto lugar a nivel mundial y el primero en el continente (Financiera Rural, 2008). Las hortalizas tienen una función social importante en México, ya que generan empleos desde la producción de almácigos hasta la selección y el empacado. Tomate, pepino, pimiento y brócoli se encuentran dentro de las principales especies hortícolas utilizadas para la exportación (Redondo, 1991). El tomate verde de cáscara es de gran importancia económica y tradicional, como un ingrediente básico en la cocina mexicana (SAGARPA, 2003).

En las últimas dos décadas, la producción de hortalizas ha cambiado de sistemas de producción tradicional a sistemas tecnificados, en donde la calidad de la plántula juega un papel crucial en la productividad. La producción de plántulas requiere de grandes cantidades de sustratos que en su mayoría son orgánicos (Berrospe-Ochoa, 2010).

Un sustrato es un material sólido distinto del suelo, puede ser natural, sintético, mineral u orgánico, que de forma pura o mezclada y colocado en un contenedor, permite el anclaje del sistema radical de la planta y desempeña por tanto, el soporte de la planta y puede o no proveerla de nutrimentos (Gastélum-Ferro, 2007).

Para que un sustrato pueda considerarse como ideal y la nutrición de las plantas sea adecuada, debe cumplir con ciertas características físicas como: a) retención de agua fácilmente disponible de 20-30% del volumen total, b) suficiente suministro de aire 20-30% volumen, c) distribución de las partículas que mantenga

las condiciones anteriores, d) baja densidad aparente 0.15g cm^{-3} , e) porosidad total $>85\%$ volumen y f) estructura estable, que impida la contracción o hinchazón del sustrato. Así como características químicas a) capacidad de intercambio catiónico, dependiendo la fertirrigación que sea permanente o intermitente de $20\text{meq } 100\text{g}^{-1}$ b) disponibilidad de nutrimentos asimilables, que dependen del tipo de sustrato así como de la disolución, c) salinidad $0.75\text{-}1.99\text{ dS m}^{-1}$ d) pH $5.5\text{-}6.8$ y e) velocidad de descomposición (Urrestarazu, 2004).

Actualmente la agricultura tecnificada, se basa en el trasplante de plántulas producidas en invernadero mediante el uso de charolas con alvéolos llenos con sustratos orgánicos que por lo general es turba de *Sphagnum* (peat moss) importada, que fomenta la dependencia y el aumento en los costos de producción. A nivel comercial las turbas presentan el problema de que sus características físicas y químicas no son proporcionadas ni garantizadas por el vendedor, además de un alto costo y la baja e inconstante disponibilidad en el mercado (Berrospe-Ochoa, 2010). Con base en lo antes planteado, el objetivo de la presente investigación es cuantificar el desarrollo de plántulas de diferentes hortalizas en función del sustrato utilizado.

2. ANTECEDENTES

2.1 Germinación y desarrollo

La germinación es la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables (Bustamante-Zepeda, 2010). Este proceso inicia después de la absorción de agua por parte de la semilla, lo anterior desencadena una secuencia de cambios metabólicos, que incluyen la activación del proceso respiratorio, la síntesis proteica, y la movilización de las reservas. A su vez, la división y alargamiento celular en el embrión produce la rotura de las cubiertas de la semilla, que generalmente es ocasionada por la emergencia de la radícula. Por ello, para que la germinación pueda ocurrir es necesario que se den algunos factores externos como son: un sustrato húmedo, suficiente disponibilidad de oxígeno que permita la respiración aerobia y una temperatura adecuada para los distintos procesos metabólicos y para el desarrollo de la plántula (Bidwell, 1979; Salisbury y Ross, 2000; Azcon-Bieto y Talon, 2008).

Desde que germina la semilla, conforme pasa el tiempo, la planta va creciendo. Sus células se dividen, multiplican y luego se alargan; el efecto por supuesto, es que la planta aumenta en tamaño y peso. El crecimiento bajo este concepto es meramente el aumento en la masa de la planta y es por tanto un fenómeno cuantitativo (Rojas, 1988). A medida que los organismos multicelulares crecen a partir del cigoto, no solo aumentan en volumen, sino también en peso, número de células, cantidad de protoplasma y complejidad (Salisbury y Ross, 2000).

Salisbury y Ross (2000), indicaron que cualquier característica del crecimiento se puede medir, pero existen dos mediciones que son las más habituales: los aumentos en volumen o en masa. Los aumentos en volumen (tamaño) se pueden calcular midiendo la longitud, el diámetro o el área. Los

aumentos en masa se miden a menudo cosechando la planta completa o la parte de interés, deshidratarla y pesarla.

El desarrollo puede definirse como cambio ordenado o progreso, a menudo hacia un estado superior, más ordenado o más complejo. Estos cambios pueden ser graduales o abruptos. Ciertos eventos importantes del desarrollo como la germinación, floración o senectud, aparecen súbitamente como un importante cambio en la vida o en el esquema de crecimiento de la planta (Bidwell, 1979).

Aunque el crecimiento y el desarrollo dan lugar a una gran variedad de formas, en realidad esto se debe a sólo tres procesos a nivel celular. 1) La división celular, durante la que una célula madura se divide en dos células independientes. 2) El crecimiento celular, en el que una de las dos células resultantes aumenta de volumen. 3) La diferenciación celular, en la que una célula, habiendo alcanzado su volumen definitivo, se especializa en una de varias formas posibles (Salisbury y Ross, 2000).

2.2 Modelos de crecimiento

Los modelos de crecimiento han sido desarrollados para conocer las causas que determinan el crecimiento de las plantas, debido a que las distintas especies vegetales presentan diferencias importantes en cuanto a su capacidad de crecimiento aún encontrándose bajo condiciones similares de cultivo. La fase de plántula, es un periodo vulnerable en donde se debe establecer la raíz que asegure absorción de agua, así como de nutrimentos, el crecimiento suele tener una dinámica exponencial y reflejar diferencias significativas entre especies (Villar *et al*, 2004).

El concepto central de estos modelos es la tasa de crecimiento relativo (TCR), que se define como el incremento de biomasa total por unidad de biomasa y tiempo. Debido a que, realizar medidas de la masa total de una misma planta en distintos intervalos de tiempo representa complicaciones, el método más usado para el cálculo de la TCR consiste en cosechar un número suficiente de plantas en

tiempos distintos, lo cual es una condición necesaria para poder calcular su TCR, que se obtiene con los promedios del peso en los dos tiempos distintos.

Debido a que algunas plantas herbáceas crecen en un día una cantidad de masa que es equivalente a casi la mitad de su peso total, se ha propuesto una clasificación ecológica de las estrategias vegetales en donde se agrupan a las especies dependiendo de su tasa de crecimiento (Grime, 1979): 1) especies competitivas, estas plantas presentan altas tasas de crecimiento (productividad), y como consecuencia de ello tienen una baja tolerancia al estrés; 2) especies tolerantes, que muestran tasas inherentes de crecimiento incluso en condiciones favorables y con una gran capacidad de soportar el estrés; 3) especies ruderales, que se caracterizan por tener resistencia a las perturbaciones, y aún así pueden presentar elevadas tasas de crecimiento durante los intervalos entre perturbaciones.

Los índices que se emplean en la medición de las tasas de crecimiento son:

- **La razón de área foliar (RAF)** es la relación de área foliar y peso total de la planta. Se expresa en m^2 (hoja) kg^{-1} (planta).
- **El área específica foliar (AEF)** es la relación de área foliar y peso de hoja. Se expresa en m^2 (hoja) kg^{-1} (hoja).
- **La proporción de hoja (PH)** es la relación de biomasa de hojas y la biomasa total de la planta. Se expresa en kg (hoja) kg^{-1} (planta).
- **La razón de área foliar (RAF)** es igual al producto de AEF por PH: $[\text{m}^2$ (hoja) kg^{-1} (planta)] = $[\text{m}^2$ (hoja) kg^{-1} (hoja)] \times $[\text{kg}$ (hoja) kg^{-1} (planta)]
- **La tasa de asimilación neta (TAN)** es la tasa de incremento en el peso seco de la planta por unidad de área foliar. Se expresa en kg (planta) m^{-2} (hoja) día^{-1} .
- **La tasa de crecimiento relativo (TCR)** es igual al producto de RAF por TAN: $[\text{kg}$ kg^{-1} $\text{día}^{-1}] = [\text{m}^2$ (hoja) kg (planta)] \times $[\text{kg}$ (planta) m^2 (hoja) $\text{día}^{-1}]$
- **La proporción de tallo (PT)** es la relación de biomasa de tallo y biomasa total de la planta. Se expresa en kg (tallos) kg^{-1} (planta).
- **La proporción de raíz (PR)** es la relación de biomasa de raíz y biomasa total de la planta. Se expresa en kg (raíz) kg^{-1} (planta).

- **El contenido de materia seca (CMS)** es la relación de peso seco y el peso fresco de la planta. Se expresa en kg (peso seco) kg^{-1} (peso fresco).

2.3 Cultivos sin suelo e hidroponía

El concepto de cultivo sin suelo incluye a todos aquellos métodos y sistemas que hacen crecer a las plantas fuera de su ambiente natural, el suelo. Por lo tanto considera los términos como hidropónico, semihidropónico cultivo sin tierra, aeropónico, entre otros. (Urrestarazu, 2004). Propiamente la hidroponía se define como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una disolución de elementos nutritivos esenciales y que en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material relativamente inerte, o simplemente la misma solución (Sánchez y Escalante, 1983).

La hidroponía, como un sistema de producción agrícola, presenta un gran número de ventajas, con respecto a otros sistemas del mismo género, pero al compararlo con el cultivo en suelo se pueden enumerar algunas como: balance ideal de aire, agua y nutrimentos, humedad uniforme, excelente drenaje, corrección fácil y rápida de la deficiencia o exceso de nutrimentos, buen control de pH, mayor rendimiento por unidad de superficie, mayor calidad del producto, cultivar repetidamente la misma especie, producción de varias cosechas al año, uniformidad en cultivos, ahorro en el consumo de agua, mayor limpieza e higiene, posibilidad de utilizar materiales nativos y/o de desecho, reducción en la contaminación del medio ambiente, entre muchas otras (Sánchez y Escalante, 1983).

Las desventajas que pueden presentar los cultivos hidropónicos son los elevados costos de capital inicial, algunas enfermedades como las producidas por *Fusarium* y *Verticillium*, se requiere cuidado con los detalles y el abastecimiento continuo de agua. La mayoría de estas desventajas pueden solucionarse, por ejemplo los costos del sistema pueden ser reducidos utilizando métodos

hidropónicos más sencillos así como el uso de variedades resistentes a enfermedades (Resh, 2001).

La hidroponía, como un sistema de producción agrícola, tiene gran importancia dentro de los contextos ecológico, económico y social. Dicha importancia se basa en la gran flexibilidad del sistema, es decir, por la posibilidad de aplicarlo con éxito, bajo muy distintas condiciones (ecológicas, económicas y sociales) y para diversos usos (Sánchez y Escalante, 1983).

2.4 Nutrición vegetal

La nutrición es el suministro y la absorción de componentes necesarios (nutrimentos) para el metabolismo y desarrollo de un organismo; en tanto que un nutrimento es aquel elemento esencial que es requerido para el ciclo de vida de un organismo, cuyas funciones no pueden ser sustituidas por ningún otro componente químico (Flores-Rojas, 2010).

Rojas (1988) indicó que los elementos minerales que se encuentran en las células vegetales pueden ser muchísimos, pero el hecho de encontrar un elemento en alguna planta no es suficiente para concluir que sea esencial para su ciclo de vida, ya que los minerales son absorbidos principalmente por intercambio iónico del medio, de acuerdo a leyes físicas y no a la importancia que tengan en el metabolismo. Para considerar que un elemento dado es esencial, es preciso demostrar:

- 1) Que la planta no puede completar su ciclo de vida normal en ausencia del elemento.
- 2) Que el elemento es específico, es decir, que no puede ser sustituido por otro en su acción fisiológica.

Se debe diferenciar entre elemento esencial y elemento funcional que es aquel que funciona de un modo preciso en el metabolismo, sea o no esencial. Los

elementos pueden funcionar: a) como constituyentes celulares; b) como enzimas o coenzimas; c) como antagonicos en el balance metabólico; d) amortiguadores de pH y e) como factores osmóticos. Todo elemento tiene su papel metabólico específico.

Los elementos que se consideran esenciales para todas las plantas son 17: Mo, Ni, Cu, Zn, Mn, B, Fe, Cl, S, P, Mg, Ca, K, N, O, C e H. Los primeros ocho elementos suelen denominarse elementos traza, oligoelementos o micronutrientes porque se requieren en concentraciones iguales o menores a 100mg/kg de materia seca. Los últimos nueve se conocen como macronutrientes, porque se necesitan en concentraciones de 1.000mg/kg de materia seca (Salisbury y Ross 2000).

Las dos características generales sobre la nutrición de las plantas son: todos los procesos fisiológicos dependen de la absorción de uno o más nutrientes en una forma apropiada para los procesos del desarrollo y el crecimiento depende de la asimilación de los nutrientes absorbidos, de su almacenamiento y de su metabolismo en la planta (Flores-Rojas, 2010). Una forma sencilla de correlacionar la nutrición y el crecimiento de las plantas, es medir la cantidad de clorofila la cual se puede realizar mediante las lecturas SPAD que se basan en el principio de que parte de la luz que llega a la hoja es absorbida por la clorofila y el resto que se refleja, entra en contacto con la celda detectora del SPAD-502 y es convertida en una señal eléctrica. La cantidad de luz captada por la celda es inversamente proporcional a la cantidad de luz utilizada por la clorofila, la señal es procesada, y la absorbancia es cuantificada en valores dimensionales que van de 0 a 99, por lo que las unidades SPAD serán siempre las mismas de acuerdo con el tono verde de las hojas. Se recomienda medir las unidades SPAD en diferentes hábitos de crecimiento, estados fenológicos y niveles de nutrición de las plantas para obtener regresiones que puedan utilizarse en invernadero y campo (Rodríguez *et al.*, 1998).

2.5 Sustratos

El término sustrato se aplica en horticultura a todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo, que de forma pura o en mezcla y colocado en un contenedor permite el anclaje del sistema radical sirviendo de soporte para la planta. Un sustrato puede intervenir en el proceso de la nutrición mineral de la planta, por ser químicamente activo o por adquirir esa modalidad con el tiempo (Ríos-González, 2010).

La tendencia actual en la investigación de sustratos para el crecimiento de plantas es la de buscar nuevos materiales, donde además de proporcionar mejores condiciones de crecimiento, se disminuyan los costos (Cruz-Crespo, 2010). Un buen sustrato puede reconocerse por sus propiedades físicas y químicas. En los sustratos la caracterización física es fundamental, mientras que la caracterización química viene a ser menos relevante debido a que los materiales propuestos deben ser relativamente inertes y los nutrimentos se suministran de manera exógena mediante una disolución nutritiva (Rodríguez-Guillén, 2006).

Los materiales que se utilizan para la elaboración de sustratos pueden dividirse en los que solo aumentan el espacio poroso y los que participan directamente en el suministro de nutrimentos a la planta, que generalmente son materiales orgánicos; también es posible clasificarlos con base en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, entre otras como se presenta a continuación:

I- Materiales orgánicos.

De origen natural: se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica (turbas, cortezas, maquique, entre otros).

De síntesis: son polímeros orgánicos no biodegradables como la espuma de poliuretano, el poliestireno expandido, que se obtienen mediante síntesis química.

Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas: la mayoría de los materiales de este grupo deben experimentar un proceso de composteo para su adecuación como sustratos (estiércoles, cascarilla de arroz, pajas de cereales, orujo de uva, corteza de árboles, aserrín y virutas de madera, bagazo de caña, cáscara de cacahuate, polvo y fibra de coco, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, papel periódico, entre otros).

II- Materiales inorgánicos (minerales).

De origen natural: se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, modificándose ligeramente, mediante tratamientos físicos sencillos (arenas, grava, tezontle, piedra pómez, entre otros.)

Transformados o tratados: se obtienen a partir de rocas minerales, mediante tratamientos físicos y químicos, que modifican notablemente las características de los materiales originales (agrolita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida, entre otros).

Residuos y subproductos industriales: comprende los materiales procedentes de distintas actividades industriales (escorias de alto horno, estériles de carbón, entre otros).

2.6 Características físicas y químicas que se consideran ideales en los sustratos

De las propiedades que presentan los sustratos para propiciar la germinación, establecimiento y desarrollo de las plantas, las físicas son consideradas como las más importantes, ya que si la estructura física de un sustrato no es la adecuada, difícilmente se puede mejorar una vez que se ha establecido el cultivo. Por otro lado, las propiedades químicas sí pueden ser modificadas aún cuando el cultivo ya se haya establecido. Un ejemplo es, si un sustrato presenta un pH, así como un nivel de nutrimentos inadecuado, éstos se pueden corregir añadiendo mejoradores

o abonos. Así mismo si existe, un exceso de sales solubles esto se puede remediar haciendo un lavado (o lixiviado) utilizando agua con bajo contenido de sales. (Cabrera, 1998; García *et al*, 2001; Valenzuela y Gallardo, 2002).

Dentro de las propiedades físicas que se consideran como ideales en un sustrato son: porosidad total de 70-85%; capacidad de retención de agua 55-70%; porosidad de aire 10-20%; agua disponible para las planta $\geq 30\%$ y un peso húmedo 1.0-1.5 kgL⁻¹. Considerando la porosidad de aire como la propiedad más importante, ya que es el espacio que ocupa el aire dentro del sustrato. Aunque esto también depende de la tolerancia de las especies a niveles bajos de aireación. Respecto a las propiedades químicas que se consideran como las más importantes están el pH en un intervalo de 5-6 y la conductividad eléctrica (CE) de 1.0-2.0 dsm⁻¹ (Cabrera, 1998).

2.7 Descripción de los materiales a utilizar

2.7.1 Fibra de coco

Se obtiene de la fibra presente en el fruto del cocotero. Tiene capacidad de retención de agua de hasta 3 o 4 veces su peso, pH ligeramente ácido (6.3-6.5) y una densidad aparente de 200 kg m³, porosidad mayor a 93%. Se recomienda lavar mediante inmersión en agua antes de su uso ya que contiene sodio y cloro en concentraciones considerables que ocasionan daño a las plántulas (Gastélum-Ferro, 2007). También tiene elevado contenido de potasio y bajo contenido en calcio, su degradación es lenta por lo que puede utilizarse en cultivos de ciclo largo (García-Correa, 1999).

2.7.2 Placa de germinación OASIS®

Este sustrato de cultivo está diseñado para drenar el exceso de agua de la base de la semilla, lo que permite un equilibrio óptimo de oxígeno, además de estar libre de patógenos y evitar enfermedades y problemas de insectos durante la germinación de las semillas. Es fácil de usar, sólo tiene que añadir agua y sembrar

la semilla, es ideal para los cultivos especialmente diseñados donde el equilibrio de agua y aire promueve el desarrollo de raíces vigorosas, además posee calidad constante ya que sus celdas no se compactan después del riego continuo, manteniendo la porosidad (OASIS,2011).

2.7.3 Turba o peat moss

Es el material más ampliamente usado como sustrato para plantas en contenedor, ya sea solo o en combinación con otros materiales orgánicos o inorgánicos. Por turba se entiende el producto de la acumulación de las partes muertas del musgo *Sphagnum* u otras plantas como los juncos, mismas que dado el exceso de humedad del lugar donde se acumulan y la falta de oxígeno, solo se ha descompuesto parcialmente. Esta materia orgánica se va depositando y, según la especie de las plantas existentes, tiene lugar la formación de diversos tipos de turba (Flores-Almaráz, 2005).

Este mismo autor señala que la calidad y utilidad de la turba está determinada por: la especie de planta de la cual es el residuo, el grado de descomposición, las variaciones en el clima local, el método de cosecha y las condiciones de humedad durante la cosecha. La turba de musgo *Sphagnum* (Peat moss) puede estar compuesta de varias especie de este musgo y debe contener un mínimo de 90% de materia orgánica.

En horticultura comercial el grado de descomposición se usa a menudo para clasificar las turbas en clara, oscuras o negras. La turba que normalmente se descompone más favorablemente, es la turba oscura o negra. Las turbas oscuras generalmente tienen estructura pobre para la aireación, pero mayor CIC y contenido de nutrimentos.

La turba de buena calidad tiene densidad aparente baja, elevada retención de humedad y buenas propiedades de espacio de aire, junto con una adecuada CIC y un pH manejable. Dentro de los inconvenientes que presenta la turba se

menciona que presenta un fenómeno de hidrorepulsión, cuando se deseca la capa superficial, y se estima que es difícil la rehidratación cuando el contenido de agua es inferior al 30%.

En cuanto a propiedades físicas el Peat moss presenta una densidad aparente de 0.11g/cm^3 , densidad real 1.56 g/cm^3 y una porosidad del 93%. Químicamente presenta un pH de 4.5, conductividad eléctrica de 2.29 dsm^{-1} y un contenido de materia orgánica de 93.8%.

2.7.4 Tezontle

El tezontle es un sustrato mineral de origen volcánico. Es uno de los sustratos más utilizados en los cultivos sin suelo en México, pero también uno de los menos conocidos en cuanto a sus características físicas y químicas. Para el "tezontle rojo" utilizado por productores de la región centro de México, se obtuvieron características como: índice granulométrico 44.65%, partículas 0.25-2.0mm 74.52%, densidad aparente 1.27 g/cm^3 , densidad real 2.65 g/cm^3 , espacio poroso total 45.30%, capacidad de aireación 5.14%, retención de humedad 40.16%, agua fácilmente disponible 2.86% y agua de reserva -1.0% (San Martín-Hernández, 2011).

2.7.5 Vermicompost

El vermicompost es el producto de una serie de transformaciones químicas, bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica a través de la humificación y mineralización por microorganismos al pasar por el intestino de las lombrices (Rodríguez-Navarro, 1999). La materia orgánica de la que se alimentan las lombrices, debe pasar por una etapa de acondicionamiento de los residuos, la cual implica una fase aeróbica y termófila (Cruz-Crespo, 2010). Las características tanto físicas como químicas de la vermicompost que señala Cruz-Crespo (2010), dependerán en gran parte de la naturaleza de los materiales que se hayan utilizado para su elaboración así como del manejo y condiciones que se le hayan dado.

2.8 Horticultura y hortalizas

La horticultura es la ciencia y arte de cultivar frutas, flores o plantas ornamentales y vegetales. Por otro lado, se le denomina hortalizas a aquellas plantas herbáceas o suleñosas que se destinan a la alimentación humana y pueden ser comidas sin sufrir un proceso industrial o semiindustrial previo. Agronómicamente, la importancia de la horticultura es muy grande pues comprende el cultivo de gran número de especies, subespecies y variedades, cada una de las cuales tiene características propias y por consiguiente requiere un tratamiento cultural distinto (Sarli, 1980).

México posee una riqueza de climas y ecosistemas que permiten la adecuada producción de hortalizas durante todo el año, lo cual constituye una de las principales ventajas ante otros competidores potenciales. En el país se producen alrededor de 70 variedades de hortalizas. Aunque las hortalizas se caracterizan por altos precios en el mercado, no todas sus variedades son igualmente beneficiosas y/o poseen los mismos rendimientos. En el ámbito geográfico la producción de hortalizas está concentrada en la región del Bajío y noroeste del país (Financiera Rural, 2008).

La propagación de hortalizas ha cambiado de sistemas de producción tradicional a sistemas tecnificados, en donde la calidad de la plántula juega un papel crucial para incrementar la productividad. En los últimos años ha existido la tendencia hacia la producción intensiva de plántulas para cultivo bajo invernadero (Berrospe-Ochoa, 2010).

Las principales hortalizas que se cultivan bajo invernadero son tomate, pimiento y pepino. Que presentan altos rendimientos y resultan rentables a pesar de sus costos elevados. Las ventajas de su producción son: demanda creciente, un mejor control ambiental, uso eficiente del agua, producción perenne, rendimientos superiores, y la generación de empleos constantes (Financiera Rural, 2008).

2.9 Características de las especies a utilizar

2.9.1 Pepinillo (*Cucumis sativus* L.)

México es el primer exportador mundial de pepino. A pesar de ser poco nutritivo con el casi 100% de agua, es rico en vitamina A y C, además contiene azufre, por lo que se utiliza mucho en la industria cosmética, así como por su gran combinación en ensaladas. La mayor parte de las variedades cultivadas de pepino son híbridas, habiéndose demostrado su mayor productividad (Anónimo, 2010a).

El pepino posee una gran diversidad de variedades. El tamaño, forma, color, su mayor o menor sabor amargo, son algunas de las características que diferencian unas de las otras. Sin embargo podemos clasificar todas las variedades en dos grandes grupos: pepino y pepinillos.

El pepinillo verde de Paris es una variedad pequeña destinada a encurtidos. Es de color verde claro en estado de aprovechamiento y amarillo cuando alcanza la madurez. Posee espinas de color negro además de estrías longitudinales y rugosidades. La sección de este pepino es triangular y su longitud máxima es de 9-12cm (Anónimo, 2010a).

2.9.2 Brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L.)

El brócoli es una de las crucíferas más comúnmente consumida en la dieta humana debido a que es un vegetal con aspectos nutritivos favorables, como la presencia de vitaminas, particularmente las que actúan como antioxidantes y fibra. Además es un potente inductor de las enzimas que ejercen un efecto protector frente a los agentes químicos carcinogénicos (Maldonado y Pacheco-Delahaye, 2003).

Se consume la inflorescencia cuando es compacta y de grano fino, características comerciales deseables.

Durante los 1980's, el cultivo del brócoli se introdujo a México lo cual también incrementó su consumo, mismo que adquirió gran popularidad debido a la

publicación de los resultados de investigaciones, las cuales le atribuyen beneficios para la salud, además que la zona centro del país presenta las condiciones ideales para su producción a bajo costo (Espinoza *et al.*, 2003).

2.9.3 Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.)

El jitomate, es la principal hortaliza que se produce y exporta en México, en 1995 comprendió el 35% el total producido. El estado de Sinaloa es el que presenta la mayor capacidad de cultivo. En nuestro país su importancia está dada por el número considerable de agricultores dedicados a esta actividad, a sus precios que pueden llegar a ser atractivos, a su aceptación por los consumidores y por la captación de divisas (Macías, 2003; Vargas-Oropeza y Martínez-Damian, 2004).

2.9.4 Tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem.)

El tomate verde de cáscara es una hortaliza de gran importancia económica y tradicional, se considera como un ingrediente básico en la cocina mexicana, debido principalmente a la elaboración de salsas y otros guisados hechos a partir de este fruto. Es producido prácticamente en todo México destacando la zona centro-sur y pacifico-norte (SAGARPA, 2003). El tomate verde no tiene aun mucha participación en los procesos de industrialización, solamente como condimento o materia prima principal.

2.9.5 Pimiento (*Capsicum annuum* L.)

En México, los frutos del género *Capsicum* representan una tradición cultural, ya que son uno de los vegetales más importantes utilizados como alimento y especia. Generalmente, en este país y Centroamérica a los pimientos se les conoce como chiles y en Sudamérica y las islas del Caribe, se les denomina ajíes. A los chiles (pimientos) se les considera una fuente buena de vitaminas A, C, E y compuestos polifenólicos (Molina-Quijada, 2009).

Una característica importante del mercado global de chile es que los principales países productores no son, a excepción de México y España, los más

destacados exportadores, ya que éstos destinan casi la totalidad de su producción al mercado interno.

2.10 Semilleros y producción en invernadero

Un semillero también llamado almácigo, plantero o vivero es un área de superficie reducida ubicada en un lugar adecuado que debe presentar facilidad de manejo, en donde se siembran las semillas y se les proporciona la atención requerida durante la germinación y emergencia de la plántula, desde los estadíos iniciales de crecimiento hasta el momento del trasplante y colocación en un sitio definitivo donde completarán su ciclo productivo. En esta etapa los cuidados son de vital importancia ya que de ello depende la calidad y uniformidad del material vegetal reproducido (Anónimo, 2002; Anónimo, 2010b y Antonio, 2008).

Aunque las hortalizas pueden sembrarse directamente en campo, para algunas de ellas es conveniente la práctica del trasplante. Principalmente por ser muy pequeñas, tener un desarrollo inicial lento y un alto costo de la semilla, por ello la producción de plántulas en semilleros presenta ciertas ventajas entre las que destacan:

- 1) La germinación y desarrollo de la plántula se realiza en condiciones de humedad y temperatura adecuada; 2) se mejora la capacidad de generar un sistema radical; 3) un mejor manejo de la semilla y la oportunidad de seleccionar las plantas adecuadas para ser sembradas en campo o invernadero; 4) se puede tener control de crecimiento de la plántula a través de prácticas de manejo; 5) mayor precocidad y homogeneidad del cultivo; 6) si el semillero se utiliza en un ambiente protegido se facilita el control de plagas y enfermedades; 7) en caso de pérdidas ocasionadas por clima, manejo y enemigos naturales se puede disponer de plántulas de igual tamaño; 8) al poder reducir el tiempo de permanencia del cultivo en el terreno definitivo, se logra una mayor rentabilidad del terreno y 9) el número de semillas utilizadas es menor por lo que el costo por hectárea disminuye. Debido a que la elaboración de semilleros se realiza en bandejas, el

sustrato es un factor muy importante ya que determina en gran medida la calidad del semillero (Quesada y Méndez, 2005b y Anónimo, 2010b).

La producción de semilleros generalmente se realiza en ambientes protegidos que forma parte de lo que se conoce como agricultura protegida, donde se manejan técnicas de producción que permiten modificar el ambiente natural de desarrollo en los cultivos, y alcanzar un crecimiento óptimo, un alto rendimiento, y una producción en fechas en las que los cultivos tradicionales no pueden obtenerla.

Los invernaderos representan la herramienta clave de la agricultura protegida en donde se pueden señalar aspectos importantes como: la eficiencia para proporcionar los principales elementos de acuerdo con las exigencias fisiológicas del cultivo; así como la producción de plantas independientemente de la época y de las estaciones del año, así como la funcionalidad, que se refiere a la obtención de un mayor aprovechamiento del invernadero, tanto desde el punto de vista técnico como económico (Ortega-Martínez, 2010).

3. OBJETIVO GENERAL

Seleccionar un sustrato alternativo al peat moss con base en el desarrollo, nutrición y calidad de plántulas de diferentes hortalizas para la producción de almácigos a nivel comercial.

3.1. Objetivos particulares

Comparar el desarrollo de la plántula de hortaliza en función del sustrato utilizado (tezontle, fibra de coco, peat moss, vermicompost y placa de germinación OASIS®).

Cuantificar la absorción nutrimental de las plántulas en función del sustrato en donde se desarrolló

Seleccionar un sustrato alternativo al peat moss en la producción de plántulas.

4. HIPÓTESIS

Por su origen, estructura, intercambio catiónico y gaseoso el vermicompost será de los sustratos seleccionados el que pueda sustituir al peat moss en la producción de almácigos de hortalizas.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Evaluación de viabilidad

Se seleccionaron lotes de cien semillas de pepinillo verde de Paris, brócoli, jitomate bola, tomate verde y pimiento california wonder, marca “Rancho Los Molinos”, y se realizó una prueba de viabilidad mediante el método de germinación directa, colocando cien semillas por especie sobre un papel filtro humedecido con agua destilada dentro de cajas petri. Cada día se observaron las cajas y se contabilizó el número de semillas por especie que germinaron y se estableció la viabilidad.

5.2 Preparación de semilleros

Los semilleros consistieron en charolas de plástico de 200 cavidades, las cuales fueron lavadas y desinfectadas con hipoclorito de sodio comercial al 10% por cinco minutos. Las charolas fueron colocadas dentro de un invernadero tipo túnel para posteriormente ser preparadas con los sustratos elegidos que consistieron en fibra de coco, tezontle, peat moss, vermicompost además de placa OASIS®. Posteriormente se regaron con agua corriente hasta que los sustratos quedaron completamente hidratados.

5.3 Germinación en semilleros

De cada una de las especies seleccionadas se sembraron cien semillas, una semilla por cavidad en las charoleras con los distintos sustratos. El riego se realizó cada 12 horas con agua corriente durante la germinación. Cada día se observaron las charolas y se contabilizó el número de semillas por especie que germinaron, con estos datos se construyeron gráficas de porcentaje de germinación acumulada que permitió establecer el tiempo de germinación y el momento en el que se alcanzó el mayor porcentaje.

Nueve días después de la siembra las plántulas fueron regadas cada 12 horas con disolución nutritiva Steiner al 25 % durante una semana, transcurrido este tiempo el riego se realizó con la misma disolución pero ahora al 50%, durante el tiempo restante del experimento.

5.4 Análisis del desarrollo

Para analizar el desarrollo, siete días después de que se alcanzó el mayor porcentaje de germinación se cosecharon lotes de diez plántulas, de cada una de las especies para determinar los siguientes parámetros:

5.4.1 Contenido de clorofila (SPAD)

Se cuantificó en las hojas utilizando un equipo SPAD marca Konica Minolta mod.502.

5.4.2 Diámetro de tallo en la base

Se evaluó utilizando un vernier digital marca “Truper®” graduado en milímetros.

5.4.3 Longitud de la parte aérea

Se obtuvo midiendo desde la base del tallo hasta el ápice de las hojas utilizando una regla graduada en centímetros.

5.4.4 Volumen de raíz

Para ello se separó la raíz de la parte aérea de la plántula y se evaluó mediante el método de sumersión en agua dentro de una probeta de 10 mL.

5.4.5 Área foliar

Se separaron las hojas del tallo y la lectura se hizo utilizando un integrador de área foliar LI-COR-MODLI-3100.

5.4.6 Peso seco

El material vegetal se colocó dentro de bolsas de papel estraza y se metieron a secar a una estufa marca RIOSSA modelo HCF 125 por 48 horas a 70°C, transcurrido este tiempo se sacó el material y se cuantificó el peso con una balanza analítica.

5.5 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos del análisis del desarrollo de las plántulas fueron analizados estadísticamente con un análisis de varianza y una prueba de Tukey con 0.001 de confianza.

5.6 Índices de crecimiento

Los datos obtenidos del área foliar y peso seco se utilizaron para analizar el crecimiento de las plántulas, se calcularon los índices de: razón de área foliar (RAF), que es la relación de área foliar y peso total de la planta, se expresa en m^2 (hoja) kg^{-1} (planta), tasa de asimilación neta (TAN) que es la tasa de incremento en el peso seco de la planta por unidad de área foliar, se expresa en kg (planta) m^{-2} (hoja) día^{-1} y La tasa de crecimiento relativo (TCR) es igual al producto de RAF por TAN: $[\text{kg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}] = [\text{m}^2 \text{ (hoja) kg (planta)}] \times [\text{kg (planta) m}^2 \text{ (hoja) día}^{-1}]$.

5.7 Análisis nutrimental en plántulas

El contenido de nutrimentos se determinó utilizando la parte aérea de las plantas que no se ocupó para el análisis del desarrollo. Después de transcurridas cuatro semanas dicha porción se colocó en bolsas de papel de estraza y fue secada dentro de una estufa marca RIOSSA modelo HCF 125 a 70°C hasta que los tallos estuvieran quebradizos, posteriormente se procedió a realizar el análisis de contenido nutrimental considerando los siguientes elementos: N, P, K, Ca, Mg, S y Fe. La determinación del nitrógeno total se realizó por el método de microkjeldahl, en tanto que el resto de los elementos se determinaron por medio de digestión ácida. La identificación de los nutrimentos se obtuvo por medio de AES-ICP (Inductively Coupled Emission Spectrometer) modelo Liberty 11 secuencial, marca Varian.

5.8 Análisis de los sustratos

5.8.1 Análisis Químico

La determinación de las propiedades químicas de los sustratos consistió en: pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de materia orgánica, iones solubles (N, P, K, Ca, Mg y Fe) y iones intercambiables (Na, K, Ca y Mg).

Para valorar pH y CE en fibra de coco y peat moss se realizó el método volumétrico, utilizando una probeta de 250 mL en la cual se vertieron 150 mL de sustrato y 140 mL de agua destilada cuidando que todo el sustrato quedara sumergido, y se dejó reposar por 30 minutos, transcurrido este tiempo con el sobrenadante se realizó la medición de estos parámetros utilizando un potenciómetro CONDUCTRONIC PC18. Para el tezontle y el vermicompost se pesaron 10 g de sustrato y se añadió 5 mL de agua destilada, posteriormente se pusieron en agitación en un agitador de vaivén EBERBACH G0009B durante 30 minutos, finalmente se utilizó el potenciómetro para la medición.

La capacidad de intercambio catiónico se cuantificó por el método de acetato de amonio modificado para los sustratos que presentaron pH menor a 7 y por el método de acetato de sodio para los que presentaron pH 8.2 o superior.

El porcentaje de materia orgánica se determinó en Vermicompost, Peat moss y Fibra de coco por el método Walkley y Black (Black, 1968).

Para los iones solubles el N se determinó por método microkjeldahl. P, K, Ca y Mg, se obtuvieron mediante la elaboración de pastas de saturación, para el Fe se empleó el método de DTPA. Para los iones intercambiables Na, K, Ca y Mg se utilizó el método de acetato de amonio. La identificación de todos los iones se realizó con un equipo AES-ICP (Inductively Coupled Emission Spectrometer) modelo Liberty 11 secuencial, marca Varian.

5.8.2 Análisis físico

Las propiedades físicas de los sustratos consistieron en: densidad aparente, densidad real, porosidad de aire y retención de humedad se efectuaron utilizando los métodos para análisis de sustratos propuestos por Ansorena (1994).

Para densidad aparente y porosidad de aire se utilizaron macetas comerciales de 1L de capacidad, las cuales se pesaron y llenaron hasta el borde a intervalos de 100 mL con sustrato secado a 105°C. Se aplicó un peso de 650 g sobre el sustrato y se agregó más cuando el sustrato se reducía. Las macetas con sustrato se pesaron de nuevo y se colocaron en una bandeja de plástico, a la cual se le fue agregando agua cada media hora hasta que su nivel coincidiera con el nivel del sustrato dentro de la maceta para que entrara lentamente por los orificios de la base de la maceta y el sustrato se humedeciera por capilaridad. Una vez saturados los sustratos se sacaron las macetas del agua para drenar el sustrato, este procedimiento se repitió en tres ocasiones. Después de la última saturación, y manteniendo las macetas dentro del agua se taparon los orificios para evitar que drenara el agua. Se sacaron del agua y se secaron por la parte exterior. Se colocaron sobre un recipiente colector y se destaparon los orificios para dejar drenar el sustrato durante 30 minutos. Finalmente se midió en nivel de agua colectado.

La densidad aparente se calculó:

$$D_a = (\text{Kg L}^{-1}) = \frac{P_2 - P_1}{V}$$

En donde: P_2 = peso de la maceta + peso del sustrato, g

P_1 = peso de la maceta, g

V = volumen de la maceta, L

La porosidad de aire se calculó a partir de:

$$P_a = (\%) = 100 \frac{V_1}{V_2}$$

En donde: V1 = volumen del agua colectado, mL

V2 = volumen del sustrato, mL

La densidad real se calculó pesando un matraz aforado de 100 mL (Pm), se añadió una cantidad de sustrato secado a 105°C y se pesó nuevamente (Ps). Se añadieron 50 mL de agua destilada y hervida al matraz arrastrando hacia el interior las partículas del sustrato que se quedaron en las paredes. Tras dejar reposar durante 24 horas se expulsó el aire, hirviendo lentamente el contenido del matraz durante unos minutos y agitándolo suavemente para evitar la pérdida de sustrato por la formación de espuma. Se enfrió y se aforó con agua destilada previamente hervida y enfriada a 20°C. Se pesó (Psa) para después vaciarlo y limpiarlo. Se vertieron 50 mL de agua destilada hervida. Se puso en baño termostático a 20°C y se aforó con agua destilada hervida y enfriada a 20°C. Una vez que los matraces se sacaron de este baño, se secaron y pesaron (Pa). El valor de la densidad real se obtuvo mediante:

$$dr = \frac{da (Ps - Pm)}{(Ps - Pm) - (Psa - Pa)}$$

En donde: da = densidad del agua a 20°C

Los otros componentes de la fórmula se explican en el texto.

La retención de humedad coincidió con el contenido en agua del sustrato tras la medida de la porosidad de aire, por lo que al término de esta medición se pesó la maceta con el sustrato humedecido a capacidad de contenedor, a ese valor se le restó el peso del sustrato seco. El valor de la retención de humedad se obtuvo mediante:

$$Rh(\%) = \frac{PSH - PSS}{V} (100)$$

En donde: PSH = peso del sustrato húmedo, g

PSS = peso del sustrato seco, g

V = volumen de la maceta

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Evaluación de viabilidad

Los resultados de la prueba de viabilidad se sintetizan en la Figura 1, donde se aprecia que la mayor germinación para pepinillo, jitomate, brócoli y tomate se alcanzó después de cinco días y no llegó al 100 %. Para el caso del pimiento la germinación fue paulatina y al treceavo día después de la siembra, alcanzó un porcentaje de 81% estos datos de germinación se pueden aplicar para inferir la viabilidad de las semillas tal y como lo establecieron Hartmann y Kester (1991), autores que indicaron que una de las pruebas para determinar la viabilidad es la germinación directa, lo anterior también es considerado por otros autores como Camacho (1994). Esta prueba es preferida sobre aquellas que son destructivas como la colorimétrica o la del cloruro de tetrazolio (TTC) cuando se trabaja con semillas de especies que tienen importancia económica.

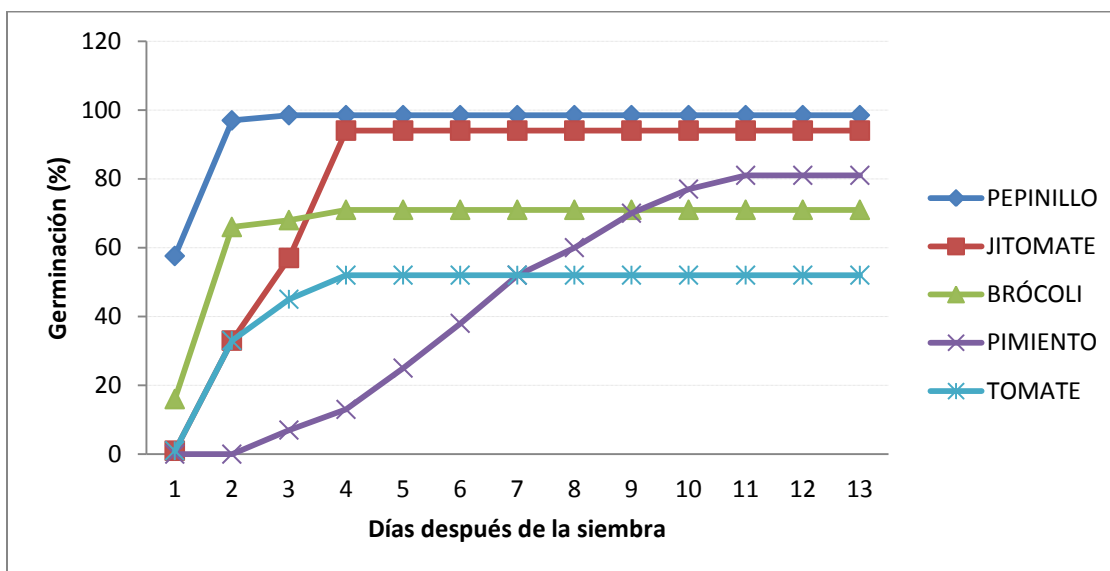


Figura 1. Porcentaje de germinación acumulada para las semillas de diferentes especies mediante la prueba de viabilidad por germinación directa en cajas petri.

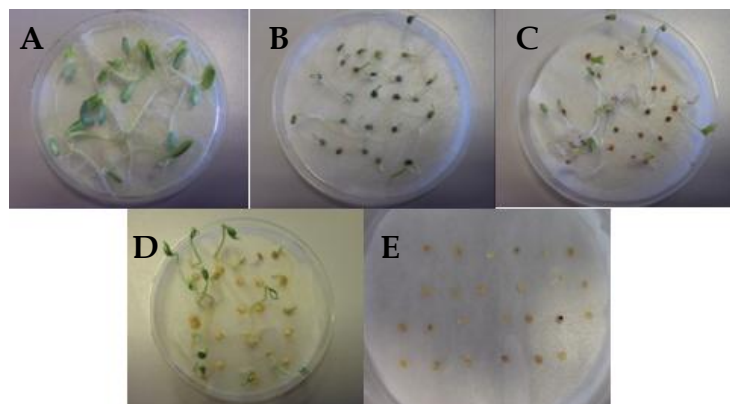


Figura 2. Prueba de viabilidad por germinación directa en cajas petri: **A)** Pepinillo, **B)** Jitomate, **C)** Brócoli, **D)** Pimiento y **E)** Tomate verde.

Todas las especies presentaron una germinación por encima del 50% en un periodo de 13 días, que fue el tiempo en el cual no se registró un aumento de semillas germinadas (Cuadro 1). Además se observó que las semillas de pepinillo y jitomate son las que alcanzaron un mayor porcentaje 98 y 94% respectivamente, seguidos de pimiento 81%, brócoli 71% y tomate verde 52%. Estos valores elevados corresponden a especies domesticadas, que se comercializan de forma masiva y cuyas propiedades como la pureza, viabilidad y germinación están establecidas con un margen de error muy bajo (Pickershill, 2007).

A pesar de lo anterior las pruebas de germinación directa son recomendables para las semillas hortícolas ya que permiten evaluar la capacidad y potencial de germinación a la hora de la siembra de manera sencilla y no destructiva, aspectos que son adecuados debido a que estas semillas suelen tener costos elevados. Por esta razón, no es indispensable utilizar pruebas de viabilidad de otro tipo (Rodríguez *et al*, 2008).

Cuadro 1. Porcentaje máximo de viabilidad de las semillas de las distintas especies.

	Cultivo				
	Pepinillo	Jitomate	Brócoli	Pimiento	Tomate verde
Viabilidad (%)	98	94	71	81	52

6.2 Germinación en semilleros

En el Cuadro 2, se observa que el sustrato de referencia (peat moss) presentó valores de porcentaje de germinación considerados elevados (> 60%), para cada una de la especies trabajadas, sin embargo al comparar dichos valores con los obtenidos al germinar las especies en otros sustratos, se encuentra que el tezontle representó una buena alternativa como sustrato para la germinación de las cinco especies sembradas y otros como vermicompost y placa OASIS® tuvieron resultados similares. En esta fase del experimento se puede apreciar que la fibra de coco solo fue adecuada para pepinillo, jitomate y brócoli mientras que para pimiento y tomate solo permite la germinación de poco menos de la mitad de las semillas. Esto se debe a que las semillas son pequeñas y la fibra de coco retiene mayor cantidad de agua lo que puede provocar condiciones anóxicas que impiden la activación del metabolismo de la semilla, sobre todo de aquellas que están más profundamente enterradas en el sustrato (Ortega-Martínez, 2010).

Los sustratos utilizados son medios que permiten oxigenación, imbibición de agua y condiciones de temperatura adecuadas para la germinación, ya que este proceso en sus tres fases reconocidas, únicamente requiere presencia de agua, oxígeno y temperatura adecuada (Salisbury y Ross, 2000); que para pepinillo y jitomate todos los sustratos brindaron estas condiciones. Sin embargo el vermicompost para brócoli, así como fibra de coco para pimiento y tomate verde, no propiciaron estas condiciones.

Cuadro 2. Porcentaje de germinación en los semilleros con los distintos sustratos FC= Fibra de Coco, PM= Peat Moss, TZ= Tezontle, VC= Vermicompost, OA= Placa OASIS® para las especies elegidas a los 16 dds.

Germinación (%)					
Sustratos	Pepinillo	Jitomate	Brócoli	Pimiento	Tomate verde
FC	92	80	85	44	48
PM	97	87	83	79	67
TZ	96	95	85	83	66
VC	93	87	59	90	53
OA	93	93	72	76	60

Pepinillo

Para pepinillo (Figura 3) se observa que en todos los tratamientos la germinación inició al segundo día de siembra y alcanzó su máximo porcentaje al séptimo día. El sustrato donde fue mayor la germinación corresponde a peat moss, sin embargo no muestra una diferencia significativa con respecto a los otros sustratos utilizados. El pepinillo es una hortaliza que se caracteriza por presentar dos cotiledones de mayor tamaño en comparación a las demás especies estudiadas, lo cual favorece la germinación aún cuando las condiciones físicas del sustrato no siempre sean las idóneas, tal y como lo documentaron Quesada y Méndez (2005b).

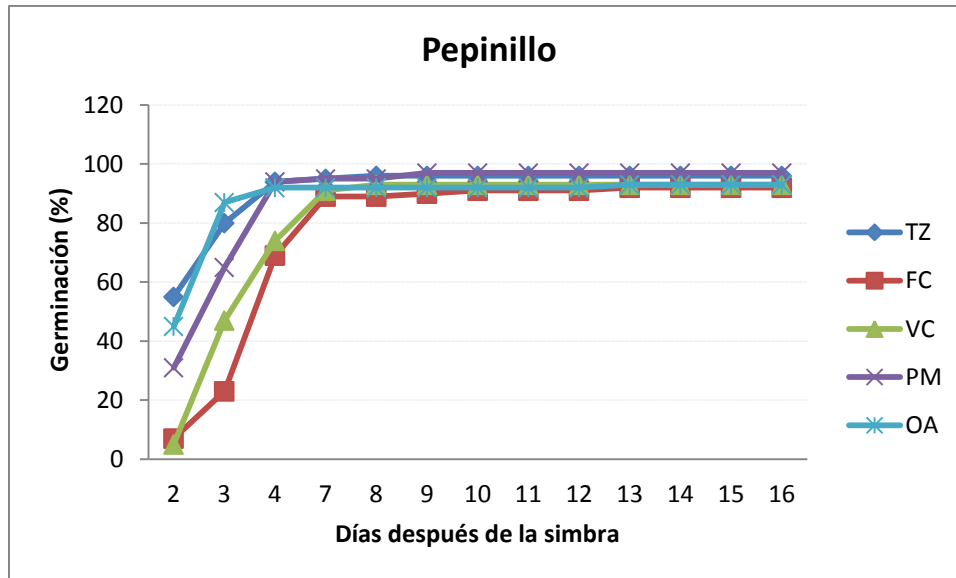


Figura 3. Porcentaje de germinación acumulada para Pepinillo en semillero en los diferentes sustratos TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS® a los 16 dds.

Jitomate

Para el jitomate (Figura 4) se puede observar que en los primeros días la germinación fue heterogénea en cada uno de los cinco sustratos utilizados, ya que a los dos días se observó la germinación en placa OASIS®, al cuarto día las semillas germinaron en peat moss y tezontle y finalmente a los siete días en vermicompots y fibra de coco. En el tezontle el proceso germinativo alcanzó más rápidamente el máximo porcentaje (95%) seguido de placa OASIS®, sin embargo, la diferencia observada entre estos dos sustratos no fue significativa. Para el caso del vermicompost y el peat moss el porcentaje de germinación fue el mismo, las semillas de jitomate germinaron de manera paulatina en el vermicompost y el tiempo en que tardaron en alcanzar el máximo porcentaje fue mayor. Esta observación sugiere que el sustrato donde hubo mayor germinación fue el tezontle y en donde se presentó la menor fue la fibra de coco, sin embargo también se presentaron altos porcentajes de germinación (80%). Este comportamiento se debió a la retención de humedad y consecuente disminución del aire en el sustrato. Al respecto Handreck y Black (2002), documentaron que la porosidad

total del sustrato afecta la capacidad de intercambio gaseoso del medio, disminuyendo el contenido de oxígeno que las semillas requieren para germinar.

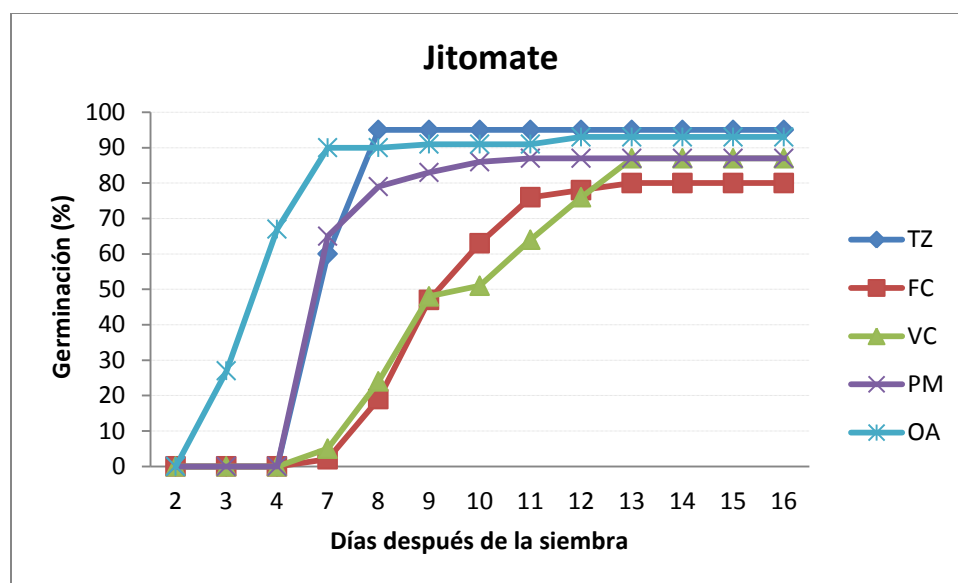


Figura 4. Porcentaje de germinación acumulada para Jitomate en semillero en los diferentes sustratos TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS® a los 16 dds.

Brócoli

Para el brócoli (Figura 5) la germinación fue similar en los sustratos de fibra de coco, peat moss y tezontle en cuanto al inicio (día 2) y tiempo en el cual se alcanzó el máximo porcentaje de germinación (85%) al noveno día después de la siembra. En placa OASIS® y vermicompost los porcentajes de germinación alcanzados fueron inferiores al anterior, 72% y 59% respectivamente, el máximo porcentaje de germinación se alcanzó al día 12 en ambos casos. Para esta especie se observó que la germinación fue adecuada en fibra de coco, peat moss y tezontle. En el caso de la placa OASIS® y vermicompost presentó complicaciones, esto fue debido principalmente al alto contenido de Na del vermicompost (1423 ppm). Ya que el brócoli es una especie en la que niveles elevados de este elemento afectan negativamente la germinación, debido a que sus semillas son más sensibles a la salinidad, inhibiendo la imbibición de agua provocada por la presión osmótica elevada del medio (González-Romero, 2009 y Martínez *et al.*, 2011).

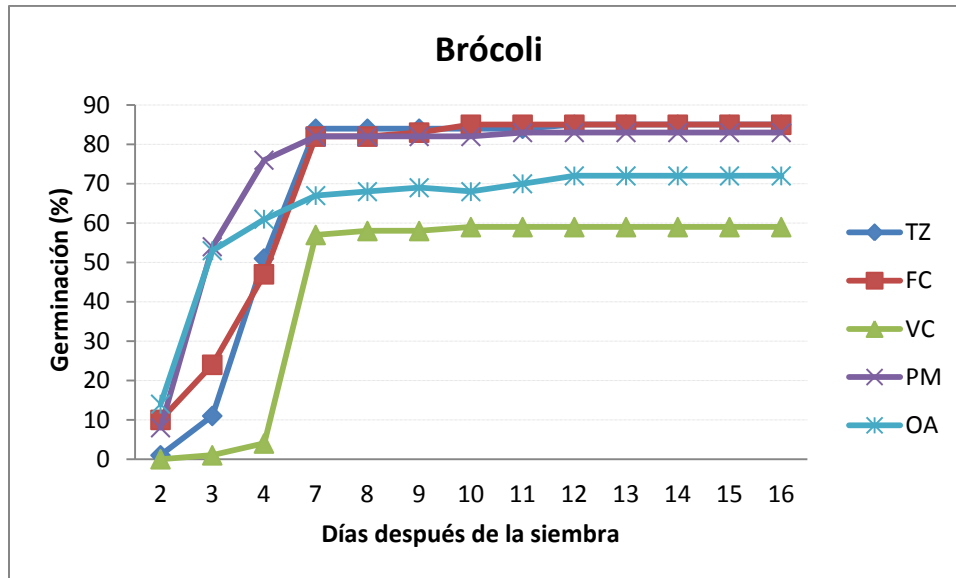


Figura 5. Porcentaje de germinación acumulada para Brócoli en semillero en los diferentes sustratos TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS® a los 16 dds.

Pimiento

La Figura 6 presenta los resultados de germinación del pimiento en los cinco sustratos utilizados, la germinación inició al día siete y alcanzó su máximo al día 16, por lo que esta especie resultó ser la que tardó mayor tiempo en germinar. El sustrato que propició un mayor porcentaje de germinación (90%) fue el vermicompost seguido de tezontle (83%), peat moss (79%) y placa OASIS® (76%), mientras que la fibra de coco fue el sustrato donde la germinación fue menor alcanzando solo el 44%, por esta razón, se puede establecer que el pimiento preferiblemente debe ser germinado en vermicompost. La germinación de esta especie tardó un poco más, sin embargo está dentro del periodo de tiempo que se establece para semillas de chile almacenadas (12-20 días). El bajo porcentaje de germinación en fibra de coco fue debido a que este sustrato sufrió una compactación, lo que ocasionó su encostramiento. Afectando la germinación de la semilla, ya que el crecimiento radical se vio alterado por la poca o nula penetración de las raíces en el sustrato, además de haber provocado deformación en estas, también afectó la capacidad de intercambio gaseoso del medio,

disminuyendo el contenido de oxígeno que las semillas requieren para germinar (Quesada y Méndez, 2005b y Anónimo, 2010b).

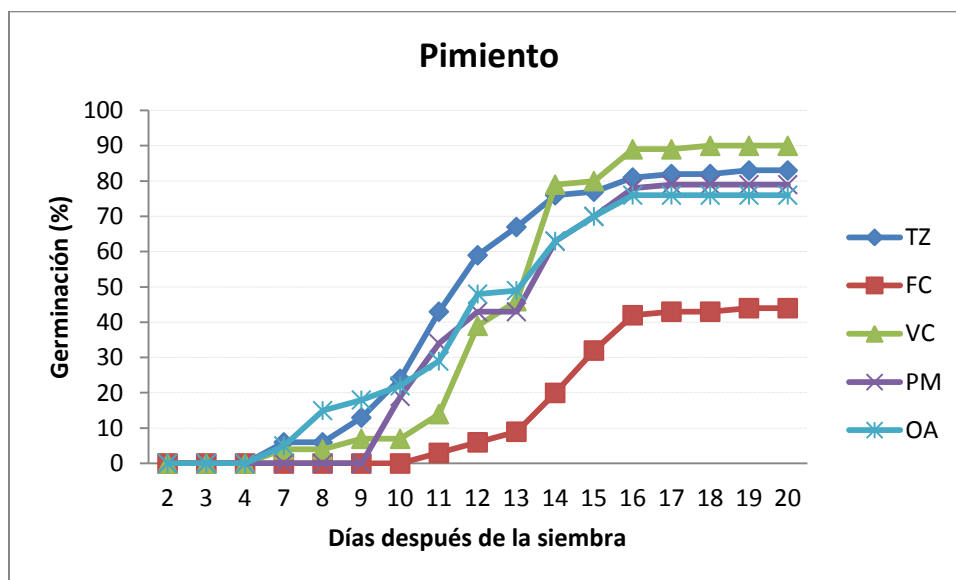


Figura 6. Porcentaje de germinación acumulada para Pimiento en semillero en los diferentes sustratos TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS® a los 20 dds.

Tomate verde

Los resultados de la germinación para tomate se muestran en la Figura 7 donde las semillas germinaron en los primeros cuatro días en todos los sustratos, y el máximo de germinación en general se verificó en el día 15. El mayor porcentaje se alcanzó en peat moss (67%) y tezontle (66%), en el caso de placa OASIS®, vermicompost y fibra de coco los porcentajes de germinación fueron menores al 60%. El sustrato que fue menos adecuado para la germinación del tomate correspondió a la fibra de coco, resultado que puede estar relacionado con el tamaño pequeño de las semillas y con el exceso de humedad que retiene el sustrato, lo cual impide la respiración. Las plantas con semillas pequeñas y con pocas sustancias de reserva tienen problemas para germinar bajo estas condiciones. Handreck y Black (2002), establecieron que la porosidad total del sustrato afecta la capacidad de intercambio gaseoso del medio, disminuyendo el contenido de oxígeno que las semillas requieren. Es importante señalar que esta especie presentó una viabilidad baja (52%) y una germinación promedio de 58% lo

que concuerda y puede significar que las semillas no tenían la edad adecuada, es decir, estuvieron almacenadas por largo tiempo. Este suceso se presenta comúnmente en semillas viejas o que han tenido un almacenamiento no inspeccionado, lo que genera condiciones inadecuadas, principalmente humedad relativa y temperatura elevada, que si no son supervisadas continuamente provocan un decremento en el vigor y en la germinación (Palma *et al.*, 2000 y Quesada y Méndez, 2005b).

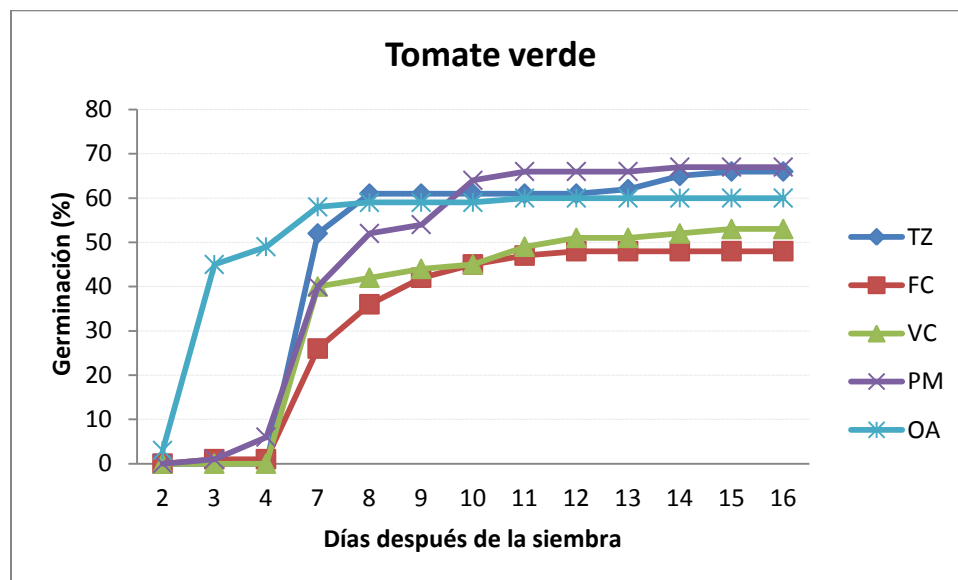


Figura 7. Porcentaje de germinación acumulada para Tomate verde en semillero en los diferentes sustratos TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS® a los 16 dds.

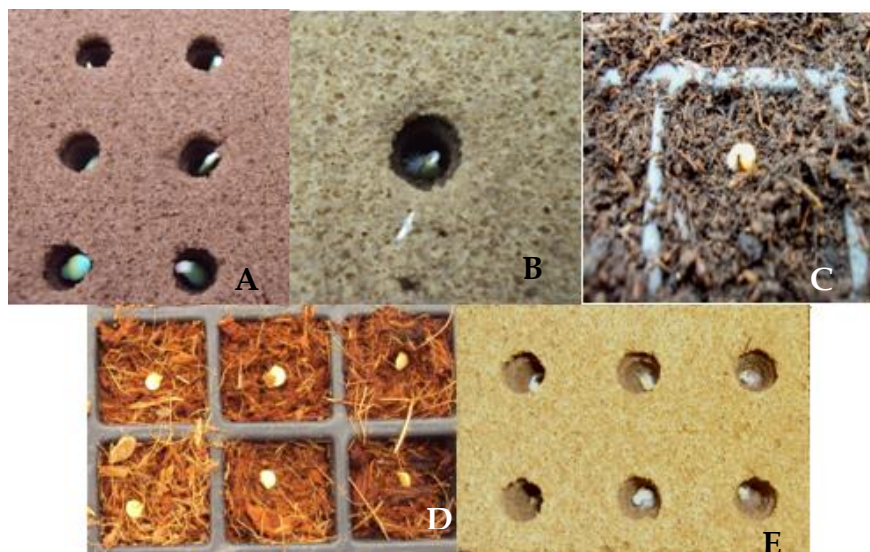


Figura 8. Germinación en semilleros: **A)** Pepinillo, **B)** Jitomate, **C)** Brócoli, **D)** Pimiento y **E)** Tomate verde.

6.3 Análisis del desarrollo

6.3.1 Contenido de clorofila (SPAD)

Los resultados del contenido de clorofila se muestran en la Figura 9, se observa que los sustratos no favorecieron el incremento del contenido de clorofila en las diferentes especies utilizadas, hecho que se reafirma con los resultados del análisis de varianza (Apéndice 1). Al respecto se debe indicar que inmediatamente después de la emergencia de las plántulas la cantidad de clorofila depende de factores intrínsecos como: la especie, y la cantidad de sustancias de reserva por lo que el efecto del sustrato solo es apreciable en estadíos más avanzados. Del mismo modo, en experimentos donde se evaluó el contenido de clorofila relacionado con la fertilización nitrogenada se encontró que en estadíos tempranos existe una pobre correlación entre el contenido de clorofila y la cantidad de nitrógeno que el sustrato puede aportar (Blackmer y Schepers, 1995 y Sainz y Echeverría, 1998). Por otro lado, el contenido de clorofila y la absorción de nitrógeno se han correlacionado con las unidades SPAD en diversas condiciones ambientales como la intensidad luminosa, temperatura, humedad relativa, plagas, densidad de población, fuente de nitrógeno, factores que son importantes para

poder establecer como las plantas absorben y asimilan el nitrógeno y lo transforman en clorofila (Hiderman *et al.*, 1992 y Piekielek y Fox, 1992).

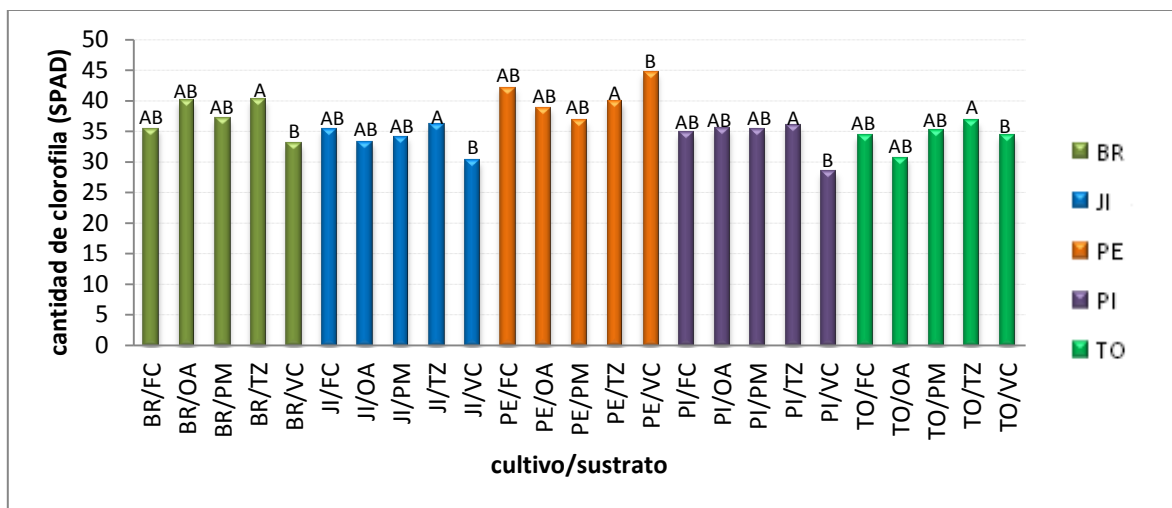


Figura 9. Contenido de clorofila en las especies trabajadas BR= Brócoli, JI= Jitomate, PE= Pepinillo, PI= Pimiento y TO= Tomate verde, en función del sustrato empleado TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®. Medias con letras iguales, no son diferentes estadísticamente (Tukey, 0.05).

6.3.2 Diámetro del tallo en la base

El grosor de tallo es un indicador del estado vigoroso de una plántula, en la Figura 10 se muestra el diámetro promedio del tallo de las plántulas de cada especie trabajada para un periodo de crecimiento de cuatro semanas. El análisis de varianza (Apéndice 1), mostró que las diferencias son significativas para los sustratos, donde el vermicompost fue el que propició los valores más altos de diámetro para las especies, excepto en brócoli. Este resultado indica un desarrollo robusto de las plántulas, propiciado por el sustrato. Por otro lado el peat moss fue el sustrato que sigue al vermicompost en cuanto a propiedades que favorecen el diámetro del tallo como pH, contenido nutrimental, CIC y retención de humedad (Quesada y Méndez, 2005b). Para el caso del brócoli fue el mejor. Estos resultados concuerdan con los obtenidos para la cantidad de peso seco, lo cual indica que el vermicompost y el peat moss son sustratos que permiten la traslocación de nutrientes y su asimilación como biomasa. Al respecto se ha documentado que el aporte nutricional que brindan los sustratos y sus adecuadas

propiedades físicas, ofrecen las mejores condiciones para el desarrollo de las plántulas (Arenas *et al.*, 2002 y Quesada y Méndez, 2005b). El sustrato menos favorable para el desarrollo y aumento en grosor del tallo fue la placa OASIS® debido a que no está diseñada para propiciar el establecimiento de las plántulas.

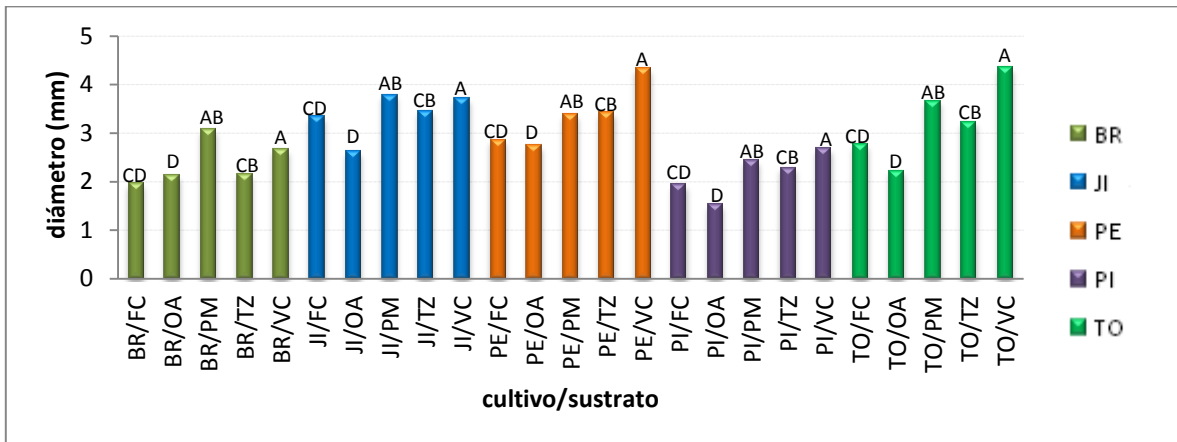


Figura 10. Diámetros de tallo de las especies trabajadas BR= Brócoli, JI= Jitomate, PE= Pepinillo, PI= Pimiento y TO= Tomate verde, en función del sustrato empleado TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®. Medias con letras iguales, no son diferentes estadísticamente (Tukey, 0.05).



Figura 11. Diámetro de tallo en Brócoli **A)** Peat Moss y **B)** Fibra de Coco.

6.3.3 Longitud de la parte aérea

La longitud de la parte aérea, se presenta en la Figura 12 donde se observa que el vermicompost fue el sustrato que propició una altura mayor para tomate, pimiento y jitomate, en tanto que el peat moss lo hizo en brócoli y pepinillo. Estos resultados son significativamente distintos de acuerdo al análisis de varianza realizado (Apéndice 1). Los sustratos en los que las especies presentaron longitudes menores fueron la fibra de coco y la placa OASIS®. El crecimiento es uno de los componentes principales del desarrollo y en los almácigos depende principalmente del aporte de agua y nutrimentos, que un sustrato pueda aportar a las plantas. Estas condiciones a su vez, están relacionadas con factores físicos y químicos como el pH, contenido nutricional, capacidad de intercambio gaseoso, agua disponible y temperatura, entre otros (Singh y Sainju 1998). Es por ello, que las condiciones fisicoquímicas de cada sustrato son las que definen el crecimiento, en este caso, la longitud de la parte aérea, además de otras variables agronómicas como diámetro del tallo, área foliar, volumen de la raíz, vigor entre otras (Schnelle y Henderson 1991).

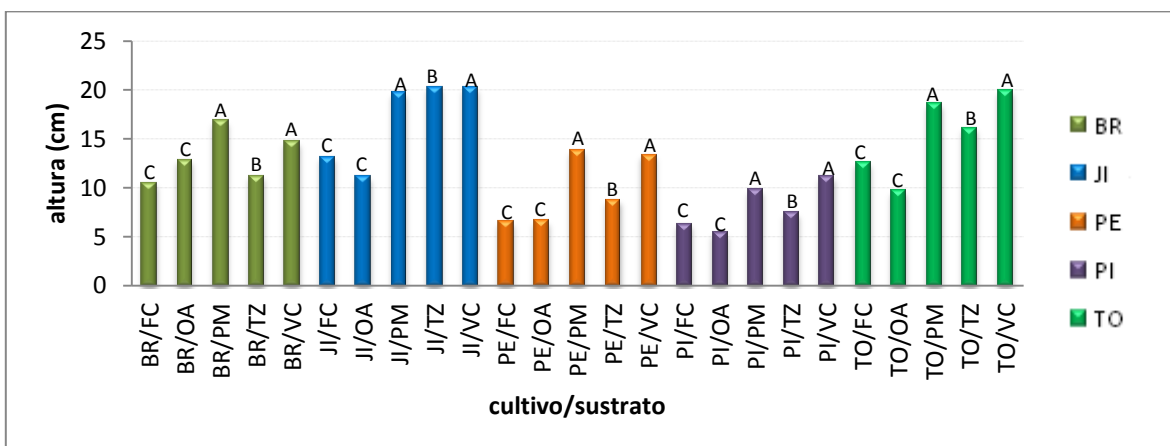


Figura 12. Longitud de la parte aérea de las especies trabajadas BR= Brócoli, JI= Jitomate, PE= Pepinillo, PI= Pimiento y TO= Tomate verde, en función del sustrato empleado TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®. Medias con letras iguales, no son diferentes estadísticamente (Tukey, 0.05).

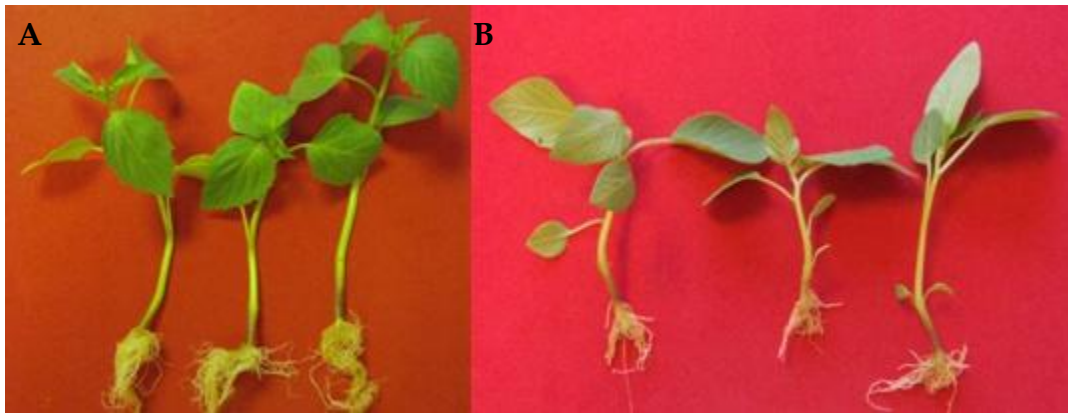


Figura 13. Longitud de la parte aérea de Tomate verde. **A)** Vermicompost y **B)** Placa OASIS®.

6.3.4 Volumen de raíz

Los resultados del volumen de la raíz se presentan en la Figura 14 donde se puede observar que el peat moss fue el sustrato que favoreció el mejor desarrollo de las raíces con excepción del tomate, en donde el sustrato más adecuado fue el vermicompost. El análisis de varianza realizado para este parámetro (Apéndice 1) indicó que las diferencias entre los valores son significativas. Los sustratos menos idóneos fueron la placa OASIS® y la fibra de coco, al respecto se ha establecido que los factores principales para un buen desarrollo de las raíces son: porosidad total y la densidad de masa del sustrato, que en estos dos últimos sustratos, fueron menos adecuados (Quesada y Méndez, 2005b). De acuerdo con el análisis realizado a cada sustrato, se obtuvo que el peat moss es el que presentó la porosidad y densidad de masa más idóneas (50.9% y 0.26 g cm^{-3}), para el desarrollo de la raíz.

Por otra parte, es importante señalar que el sistema radicular tiene importantes funciones físicas y fisiológicas desde el inicio de la germinación y durante todo el desarrollo de la planta, ya que el tamaño y morfología de la raíz afecta el tamaño relativo y crecimiento del tallo. Por lo que algún tipo de alteración sobre la raíz afecta la concentración de biomasa, el desarrollo vegetativo y la productividad (Leskovar, 2001).

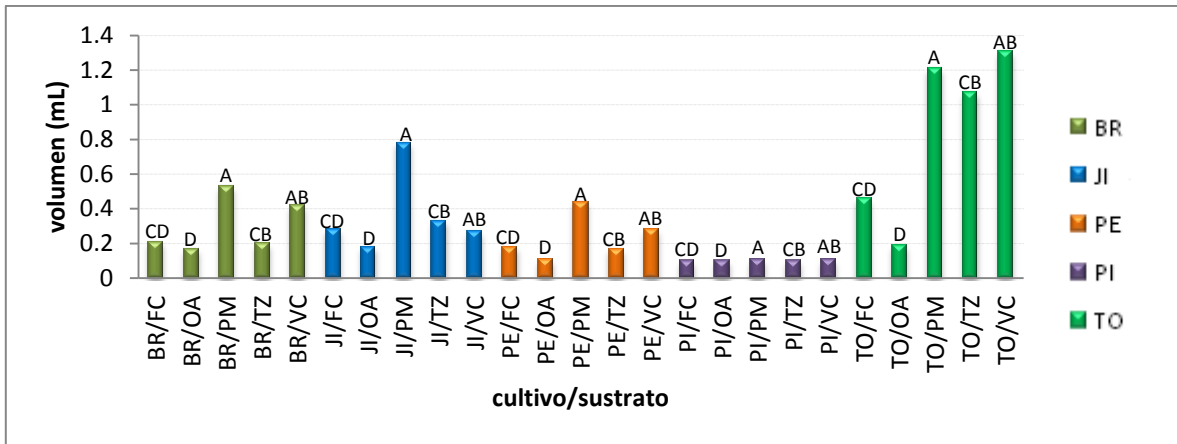


Figura 14. Volumen de raíz de las especies trabajadas BR= Brócoli, JI= Jitomate, PE= Pepinillo, PI= Pimiento y TO= Tomate verde, en función del sustrato empleado TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®. Medias con letras iguales, no son diferentes estadísticamente (Tukey, 0.05).



Figura 15. Volumen de raíz en Pepinillo **A)** Peat Moss **B)** Placa OASIS®.

6.3.5 Área foliar

Los valores de área foliar presentes en la Figura 16 muestran que el vermicompost presentó mejores condiciones para el desarrollo de este parámetro en tomate, pimiento y pepinillo, en tanto que el peat moss produjo mejor desarrollo en brócoli y jitomate. Por otra parte, la fibra de coco y placa OASIS® fueron los sustratos en donde el área foliar fue menor, estos resultados son significativamente diferentes de acuerdo con el análisis de varianza realizado (Apéndice 1). El área foliar es un parámetro que está relacionado tanto con el grosor del tallo así como con la altura

de las plántulas por esta razón indica de forma adecuada el crecimiento así como la capacidad que tienen las plantas para captar la energía luminosa y realizar fotosíntesis debido a que a mayor superficie foliar en estadíos tempranos del desarrollo la radiación solar incidente pueda ser aprovechada al máximo (Galindo y Clavijo, 2007).

Es importante resaltar el papel que presentan los diferentes sustratos probados en este experimento debido a que el sustrato es un medio físico muy importante que influye en la nutrición, soporte mecánico de la raíz y además el pH que presente, se relaciona con la disponibilidad de nutrimentos. Por lo que, vermicompost y peat moss brindaron las mejores condiciones tanto químicas como físicas para el desarrollo del área foliar en las especies trabajadas ya que permitieron además incrementar los valores de altura, grosor del tallo y área foliar (Quesada y Méndez, 2005b).

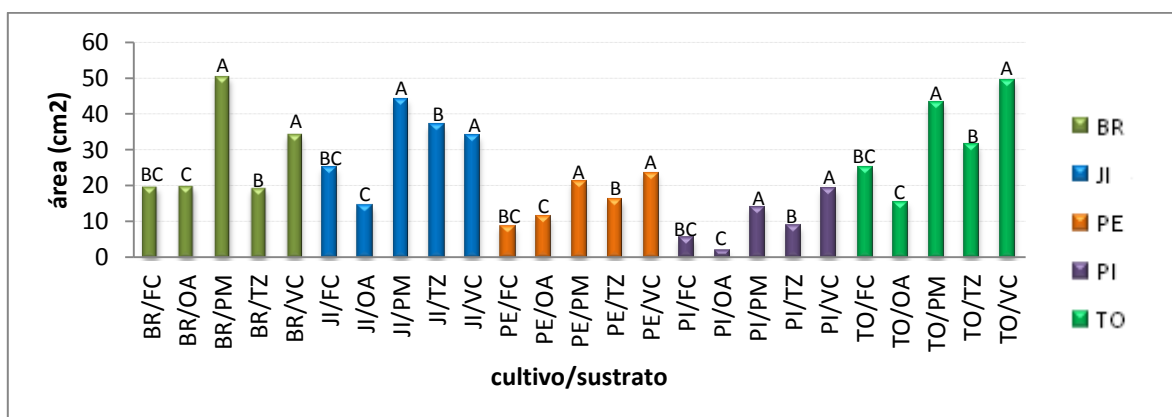


Figura 16. Área foliar de las especies trabajadas BR= Brócoli, JI= Jitomate, PE= Pepinillo, PI= Pimiento y TO= Tomate verde, en función del sustrato empleado TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®. Medias con letras iguales, no son diferentes estadísticamente (Tukey, 0.05).

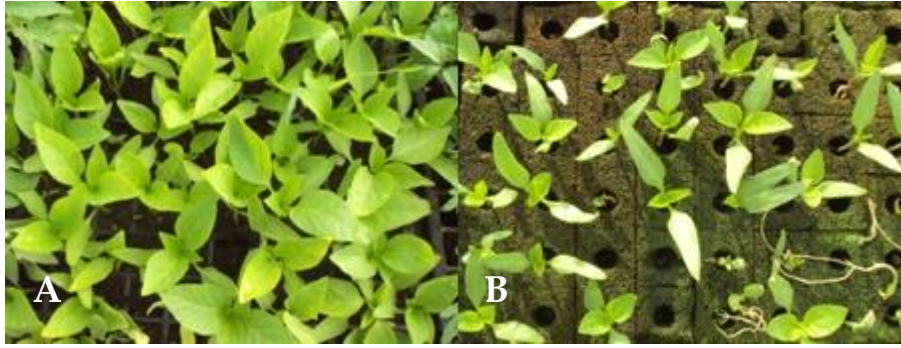


Figura 17. Área foliar de Pimiento. **A)** Vermicompost y **B)** Placa OASIS®.

6.3.6 Peso seco

El peso seco de los cultivos se muestra en la Figura 18 en donde peat moss y vermicompost fueron los sustratos que favorecieron el peso seco en las especies de estudio, al realizar el análisis de varianza se encontró que estos valores son significativamente diferentes (Apéndice 1). La placa OASIS® y la fibra de coco fueron los sustratos en donde los pesos fueron menores.

Estos resultados muestran cierta consistencia con los otros parámetros que indican el vigor de las plántulas (Diámetro del tallo, longitud de la parte aérea y área foliar), en donde el vermicompost y el peat moss son los sustratos que propiciaron un mejor crecimiento de la raíz, lo que se traduce en una menor limitación de oxígeno, agua y nutrientes incorporados al tejido vegetal, además de una mayor captación de radiación solar, como consecuencia de ello se producen más fotoasimilados, se genera mayor cantidad de biomasa y se produce mayor crecimiento y desarrollo de las plántulas. Esto es debido a que tanto el peat moss como el vermicompost son sustratos que presentaron una buena retención de humedad, porosidad total y densidad de masa. Propiedades que contribuyen a que la cantidad de biomasa se incremente (Quesada y Méndez, 2005b y Moreno-Pérez *et al.*, 2010).

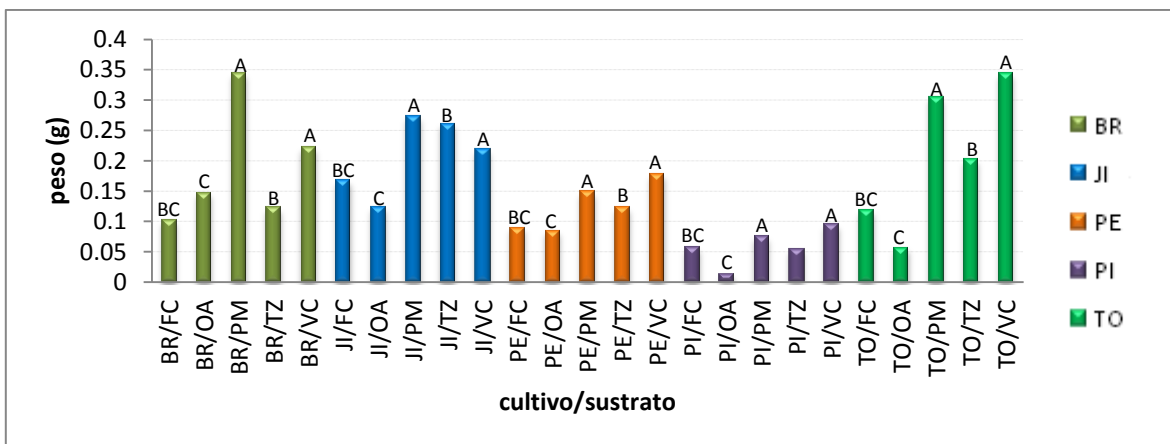


Figura 18. Peso seco de las especies trabajadas BR= Brócoli, JI= Jitomate, PE= Pepinillo, PI= Pimiento y TO= Tomate verde, en función del sustrato empleado TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®. Medias con letras iguales, no son diferentes estadísticamente (Tukey, 0.05).

6.4 Índices de crecimiento

Estos índices se calcularon para las plántulas de las especies estudiadas con excepción del pepinillo, esto debido a que presentó un desarrollo muy acelerado en comparación con el resto de las especies.

6.4.1 Razón de área foliar (RAF)

Jitomate

Los valores de RAF para las plántulas de jitomate se presentan en la Figura 19. A los 16 días después de la siembra (dds) se observa que los valores de los sustratos tezontle, vermicompost y OASIS® concuerdan con el intervalo ($116-160 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) en un periodo similar de tiempo (10-17 días), en tanto que fibra de coco propició menos área foliar ($92 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) y peat moss se encuentra por encima ($170 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$). A los 22 dds área foliar disminuyó en todos los sustratos exceptuando tezontle, donde se apreció un incremento. Tezontle, vermicompost y peat moss propiciaron valores por encima de lo reportado ($90 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$). A 28 dds se presentó un aumento del área foliar excepto en tezontle donde los valores disminuyeron. Finalmente a los 35 dds se aprecia una disminución del área foliar en todos los sustratos, a pesar de ello los valores son adecuados debido a que se encuentran

cercanos al intervalo ($30-152 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$) que se reporta en un tiempo similar (32-35 días) (Ibarra *et al.*, 2001; Defilipis *et al.*, 2006 y Rojas-Velázquez, 2010).

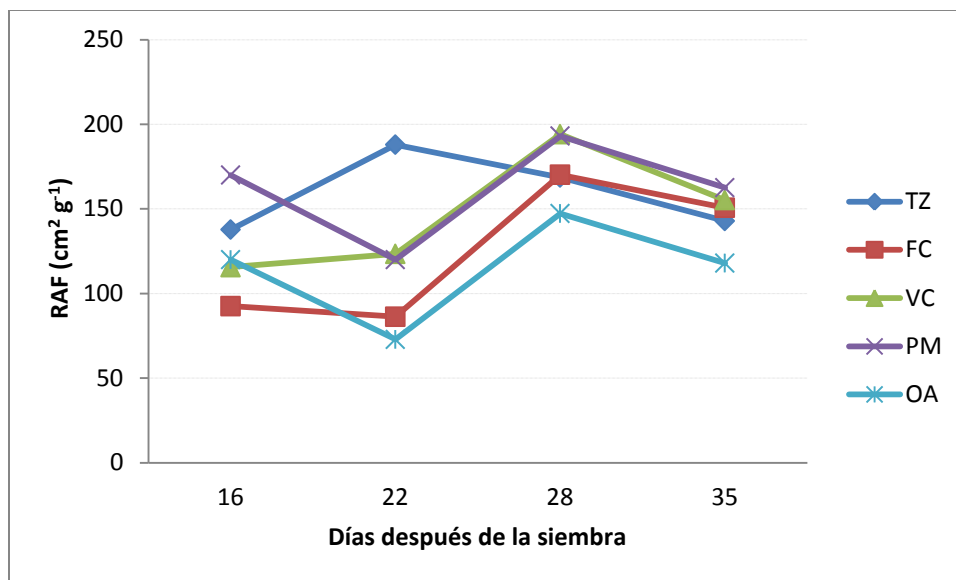


Figura 19. Razón de área foliar RAF para plántulas de Jitomate en los distintos sustratos empleados TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

Brócoli

En la Figura 20 se presentan los valores de RAF para plántulas de brócoli. A los 15 dds los sustratos vermicompost y peat moss son los que presentaron valores más elevados, estos son superiores a $160 \text{ cm}^2\text{.g}^{-1}$ reportados para brassicáceas a los 17 días. A 21 dds en tezontle, OASIS® y fibra de coco se presentó un aumento, en tanto que para vermicompost y peat moss fue lo contrario, con excepción de fibra de coco, el resto de los sustratos presentaron valores elevados ya que superan el intervalo $48-120 \text{ cm}^2\text{.g}^{-1}$ a los 20 días. A 28 dds se continuó con la misma tendencia para todos los sustratos y los valores fueron cercanos entre sí encontrándose entre 150 y $200 \text{ cm}^2\text{.g}^{-1}$. Para los 35 dds se observa una disminución en todos los sustratos y coincidiendo cerca de $150 \text{ cm}^2\text{.g}^{-1}$, lo que es similar a lo que se reporta después del mismo periodo de tiempo ($152 \text{ cm}^2\text{.g}^{-1}$). Fibra de coco fue el único sustrato con valores superiores ($193 \text{ cm}^2\text{.g}^{-1}$) y un aumento constante (Palomo *et al.*, 2003; Defilipis *et al.*, 2006 y Rojas-Velázquez, 2010).

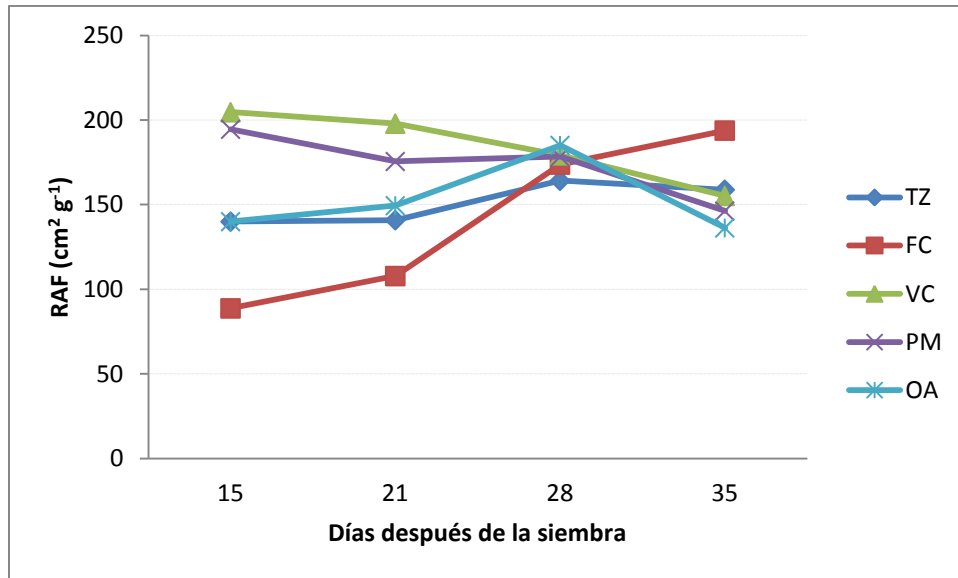


Figura 20. Razón de área foliar RAF para plántulas de Brócoli en los distintos sustratos empleados TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

Pimiento

Los valores de RAF de las plántulas de pimiento se muestran en la Figura 21. Después de 23 dds el vermicompost es el mejor sustrato y OASIS® el menos favorable, estos resultados son adecuados ya que están en el intervalo 80-162 $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$ a los 20 días. A los 29 dds todos los sustratos presentaron un incremento en área foliar siendo peat moss y vermicompost los sustratos más sobresalientes, ya que se encontraron por encima del intervalo 40-143 $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$ los demás sustratos concuerdan con dicho intervalo a los 30 días. Para los 35 dds, con excepción de fibra de coco el resto de los sustratos aumentaron los valores de área foliar donde el vermicompost es el más favorable. Estos resultados se encuentran superando el intervalo 30-152 $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$ excepto fibra de coco (Ibarra *et al.*, 2001; Defilipis *et al.*, 2006 y Rojas-Velázquez, 2010).

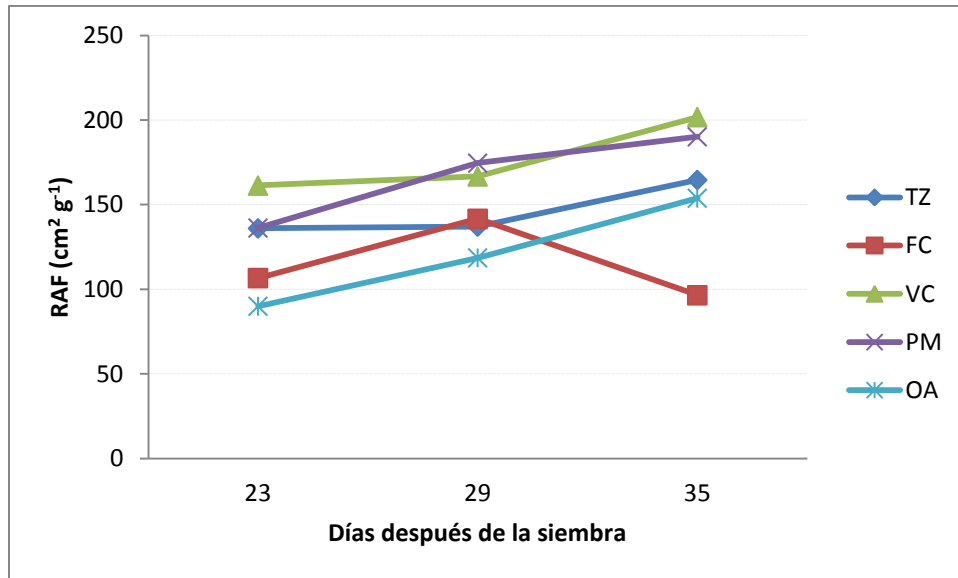


Figura 21. Razón de área foliar RAF para plántulas de Pimiento en los distintos sustratos empleados TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

Tomate verde

En la Figura 22 se presentan los valores de RAF en tomate verde. A los 22 dds los sustratos fibra de coco, vermicompost y peat moss se encontraron dentro del intervalo que se reporta para especies hortícolas ($116-160 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$) en un tiempo de 17 días. A los 22 dds los valores descendieron exceptuando en OASIS®, que junto con tezontle y peat moss se encontraron en el rango de $80-162 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$ a los 23 dds, fibra de coco y vermicompost se encuentran por debajo de dichos valores. Para los 29 dds se observa un incremento considerable, además de que las áreas foliares presentan semejanza en todos los sustratos, estos valores son mayores a $143 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$ que se reportan para especies hortícolas en un periodo de 29-30 días.

A 35 dds los sustratos fibra de coco y OASIS® presentaron un aumento en los valores, que fueron constantes en ambos sustratos desde el inicio, superando lo reportado para especies hortícolas ($152 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$). En tezontle, vermicompost y peat moss se observa una disminución en el área foliar sin embargo coinciden con el intervalo señalado. En comparación con el resto de las especies evaluadas en esta investigación, el área foliar de tomate verde fue considerablemente mayor

debido a que presentó valores ($> 200 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$). (Ibarra *et al.*, 2001; Defilipis *et al.*, 2006 y Rojas-Velázquez, 2010).

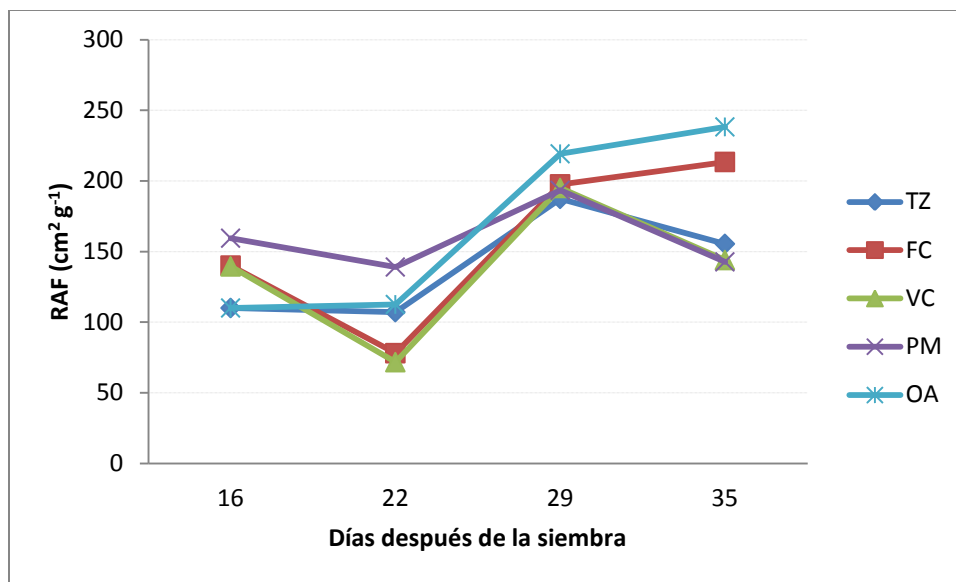


Figura 22. Razón de área foliar RAF para plántulas de Tomate verde en los distintos sustratos empleados TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

La razón de área foliar estima la magnitud del aparato fotosintético de la planta, además de ser la relación entre el área foliar y el peso seco total de esta. Se observa que RAF presentó un comportamiento de aumento y disminución en sus valores, lo cual fue similar en la mayoría de las especies y sustratos. El decremento de estos valores se explica ya que en las primeras fases de crecimiento las plantas invirtieron la mayor parte de los fotoasimilados en el establecimiento de su aparato fotosintético como se aprecia a los 28 y 29 dds. Una vez logrado este establecimiento, estos valores fueron decreciendo gradualmente (35dds) debido a que la mayoría de los carbohidratos producidos se van acumulando en otros órganos de la planta. Este índice es útil en el establecimiento de diferencias entre especies, en cuanto a el grosor de la hoja y vigor de la planta, pues a medida que se incrementó el vigor de la planta decreció el grosor de la hoja (Palomo *et al.*, 2003, Hernández-Vázquez, 2010 y Rojas-Velázquez, 2010).

6.4.2 Tasa de asimilación neta (TAN)

Jitomate

Los valores de TAN para la plántulas de jitomate se presentan en la Figura 23, en la que se observa que la diferencia entre los sustratos empieza a ser notoria a partir de los 28 días, siendo vermicompost el sustrato con los valores más elevados y que concuerdan con los que se señalan en un tiempo de 27dds para especies hortícolas ($3 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), los otros sustratos se encuentran por debajo de este valor siendo fibra de coco y OASIS® en donde la asimilación fue menor. A los 35 dds las diferencias son más notorias entre los sustratos, siendo peat moss el que propició mayor asimilación y junto con tezontle fueron los sustratos que presentaron valores dentro del intervalo ($9.24\text{-}12.2 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$). En vermicompost, fibra de coco y OASIS® se presentó una asimilación menor (Palomo *et al.*, 2003 y Bahena *et al.*, 2008).

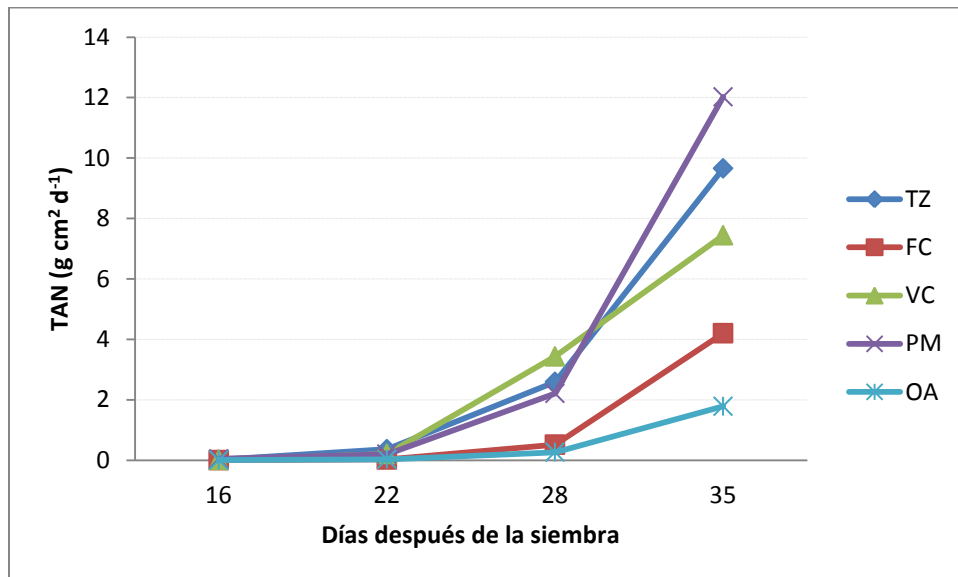


Figura 23. Tasa de asimilación neta TAN para plántulas de Jitomate en los distintos sustratos empleados TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

Brócoli

Para las plántulas de brócoli los valores de TAN se presentan en la Figura 24, en donde a partir de los 28 dds las diferencias entre los sustratos son más notorias, se observa que los sustratos peat moss y vermicompost son los que favorecieron la asimilación encontrándose dentro del intervalo 3-6 g m⁻² día⁻¹ que se menciona para especies hortícolas. Para los 35 dds las diferencias son más notorias, siendo peat moss el sustrato con valores mayores, seguido de vermicompost, cuyos valores concuerdan con el intervalo que se señala en especies hortícolas a 35 días (6.8-11.5 g m⁻² día⁻¹). Peat moss supera este intervalo, en tanto que tezontle, fibra de coco y OASIS® se encuentran por debajo. En estos últimos sustratos la asimilación siempre fue menor (Rincón *et al.*, 1998; Rincón *et al.*, 1999; Bahena *et al.*, 2008 y Sedano *et al.*, 2005).

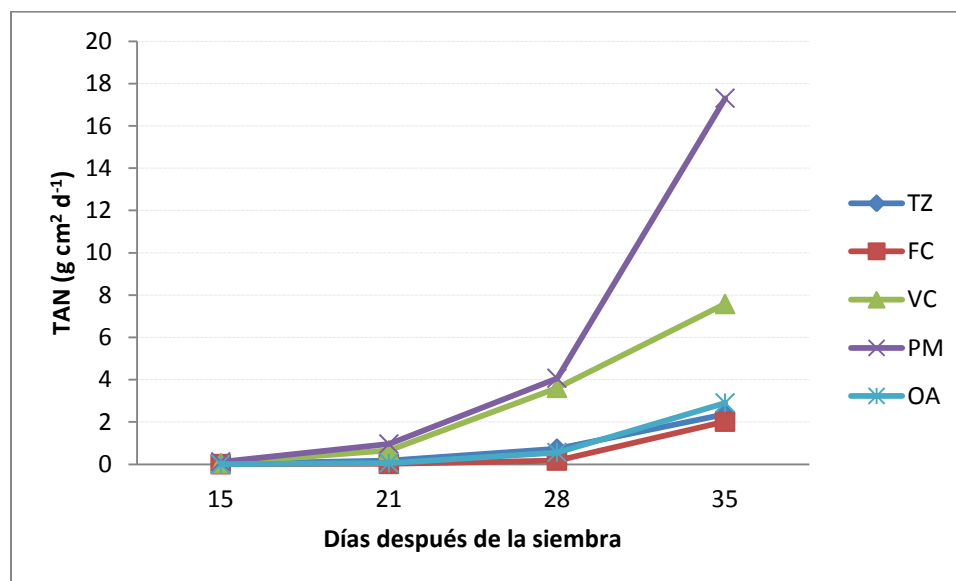


Figura 24. Tasa de asimilación neta TAN para plántulas de Brócoli en los distintos sustratos empleados TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

Pimiento

En la Figura 25 se muestra la TAN para las plántulas de pimiento. A los 29 dds se presentaron diferencias entre los valores de asimilación en los distintos sustratos, siendo peat moss y vermicompost los que presentaron valores más elevados.

Para los 35 dds las diferencias fueron más notorias, el vermicompost fue el sustrato que propició una mejor asimilación y OASIS® la menor, aun así la tasa de asimilación fue muy baja en todos los sustratos ($< 1.8 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$); a pesar de esto los valores se encontraron dentro del intervalo ($0.0163\text{-}5.5 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), que se indica en plántulas de pimiento (Tittonell *et al.*, 2002 y Bahena *et al.*, 2008).

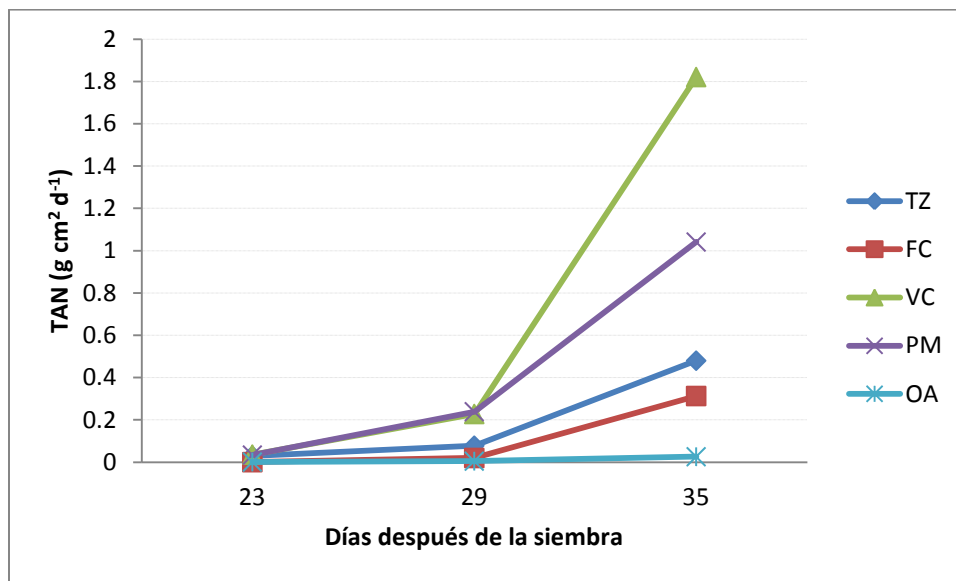


Figura 25. Tasa de asimilación neta TAN para plántulas de Pimiento en los distintos sustratos empleados TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

Tomate verde

Los valores de TAN en las plántulas de tomate verde se presentan en la Figura 26. A los 29 dds la diferencia en los valores de asimilación fueron más notorios en vermicompost y peat moss donde la asimilación fue mayor, estos valores concuerdan con el intervalo ($5.8\text{-}6.8 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), los otros sustratos presentaron valores por debajo de dicho intervalo. Pasados 35 dds las diferencias entre las tasas de asimilación fueron más notorias y se continuó con la tendencia inicial en donde el vermicompost y peat moss son los sustratos con mejores resultados. Los valores de vermicompost, peat moss y tezontle se encontraron dentro del intervalo indicado para especies hortícolas ($5.8\text{-}16 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), en tanto que fibra de coco y OASIS® estuvieron por debajo (Rincón *et al.*, 1998; Rincón *et al.*, 1999; Palomo *et al.*, 2003; Sedano *et al.*, 2005 y Bahena *et al.*, 2008).

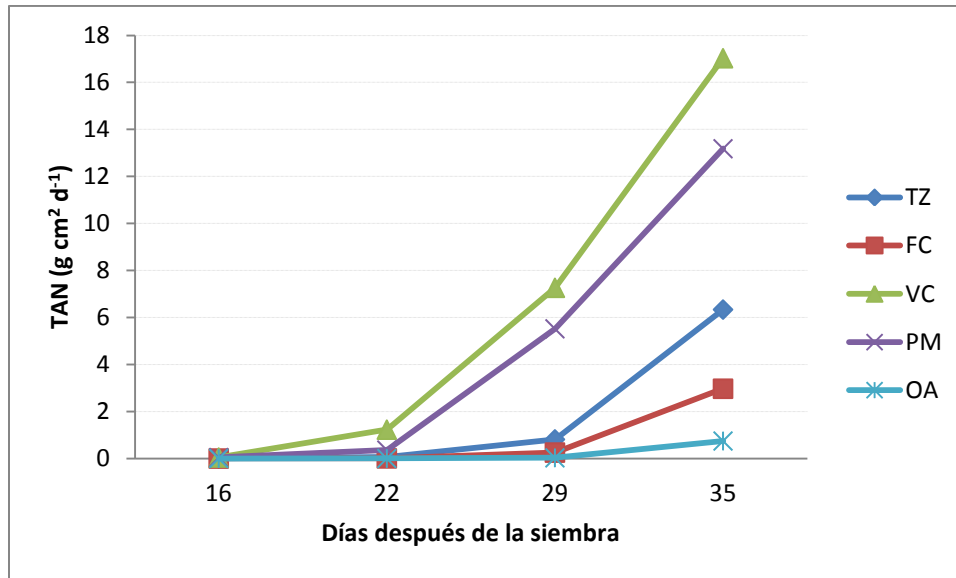


Figura 26. Tasa de asimilación neta TAN para plántulas de Tomate verde en los distintos sustratos empleados TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

La tasa de asimilación neta indica el balance neto entre la ganancia en materia seca por la tasa de fotosíntesis y la pérdida por la tasa de respiración de hojas, tallos y raíces, por unidad de tiempo. Depende de la disposición, edad de las hojas y de los procesos de regulación interna relacionados con la demanda de los asimilados, además de ser una medida indirecta de la fotosíntesis. Se observó un retraso en los valores de TAN, ya que el incremento notorio se presentó hasta los 29 dds, comportamiento que presentaron todas las especies y sustratos. Este poco incremento en los primeros días del desarrollo, se debió a que los valores de este índice fueron afectados por la poca distribución de biomasa a la parte aérea de la planta y fueron canalizados hacia la formación de órganos que generaron mayor demanda, como las raíces (Villar *et al.*, 2004). A los 35 dds el incremento fue mayor, lo que indica que los fotoasimilados fueron aprovechados para la formación de la parte aérea. Este incremento es contrario a lo que se indica, este índice tiende a decrecer al avanzar la ontogenia del cultivo debido a la formación de follaje, ya que las hojas superiores ejercen un sombreado sobre las hojas inferiores disminuyendo la capacidad fotosintética, así como por los efectos de los lugares de demanda sobre la fotosíntesis. Sin embargo en este estadio del desarrollo no afectó los valores de TAN debido a que la parte aérea no generó

mucho follaje (Villar *et al.*, 2004; Hernández-Vázquez, 2010; Rojas-Velázquez, 2010 y Hernández-García, 2011).

6.4.3 Tasa de crecimiento relativo (TCR)

Jitomate

La TCR de las plántulas de jitomate se presenta en la Figura 27. A los 22 dds el tezontle presentó la mayor tasa de crecimiento y la menor en peat moss. A los 28 dds se observó una disminución, exceptuando en peat moss que presentó un ligero aumento. Los valores en ambos muestreos se encontraron cercanos a lo que se establece para esta especie ($0.2 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en un periodo de 15 a 30 días. A 35 dds, fibra de coco y OASIS® fueron los sustratos en donde el crecimiento fue mayor, a pesar de ello los valores no son superiores a los iniciales. Con excepción de vermicompost los demás sustratos se encontraron dentro del intervalo ($0.16\text{-}0.2 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) que se señalan en especies hortícolas en un tiempo de 36 días (Geraud *et al.*, 1994; Borrego *et al.*, 2000 y Azofeifa y Moreira, 2004).

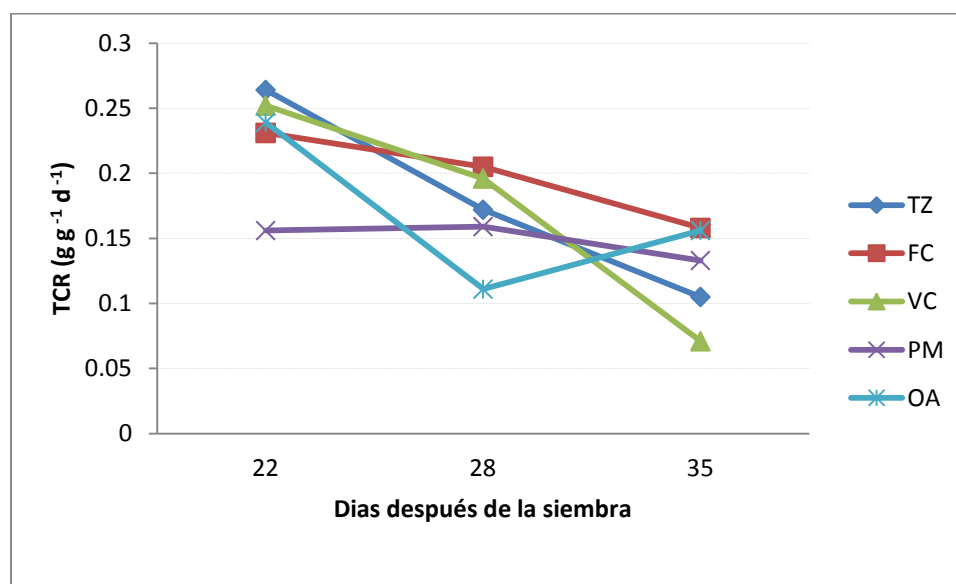


Figura 27. Tasa de crecimiento relativo TCR para plántulas de Jitomate en los distintos sustratos empleados TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

Brócoli

En la Figura 28 se muestra la TCR para plántulas de brócoli. A los 21 dds tanto vermicompost como OASIS® fueron los sustratos en donde el índice presentó valores altos, por encima de ($0.190 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) que se indica para un tiempo de 23 días. Para los 28 dds se presentó una disminución en todos los sustratos exceptuando en fibra de coco en donde los valores del índice aumentaron. A 35 dds fibra de coco mostró mejores resultados así como un aumento progresivo, en tanto que vermicompost los valores más bajos y una disminución de los mismos que también se presentó, en el resto de los sustratos. Estos valores de crecimiento son bajos ya que ningún sustrato mostró valores dentro del intervalo ($0.17\text{-}0.18 \text{ g g}^{-1}\text{d}^{-1}$) en un periodo de 33 días. (Sedano *et al.*, 2005; Defilipis *et al.*, 2006 y Rojas-Velázquez, 2010).

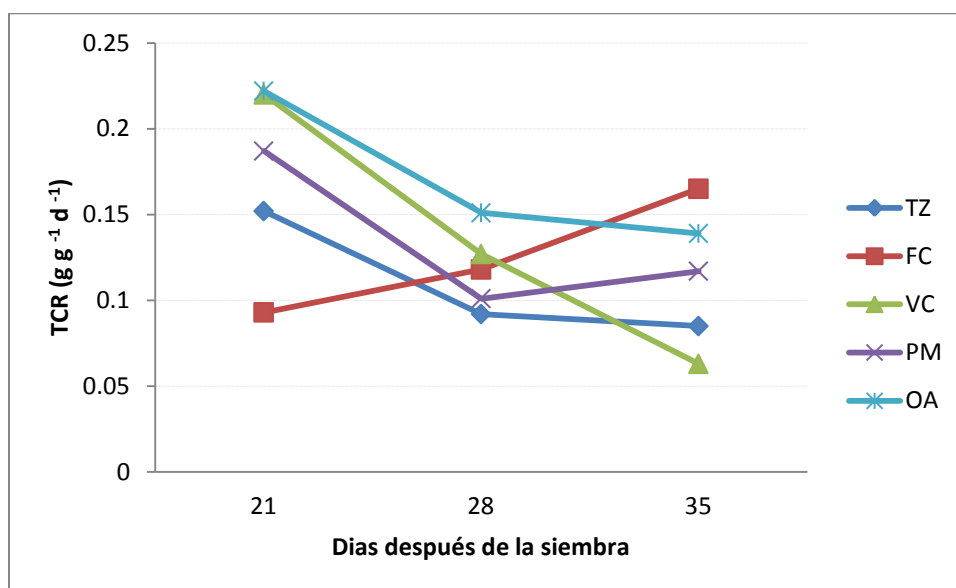


Figura 28. Tasa de crecimiento relativo TCR para plántulas de Brócoli en los distintos sustratos empleados TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

Pimiento

Los valores de la TCR para las plántulas del pimiento se presentan en la Figura 29. A 29 dds vermicompost, peat moss y OASIS® fueron los sustratos con los valores superiores y que concuerdan con lo que se reporta a los 30 días en especies hortícolas ($0.15 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$). Para los 35 dds fibra de coco propició un incremento notorio en el crecimiento así como valores más altos en tanto que OASIS® los menores. El vermicompost fue el sustrato que propició valores dentro del intervalo ($0.15\text{-}0.167 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$), fibra de coco supera este intervalo y el resto de los sustratos están por debajo. En los sustratos fibra de coco, vermicompost y tezontle se presentó un incremento en el crecimiento (Rincón *et al.* 1998; Paéz *et al.*, 2000 y Azofeifa y Moreira, 2004).

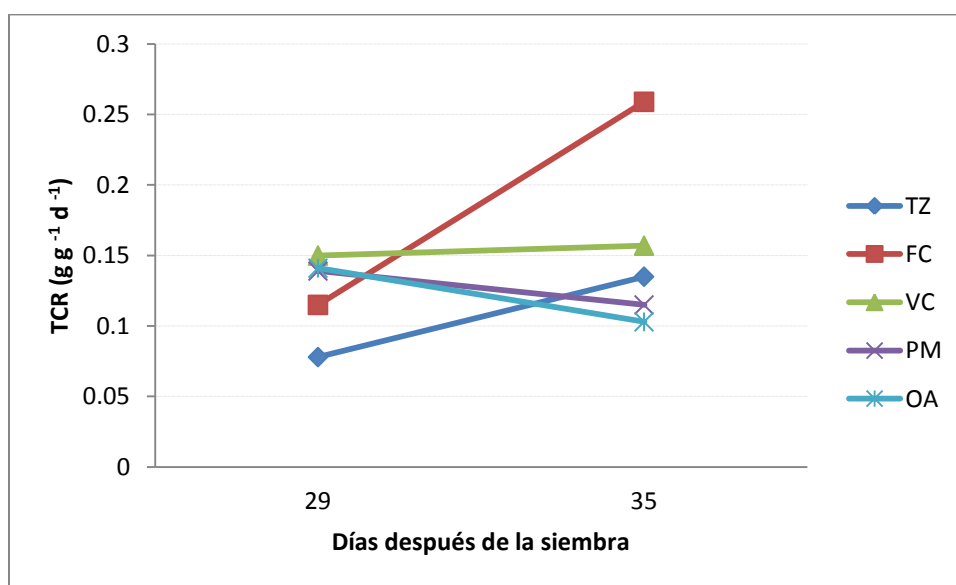


Figura 29. Tasa de crecimiento relativo TCR para plántulas de Pimiento en los distintos sustratos empleados TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

Tomate verde

En la Figura 30 se presentan los valores de TCR de plántulas de tomate verde. A 22 dds vermicompost fue el sustrato en donde el crecimiento fue mayor y en tanto que peat moss el menor, los valores para todos los sustratos superan ($0.15 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$

día⁻¹), valor que se indica para algunas especies hortícolas a los 18 días. A los 29 dds se registró una disminución para todos los sustratos siendo en vermicompost más notoria, exceptuando este último los demás sustratos superaron los 0.12 g g⁻¹ día⁻¹ que se indican en muestreos realizados a los 30 días. Para los 35 dds se apreció un aumento en los valores con excepción del peat moss, aunque este aumento no superó los valores iniciales. Para este muestreo OASIS® fue el sustrato en donde se registraron los valores más elevados, y que superaron lo señalado para especies hortícolas (0.2 g g⁻¹ día⁻¹) en un periodo de 36 días. Los sustratos con menor crecimiento fueron peat moss y vermicompost (Borrego *et al.*, 2000 y Barraza *et al.*, 2004).

El comportamiento de esta especie indica un crecimiento elevado en los primeros días y luego un descenso, debido a que es una especie que presenta mayor precocidad en su desarrollo (Hernández-García, 2011).

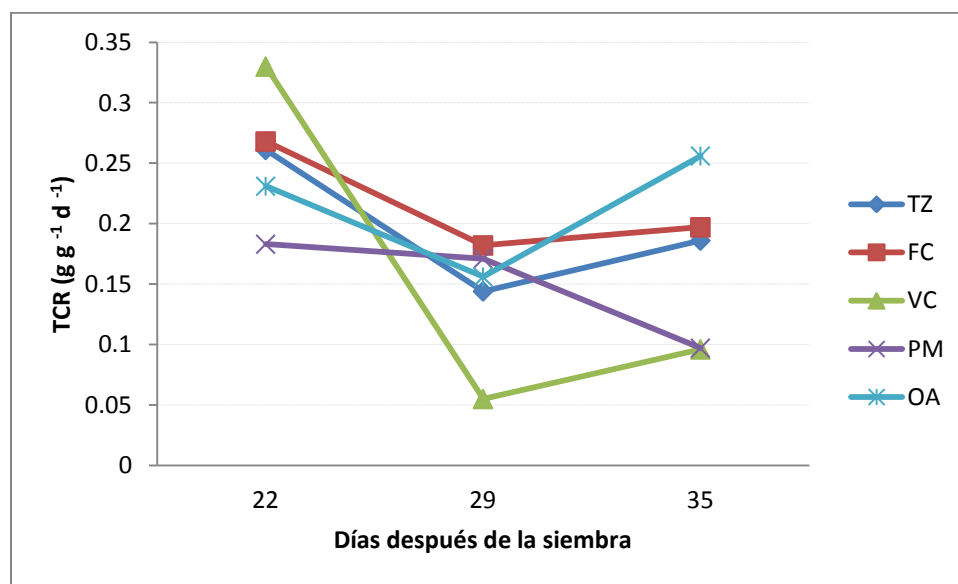


Figura 30. Tasa de crecimiento relativo TCR para plántulas de Tomate verde en los distintos sustratos empleados TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

La tasa de crecimiento relativo, representa la eficiencia de las plántulas para producir cierta cantidad de materia seca nueva en un tiempo determinado, esto es una medida del balance entre la capacidad potencial de fotosíntesis y el costo respiratorio, además se propone como una medida que integra el

comportamiento fisiológico de las plantas. Los valores de TCR fueron descendientes para la mayoría de las especies en los distintos sustratos, durante el periodo de tiempo (35 dds). Esto se explica ya que, a pesar de existir una correlación positiva entre TCR y la proporción de hojas, también se ha encontrado que TCR está correlacionada negativamente con la proporción de biomasa asignada a la raíz, y a la vez con la reducción proporcional del tejido meristemático, debido a que durante la fase inicial del crecimiento la cantidad de células que se están diferenciando en los tejidos y órganos es mayor respecto a la cantidad de células meristemáticas (Villar *et al.*, 2004; Sedano *et al.*, 2005; Hernández-Vázquez, 2010; Rojas-Velázquez, 2010 y Hernández-García, 2011).

6.5 Análisis nutrimental en plántulas

6.5.1 Nitrógeno total

La Figura 31 muestra las concentraciones de nitrógeno. Para tomate verde germinado en placa OASIS® mostró mayor concentración (62.8 g kg), seguido de fibra de coco (46.7 g kg), tezontle (42.7 g kg), peat moss (34.1 g kg) y vermicompost (33.7 g kg). El OASIS® por sus características químicas (CIC y CE) permitió buena disponibilidad de este ión para el tomate verde, por lo que el valor es cercano a lo indicado por Magdaleno *et al.*, (2006b) de 6%, quienes utilizaron disolución Steiner al 50%. Las concentraciones de las plantas desarrolladas en fibra de coco, tezontle, peat moss y vermicompost se encontraron cercanas al intervalo (3.4 a 4.4 %) que indican Magdaleno *et al.*, (2006a) para esta especie.

En brócoli las concentraciones de nitrógeno fueron: en fibra de coco (49.5 g kg), tezontle (49.2 g kg), vermicompost (40.6 g kg), peat moss (35.4 g kg) y placa OASIS® (27.7 g kg). Con excepción de OASIS® los valores se encontraron dentro del intervalo (3.8 a 6.5%) que se menciona como óptimo para este cultivo, esto indica que los sustratos no inhibieron la absorción de nitrógeno en brócoli (Carranza *et al.*, 2008 y Días-Serrano 2011).

Para jitomate el tezontle y peat moss presentaron la misma concentración de nitrógeno total (34.9 g kg), vermicompost (34 g kg), fibra de coco (33.4 g kg) y placa OASIS® (25 g kg). Con excepción de OASIS® el resto de los sustratos no presentaron diferencias notables entre si y propiciaron concentraciones que están en el intervalo de 3.2 a 4.1% para plántulas de jitomate utilizando turba, tezontle y compost. El tezontle a pesar de ser inerte y el vermicompost presentando elevadas concentraciones de sodio (1423ppm), propiciaron adecuada absorción de este ión (Villegas *et al.*, 2001; Villegas *et al.*, 2005; Caniguante *et al.*, 2009).

Para pepinillo las concentraciones fueron en vermicompost (36.7 g kg), fibra de coco (34.7 g kg), tezontle (33.7 g kg), peat moss (29 g kg) y placa OASIS® (28.4 g kg). Las concentraciones en todos los sustratos se encontraron dentro del intervalo de 2.8 a 6% que se manejan para fases iniciales de crecimiento (Carpena *et al.*, 1978; Cañizares *et al.*, 2005 y Moreno-Pérez *et al.*, 2010).

En pimiento las concentraciones en los distintos sustratos fueron, en placa OASIS® (47 g kg), la fibra de coco (46.4 g kg), el peat moss (46.3 g kg), el tezontle (45.3 g kg) y el vermicompost (45.2 g kg), esto indica que todos los sustratos proporcionaron una buena asimilación de N ya que estos valores están en el intervalo de 2.4 a 6%, adecuado para chile (Anónimo, 2011 y Hernández-Hernández, 2011). Cabe resaltar que en esta especie la absorción de nitrógeno fue muy homogénea independientemente del sustrato utilizado.

La mayoría de las concentraciones observadas se encontraron dentro de intervalos adecuados para cada una de las especies, lo que indica que los sustratos permitieron una adecuada asimilación del mismo, a pesar de ser un elemento que tiene una movilidad muy alta en el sustrato, se lixivia fácilmente con agua y se volatiliza de igual manera en forma de gas. Este elemento es importante ya que contribuye en el crecimiento de la planta, debido a que forma parte de moléculas en las células vegetales, como aminoácidos, proteínas, enzimas y clorofila. La forma química en que este sea aplicado es de gran importancia en la respuesta de crecimiento en las plántulas. A medida que aumenta el suministro de nitrógeno, las proteínas sintetizadas a partir de los aminoácidos, se transforman

en crecimiento de las hojas, aumentando la superficie fotosintética (Hernández, 2002; Yañez, 2002 y Paz-Bautista, 2004).

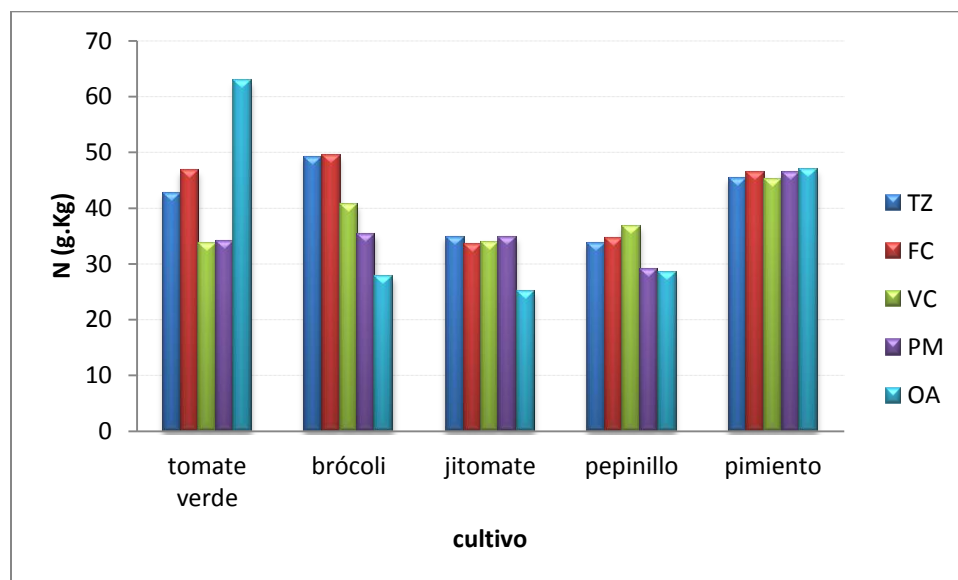


Figura 31. Concentración de nitrógeno total en el tejido vegetal de las especies estudiadas en función del sustrato en que se trabajó TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

6.5.2 Fósforo

Los niveles de fósforo se presentan en la Figura 32, en la que se observa que para el tomate verde el sustrato que favoreció la concentración fue el vermicompost, seguido de fibra de coco, placa OASIS®, tezontle y peat moss. A pesar de que el vermicompost presentó la mayor concentración de P en comparación al resto de los sustratos para este cultivo no se encontró diferencia significativa. Estos niveles están dentro del intervalo de 0.27 a 0.48% que se reporta para esta especie (Magdaleno *et al.*, 2006a y Magdaleno *et al.*, 2006b).

En brócoli la mayor concentración se presentó en vermicompost seguido de fibra de coco, peat moss, tezontle y placa OASIS®. Aun cuando vermicompost tiene altas concentraciones. De estos resultados los sustratos vermicompost y fibra de coco son los que se encontraron dentro de lo que se sugiere como óptimo en este cultivo (0.45-0.8%) (Castellanos, 1998; Carranza *et al.*, 2008 y Díaz-Serrano, 2011).

Para jitomate la mejor concentración de fósforo se presentó en vermicompost, posteriormente peat moss, fibra de coco, tezontle y placa OASIS®. A pesar de que los valores se encontraron por debajo de lo mencionado por algunos autores para esta especie (0.74-0.97%), los sustratos vermicompost, fibra de coco, peat moss y tezontle propiciaron niveles de P dentro del intervalo considerado como adecuado de 0.3 a 0.8% (Villegas *et al.*, 2001; Villegas *et al.*, 2005 y Anónimo, 2011).

En pepinillo el vermicompost mostró mayor concentración, seguido de peat moss, fibra de coco, placa OASIS® y tezontle. Aunque vermicompost presentó una diferencia notoria con respecto al resto de los sustratos, todos se encontraron dentro del rango considerado como adecuado para esta especie que es de 0.3 a 0.7% (Cañizares *et al.*, 2005; Moreno-Pérez *et al.*, 2010 y Anónimo, 2011).

Para pimiento el sustrato que favoreció la absorción de P fue la fibra de coco, seguida de vermicompost, peat moss, tezontle y placa OASIS®. Exceptuando OASIS® el resto de los sustratos favorecieron la concentración de P encontrándose dentro del intervalo adecuado de este elemento en chiles, siendo de 0.4 a 0.8% (Anónimo, 2011 y Hernández-Hernández, 2011).

De manera general se observa que el vermicompost fue el sustrato que favoreció la asimilación del fósforo en los distintos cultivos, lo que indica que las propiedades microbianas, metabolitos, así como reguladores de crecimiento que contiene el vermicompost pueden aumentar el rendimiento de las plántulas, a pesar de que el vermicompost utilizado en este experimento presentó altas concentraciones de calcio (75 ppm), elemento antagónico con el fósforo (Moreno, 2005). Los resultados muestran que las concentraciones de fósforo son adecuadas, lo que es significativo ya que es un elemento que tiene un papel fisiológico muy importante, debido a que es un constituyente de los ácidos nucleicos, fitina, fosfolípidos fosfoproteínas y dinucleótidos, participa en la fotosíntesis, regulación de enzimas y transporte de carbohidratos. Su función central es ser el componente principal de los compuestos energéticos del metabolismo vegetal ATP, ADP y NADP, por lo que participa en la transferencia de

energía. Es esencial para la división celular y el desarrollo de tejidos meristemáticos de tallo y principalmente de raíz ya que incrementa su proliferación ayudando al enraizamiento. En las primeras etapas de la vida de las plantas es importante en el retraso del crecimiento de las partes reproductivas (Hernández, 2002; Yáñez, 2002; Paz-Bautista, 2004 y Carranza *et al.*, 2008).

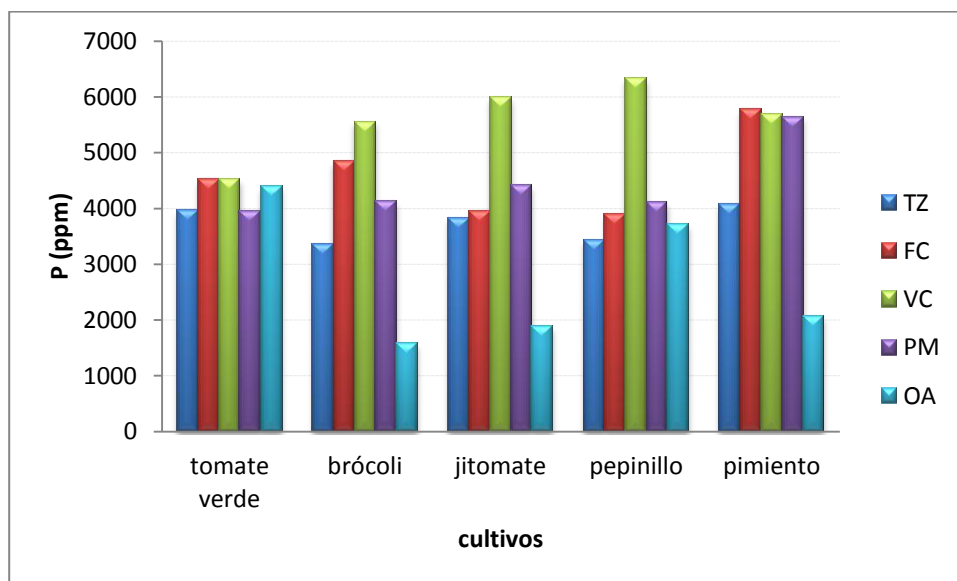


Figura 32. Concentración de fósforo en el tejido vegetal de las especies estudiadas en función del sustrato en que se trabajó TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

6.5.3 Potasio

La Figura 33 muestra las concentraciones de potasio. En tomate verde el vermicompost presentó las mayores concentraciones, seguido de fibra de coco, tezontle, placa OASIS® y peat moss, estos resultados se encuentran por debajo del intervalo de 6.3 a 9.1% que se indica para plántulas de tomate verde (Magdaleno *et al.*, 2006a y Magdaleno *et al.*, 2006b).

En brócoli el mejor sustrato fue vermicompost, posteriormente fibra de coco, tezontle, peat moss y placa OASIS®. Estas concentraciones también fueron bajas ya que están fuera del intervalo 2.9 a 6% que se indica para esta especie (Castellanos, 1998 y Carranza *et al.*, 2008).

Para jitomate la concentración de K fue mayor en tezontle, seguido de vermicompost, fibra de coco, peat moss y placa OASIS®. Los niveles observados estuvieron por debajo del intervalo 2.2 a 5% que se señala como adecuado para esta especie (Villegas *et al.*, 2001; Villegas *et al.*, 2005 y Anónimo, 2011).

En pepinillo el vermicompost fue el sustrato que favoreció la concentración, seguido de fibra de coco, peat moss, tezontle y placa OASIS®. El vermicompost fue el único sustrato que presentó una concentración dentro del intervalo 2.5 a 6% que se entiende como adecuado (Cañizares *et al.*, 2005; Moreno-Pérez *et al.*, 2010 y Anónimo, 2011).

Para pimiento el peat moss fue el mejor sustrato, posteriormente vermicompost, fibra de coco, tezontle y placa OASIS®. Las concentraciones están por debajo de 2.4 a 6.5% lo que se considera adecuado para la especie (Anónimo, 2011 y Hernández-Hernández, 2011).

De manera general las concentraciones de potasio se encontraron por debajo de lo que se señala como óptimo para todas las especies en todos los sustratos. El vermicompost fue el sustrato que propició las concentraciones de potasio más elevadas para todas las especies, a pesar de ser un sustrato que tiene altos niveles de sodio (1423 ppm), ión que provoca un efecto antagónico con el K y por lo tanto una menor absorción de este. Sin embargo los bajos niveles de K se deben principalmente al calcio y magnesio presente en los sustratos, lo que deriva en un descenso de K en las plántulas ya que existe un fenómeno de antagonismo del Ca y Mg con el K (Herencia *et al.*, 2006; Carranza *et al.*, 2008 y Martínez *et al.*, 2011). A pesar de estas bajas concentraciones las plántulas no se vieron afectadas ya que el K es considerado un elemento altamente móvil en los vegetales, principalmente en los tejidos meristemáticos, tiene un papel fundamental en el mantenimiento del potencial osmótico de las células y tejidos, así como del estado hídrico general de las plántulas. Es importante para los movimientos estomáticos y en la turgencia de las plántulas. La absorción por vía radical es altamente selectiva y se encuentra implicada con la actividad metabólica de la plántula. (Hernández, 2002; Paz-Bautista, 2004 y Carranza *et al.*, 2008).

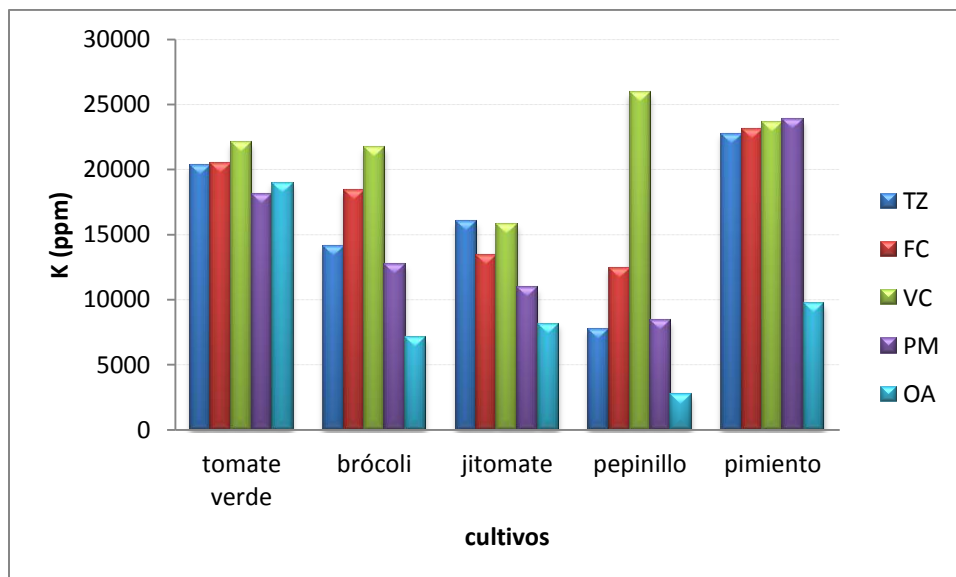


Figura 33. Concentración de potasio en el tejido vegetal de las especies estudiadas en función del sustrato en que se trabajó TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

6.5.4 Calcio

Los niveles de calcio se observan en la Figura 34, en donde se aprecia que, para tomate verde el sustrato que propició la mayor concentración fue placa OASIS®, seguida de tezontle, peat moss, fibra de coco y vermicompost. Estos resultados muestran que todos los sustratos propiciaron concentraciones dentro de intervalo 0.5 a 1.6%, indicado como adecuado en esta especie (Magdaleno *et al.*, 2006a y Magdaleno *et al.*, 2006b).

En brócoli la placa OASIS® favoreció una mayor concentración de Ca, seguida de tezontle, fibra de coco, peat moss y vermicompost. Todos los sustratos propiciaron una acumulación de Ca que se encontró dentro del intervalo de suficiencia 1 a 2.5% que se menciona para esta especie (Castellanos, 1998; Carranza *et al.*, 2008; Anónimo, 2011 y Díaz-Serrano, 2011).

Para jitomate el sustrato que propicio mayor cantidad de Ca fue el tezontle, le siguió peat moss, placa OASIS® fibra de coco y vermicompost. Estos resultados

se encontraron dentro del intervalo 1 a 6% que se indica como adecuado para este cultivo (Villegas *et al.*, 2005; Caniguante *et al.*, 2009 y Anónimo, 2011).

En pepinillo el sustrato más favorable fue tezontle, seguido de peat moss, placa OASIS®, vermicompost y fibra de coco. Los sustratos tezontle, peat moss y OASIS® mostraron concentraciones dentro del intervalo de 1.25 a 5%, considerado óptimo para la especie. Vermicompost y fibra de coco estuvieron por debajo de dicho intervalo (Carpena *et al.*, 1978; Cañizares *et al.*, 2005 y Anónimo, 2011).

Para pimiento el tezontle fomentó mayor concentración de Ca, seguido de peat moss, fibra de coco, vermicompost y placa OASIS®. Tezontle, peat moss y fibra de coco fueron los sustratos que propiciaron concentraciones que se encontraron dentro del intervalo de suficiencia de 0.75 a 2.5% para la especie, vermicompost y OASIS® estuvieron por debajo de dicho intervalo (Noh, 2010 y Anónimo, 2011).

A pesar de que las concentraciones de calcio en el tejido vegetal que propició el vermicompost se encontraron dentro de los intervalos adecuados para la mayoría de los cultivos, las concentraciones presentaron una diferencia notable en comparación con el resto de los sustratos. Lo anterior se debe a que una de las características del vermicompost es que posee una carga enzimática y bacteriana que permite la mineralización paulatina de los nutrimentos, aunque se presenten concentraciones adecuadas del elemento, en este caso de Ca (Martínez *et al.*, 2011). Sin embargo el desarrollo plantular no se vio afectado ya que este es un elemento que actúa como mensajero en la conducción de señales ambientales externas, modula la acción de todas las hormonas vegetales regulando la germinación, crecimiento y desarrollo, es esencial para la formación y desarrollo inicial de todos los órganos y tejidos de las plantas debido a que es indispensable para la formación de células así como para los procesos de división y elongación celular. Además impide daños a la membrana celular y controla el intercambio iónico, evitando el escape de sustancias intracelulares. Se requiere para la conformación de las paredes celulares, mantener la estabilidad de las membranas,

determina la calidad y favorece una mejor defensa de las plantas frente a enfermedades (Hernández, 2002; Yañez, 2002; Paz-Bautista, 2004 y Carranza *et al.*, 2008).

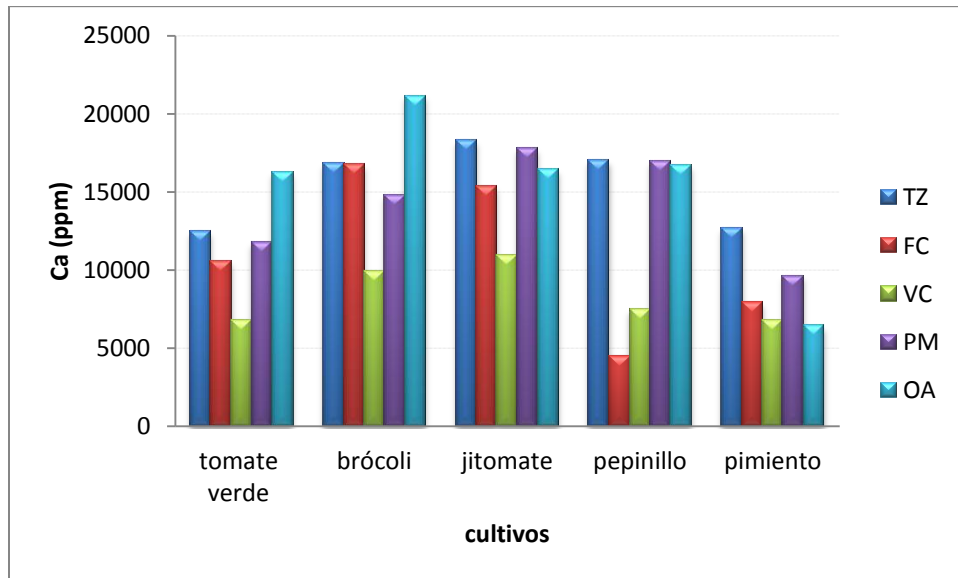


Figura 34. Concentración de calcio en el tejido vegetal de las especies estudiadas en función del sustrato en que se trabajó TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

6.5.5 Magnesio

En la Figura 35 se presentan los niveles de magnesio. Para tomate verde la fibra de coco fue el sustrato de mayor concentración, seguido de tezontle, placa OASIS®, vermicompost y peat moss. Las concentraciones en OASIS®, vermicompost y peat moss se encontraron dentro del intervalo 0.5 a 1% que se considera adecuado para la especie, en tanto que fibra de coco y tezontle superan estos niveles (Magdaleno *et al.*, 2006a; Magdaleno *et al.*, 2006b y Anónimo, 2011).

En brócoli la fibra de coco fue el sustrato que favoreció los niveles de Mg seguida de tezontle, vermicompost, placa OASIS® y peat moss. El intervalo recomendado de este elemento para la especie es de 0.4 a 0.8%, las concentraciones en peat moss y OASIS® se encontraron dentro del mismo, en

tanto que fibra de coco, tezontle y vermicompost presentaron concentraciones superiores (Castellanos, 1998; Carranza *et al.*, 2008 y Díaz-Serrano, 2011).

Para jitomate la concentración más elevada se obtuvo en vermicompost, seguido de fibra de coco, tezontle, peat moss y placa OASIS®. Peat moss y OASIS® fueron los sustratos que propiciaron una absorción de Mg dentro del intervalo 0.48 a 1% considerado como adecuado para esta especie. vermicompost, fibra de coco, y tezontle superan estos niveles (Caniguante *et al.*, 2009 y Anónimo, 2011).

En pepinillo el sustrato que proporcionó mayor absorción de Mg fue el tezontle, después placa OASIS®, peat moss, vermicompost y fibra de coco. Para esta especie todos los sustratos propiciaron una concentración dentro del intervalo de suficiencia de 0.5 a 1.5% (Carpena *et al.*, 1978; Cañizares *et al.*, 2005 y Anónimo, 2011).

Para pimiento el mayor contenido de Mg se presentó en fibra de coco, seguido de vermicompost, tezontle, peat moss y placa OASIS®. El intervalo de suficiencia para esta especie es de 0.5 a 1%, por lo que peat moss y OASIS® son los sustratos que propiciaron niveles de este elemento dentro de intervalo. Fibra de coco, vermicompost y tezontle superan lo recomendado (Noh, 2010 y Anónimo, 2011).

Debido a que el magnesio es un elemento que queda adsorbido en el sustrato y no se lixivia queda disponible en grandes cantidades y por periodos prolongados para las plántulas, y si a esto se suma la cantidad de Mg provista por la disolución nutritiva esto provoca que las concentraciones de este elemento sean elevadas en el tejido vegetal (Cabrera, 1998 y Carranza *et al.*, 2008). La importancia de este elemento radica en ser el único constituyente mineral de la molécula de clorofila que se localiza en su centro, es un elemento que presentándose en concentraciones suficientes y con reservas puede producir clorofila en cantidades más elevadas, esto ayuda a que la planta tenga mayor vigor, así como mejorar la resistencia a enfermedades. Es importante en la síntesis de clorofila así como en la regulación del pH de la disolución que se

encuentra dentro de las plantas (Hernández, 2002; Yañez, 2002 y Paz-Bautista, 2004).

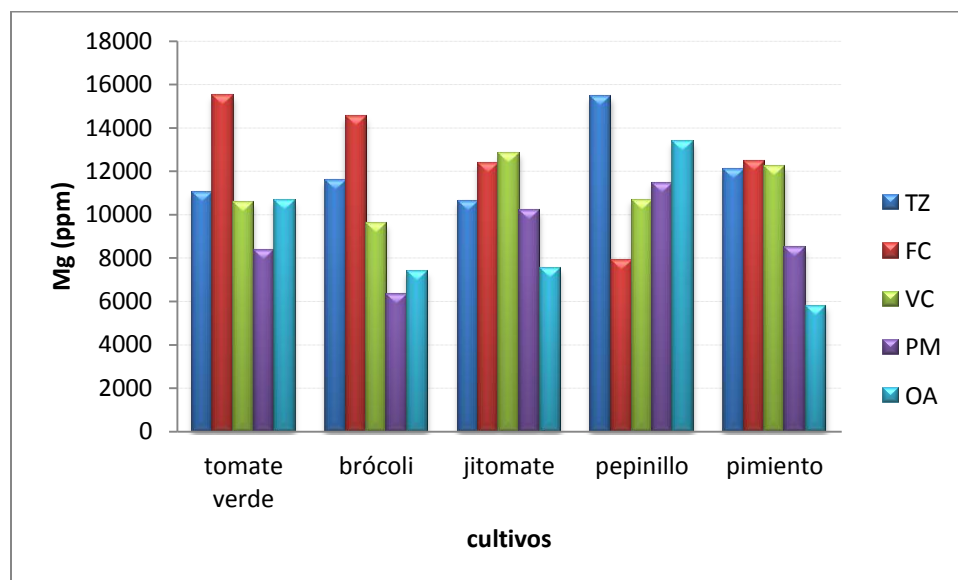


Figura 35. Concentración de magnesio en el tejido vegetal de las especies estudiadas en función del sustrato en que se trabajó TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

6.5.6 Azufre

En la Figura 36 se observan las concentraciones de azufre. Para tomate verde, peat moss fue quien propició mayor concentración, seguido de tezontle, placa OASIS®, fibra de coco y vermicompost. Las concentraciones registradas en OASIS®, fibra de coco y vermicompost son las que se encontraron dentro del intervalo de 0.25 a 0.5% que se considera como adecuado (Anónimo, 2011).

En brócoli la fibra de coco fue el sustrato con mayor concentración seguido de vermicompost, tezontle, peat moss y placa OASIS®. Exceptuando a la fibra de coco el resto de los sustratos proporcionaron concentraciones de S dentro del intervalo de suficiencia 0.3 a 1.5%, que se indica para el cultivo (Anónimo, 2011). Este cultivo fue el que más azufre absorbió y es uno de los elementos que está en mayor concentración en el cultivo.

Para jitomate la mayor concentración de S se obtuvo en peat moss, posteriormente en tezontle, fibra de coco, vermicompost y placa OASIS®. Exceptuando a peat moss los demás sustratos presentaron concentraciones dentro de lo establecido como adecuado para la especie de 0.5 a 0.9% (Anónimo, 2011).

En pepinillo el peat moss fue un sustrato que presentó la mayor concentración de S seguido de tezontle, fibra de coco, vermicompost y placa OASIS®. Los sustratos que propiciaron concentraciones dentro de intervalo (0.3-1%) fueron fibra de coco, vermicompost y OASIS®, los valores de peat moss y tezontle estuvieron por encima del intervalo mencionado (Anónimo, 2011).

Para pimiento el sustrato que propició mayor concentración de S fue el tezontle, posteriormente peat moss, vermicompost, fibra de coco y placa OASIS®. Las concentraciones de todos los sustratos se encontraron dentro del intervalo adecuado para la especie de 0.3 a 0.6% (Anónimo, 2011).

En general los sustratos empleados favorecieron la concentración de azufre, ya que los valores se encontraron dentro de los intervalos adecuados para cada una de ellas. En el caso del brócoli fue la especie que presentó mayores concentraciones en comparación a las otras, esto es normal debido a que en la familia de las crucíferas, la función del azufre está muy relacionada con la formación de aceites esenciales a partir de diferentes glucósidos. Por esto los niveles de S en brócoli son superiores (Lazcano, 1998). Además participa en la formación de cisteína y metionina, que son aminoácidos que conforman los enlaces fuertes de la estructura de las proteínas y enzimas que lo contienen. Juega un papel muy importante en la activación de la enzima nitrato reductasa, necesaria para la conversión de NO_3 . Forma compuestos orgánicos volátiles que dan olores característicos a algunas especies hortícolas. La deficiencia de este elemento se manifiesta como un amarillamiento de hojas y retardo del crecimiento (Lazcano, 1998; Hernández, 2002; Yañez, 2002 y Paz-Bautista, 2004).

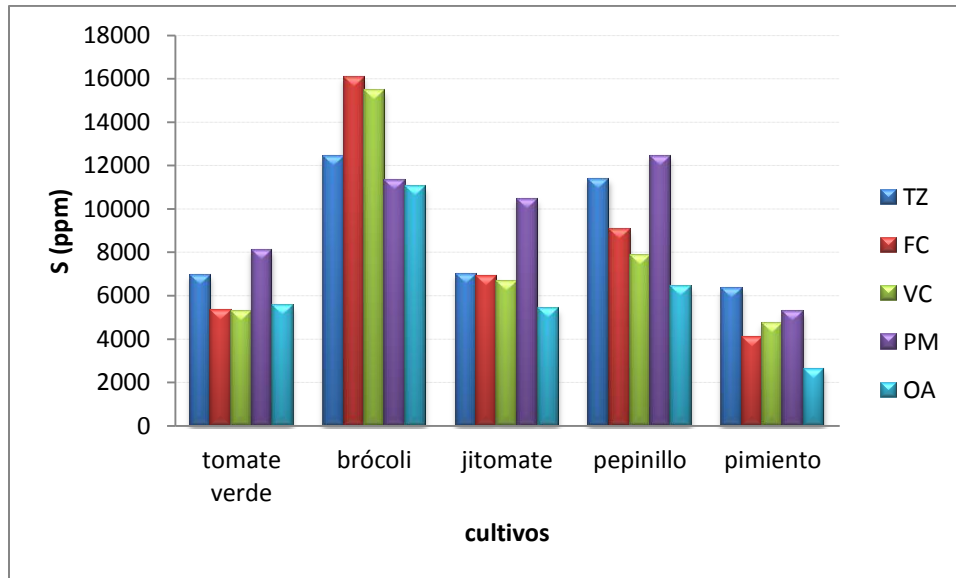


Figura 36. Concentración de azufre en el tejido vegetal de las especies estudiadas en función del sustrato en que se trabajó TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

6.5.7 Hierro

En la figura 37 se muestran las concentraciones de hierro, que para tomate verde el sustrato donde la concentración fue mayor es placa OASIS®, seguido de tezontle, peat moss, fibra de coco y vermicompost. Con excepción de OASIS® el resto de los sustratos propició una adecuada concentración dentro del intervalo 75 a 200 ppm (Magdaleno *et al.*, 2006a y Anónimo, 2011).

Para brócoli, el tezontle propició una concentración elevada de Fe, seguido de vermicompost, peat moss, fibra de coco y placa OASIS®. El intervalo adecuado de Fe para esta especie es de 50 a 250 ppm lo cual exceptuando al tezontle el resto de los sustratos brindaron una concentración de este elemento que está dentro del intervalo (Castellanos, 1998; Anónimo, 2011 y Díaz-Serrano, 2011).

En jitomate la mayor concentración de Fe fue proporcionada por fibra de coco, seguido de tezontle, peat moss, vermicompost y placa OASIS®. Peat moss, vermicompost, y OASIS® presentaron valores que se encuentran dentro del

intervalo de suficiencia 100 a 200 ppm para esta especie, fibra de coco y tezontle presentaron valores por encima de dicho intervalo (Anónimo, 2011).

Para pepinillo el tezontle propició la concentración de Fe más elevada, posteriormente peat moss, fibra de coco, vermicompost y placa OASIS®. Todos los sustratos utilizados proporcionaron una concentración que se encuentra dentro de lo establecido para esta especie 50 a 240 ppm (Carpena *et al.*, 1978 y Anónimo, 2011).

En pimiento el sustrato en donde los niveles de Fe fueron mayores fue el tezontle seguido de peat moss, vermicompost, fibra de coco y placa OASIS®. Con excepción de OASIS® que presentó valores menores, el resto de los sustratos presentaron concentraciones dentro del intervalo de 100 a 250 ppm indicado para el chile (Noh, 2010 y Anónimo, 2011).

Las concentraciones de hierro observadas en el tejido foliar de las plántulas presentaron un comportamiento homogéneo para las especies en los distintos sustratos, ya que la mayoría se encontraron dentro de los intervalos considerados como adecuados. Este microelemento es esencial para las plantas, ya que forma parte de citocromos, proteínas y participa en reacciones de oxido-reducción. Se encuentra en relación con la producción de clorofila así como en el proceso de fotosíntesis, también forma parte de una gran cantidad de enzimas respiratorias. Cuando se presenta deficiencia parcial se origina un amarillamiento intervenal y en ocasiones total en hojas jóvenes. Cuando la carencia es mayor se presenta necrosis tanto en las puntas de los brotes como en las hojas (Hernández, 2002; Yañez, 2002 y Paz-Bautista, 2004). Los niveles de Fe que presentaron tomate verde en OASIS® y brócoli en tezontle están muy por encima de lo reportado, lo que se atribuye a un error metodológico.

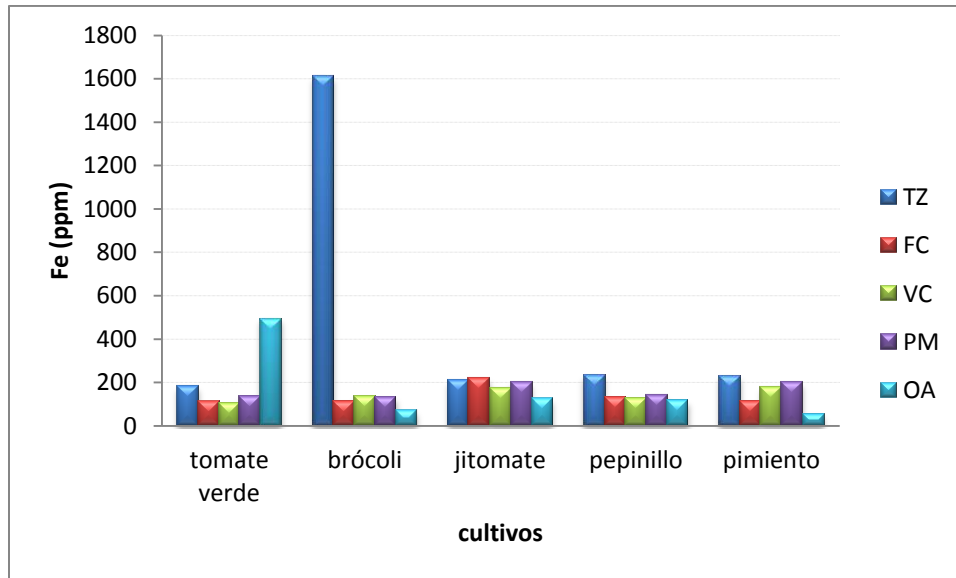


Figura 37. Concentración de hierro en el tejido vegetal de las especies estudiadas en función del sustrato en que se trabajó TZ= Tezontle, FC= Fibra de Coco, VC= Vermicompost, PM= Peat Moss, OA= Placa OASIS®.

6.6 Análisis de los sustratos

Los análisis no se efectuaron para la placa de germinación OASIS®, ya que estos son espumas absorbentes rígidas. Estos productos han sido sometidos a pruebas de laboratorio para cumplir los estándares de calidad que aseguren un rendimiento óptimo, analizando los factores críticos de crecimiento que afectan la germinación, absorción de agua, disponibilidad de nutrimentos y rapidez en el enraizamiento como: pH, CE, CIC, densidad, tiempo de saturación, retención de agua y escurrimiento (OASIS, 2011).

6.6.1 Análisis químico

En el Cuadro 3 se muestran las propiedades químicas resumidas de los sustratos: pH, CIC, CE y MO. Los análisis de las propiedades químicas de los sustratos son importantes debido a que caracterizan las transferencias de materias entre el sustrato y la solución del sustrato así como su efecto en el desarrollo de las plantas. Estas transferencias son reacciones de disolución e hidrólisis de los minerales (químicas), de intercambio de iones (físico-químicas) y de

biodegradación de la materia orgánica (bioquímicas) (Ortega-Martínez, 2010 y Quesada y Méndez, 2005a).

Cuadro 3. Propiedades químicas pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Conductividad Eléctrica (CE) y Materia Orgánica (MO) para los sustratos trabajados FC= Fibra de Coco, TZ= Tezontle, PM= Peat Moss y VC= Vermicompost.

Propiedades químicas				
Sustrato	pH	CIC meq 100g ⁻¹	CE mS	MO %
FC	6.53	5.04	0.20	66.33
TZ	9.16	0.65	0.24	0
PM	6.47	12.8	0.46	60.09
VC	8.15	20.8	7.66	20.50

A diferencia de las propiedades físicas de un sustrato, las propiedades químicas pueden ser, y son, modificadas a lo largo de un ciclo de producción, la evaluación inicial de estas es de suma importancia ya que en ellas se concentran las variables que podrían afectar en mayor grado la fase de establecimiento de los cultivos, además la asimilación de los nutrimentos depende en gran parte de estas propiedades, en especial pH y conductividad eléctrica (CE) además de capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el contenido de materia orgánica (MO) (García *et al.*, 2001).

Potencial de hidrógeno (pH)

En la medición del pH se observa que la fibra de coco y el peat moss son ligeramente ácidos (6.53 y 6.47), en tanto que el tezontle y el vermicompost son alcalinos (9.16 y 8.15). La fibra de coco presenta valores ubicados dentro del intervalo de 6.3 a 7.1. Los valores de peat moss concuerdan con el intervalo de 6.42 a 6.59, aunque el pH de las turbas depende de la procedencia y marca, ya que se encuentran reportes de 3.9. Los valores de tezontle se encuentran por encima del intervalo indicado (7.2-8.6). El vermicompost presentó un pH que está en el intervalo de 7.9 a 8.5, este valor se debe a que la función de las glándulas de Morren de la lombriz es secretar carbonato de calcio y producir una digestión alcalina (Villanueva *et al.*, 1998; García *et al.* 2001; Fierro *et al.*, 2004; Quesada y

Méndez, 2005a; Acevedo y Pire, 2008; Berrospe-Ochoa, 2010; Ortega-Martínez, 2010 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Se señala que un pH óptimo para el buen crecimiento de plantas en sustratos se encuentra entre 5.0 y 6.0, ya que en este rango se absorben la mayoría de los nutrimentos necesarios de forma adecuada, sin embargo, no se excluye que se puedan desarrollar satisfactoriamente fuera de este intervalo (Cabrera, 1998 y Díaz-Serrano, 2011).

Conductividad eléctrica (CE)

Para la conductividad eléctrica el valor de la fibra de coco (0.20 mS) se encuentra cercano al intervalo (0.25-0.31mS). En tezontle el valor fue 0.24 mS que concuerda con el intervalo de 0.12 a 0.29 mS. El peat moss (0.46 mS) se encuentra dentro del rango 0.28-1.20 mS para turbas comerciales. Los valores de vermicompost a pesar de ser elevados (7.66mS) están dentro del intervalo (3.98-17.20 mS) (Villanueva *et al.*, 1998; Valenzuela y Gallardo, 2002; Quesada y Méndez, 2005a; Quesada y Méndez, 2005b; Ortega-Martínez, 2010 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Debido a que la conductividad eléctrica es una medida indirecta de la concentración de sales en un sustrato, valores superiores a 3.5 mS afectan el establecimiento de la rizosfera. Exceptuando el vermicompost, el resto de los sustratos se encuentran en el intervalo que no afecta la germinación de la semilla, el crecimiento y desarrollo de las plantas, a pesar de esto se considera que tienen CE baja (0-1.0). Aunque el vermicompost presenta una CE elevada el proceso germinativo así como el desarrollo de las plántulas no se vió afectado debido a que una de las principales cualidades del vermicompost es favorecer estos procesos dado su contenido de factores de crecimiento (Cabrera, 1998; Moreno, 2005; Quesada y Méndez, 2005a y Díaz-Serrano, 2011).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La medición de CIC mostró que la fibra de coco presentó una CIC de 5.04 meq que es baja ya que esta debajo del intervalo 63-81.8 meq que se señala para este sustrato. Para el tezontle se obtuvo una CIC de 0.65 meq la cual se encuentra por debajo del rango 2.7-30 meq en este sustrato. El peat moss mostró una CIC de 12.8 meq lo que es bajo de acuerdo con el intervalo 50.9-62.8 meq. El Vermicompost presentó 20.8 meq de CIC valor cercano al intervalo 21.9-57.0 meq (Villanueva *et al.*, 1998; Muñoz-Jerez, 2007; Zarate-Nicolás, 2007; Berrospe-Ochoa, 2010; Cruz *et al.*, 2010 y Rodríguez *et al.*, 2010).

La capacidad de intercambio catiónico es aquella que presentan los sustratos para retener e intercambiar cationes a un determinado pH (Muñoz-Jerez, 2007). Estos cationes son retenidos por la materia orgánica a través de fuerzas electrostáticas, por lo que los materiales orgánicos son los que mayor CIC, lo que supone un depósito de reserva para nutrimentos como N, P, K, necesarios para un buen desarrollo de las plántulas. Se menciona como niveles óptimo valores >20 meq, siendo vermicompost el sustrato que cumple con esta cualidad. (Muñoz-Jerez, 2007; Zarate-Nicolás, 2007; Berrospe-Ochoa, 2010 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Materia orgánica (MO)

La fibra de coco presentó un 66.3% de materia orgánica, lo que es bajo ya que para este sustrato se tiene que el contenido de MO es de 93.7% (Zarate-Nicolás, 2007). Para peat moss el porcentaje de MO fue de 60.0%, concentración que se encuentra dentro del intervalo (10-93%). que se puede presentar en distintos tipos de turba. El vermicompost mostró un 20.5% de materia orgánica lo que es un porcentaje por debajo del intervalo 33-85% que se reporta para este sustrato. El tezontle obtuvo 0% ya que su contenido de materia orgánica es nulo. (Valenzuela y Gallardo, 2002; Berrospe-Ochoa, 2010; Cruz *et al.*, 2010 y Rodríguez *et al.*, 2010).

La concentración de materia orgánica en los sustratos se encuentra por debajo de lo considerado como ideal (>80%) Para el caso del vermicompost es

importante señalar que el tipo de insumos utilizados para su elaboración determina en gran medida las características del producto final, manifestándose variabilidad en ellos (Villanueva *et al.*, 1998; Zaráte–Nicolás, 2007 y Cruz *et al.*, 2010).

La pérdida de materia orgánica en todos los sustratos se atribuye a los compuestos orgánicos solubles en agua. La poca pérdida de esta permite considerarlos como materiales bioestables, que es la propiedad de un material orgánico de perder poco peso y conservar sus características físicas y químicas durante varios meses, especialmente cuando en él crecen plantas, por lo que la descomposición de la materia orgánica en el sustrato debe ser mínima ya que cualquier reducción significativa es perjudicial para el desarrollo normal de las plantas, por lo que hay que procurar que dichas características sean al inicio lo más altas o lo más cercano a lo considerado como ideal. (Muñoz-Jerez, 2007; Cruz *et al.*, 2010 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Concentración nutrimental en sustratos

Iones solubles

Nitrógeno total (N)

El porcentaje de Nitrógeno para fibra de coco fue 0.01%, valor que es bajo pero adecuado, ya que para este sustrato la concentración reportada de N presenta valores no determinados hasta 49%. El tezontle mostró una concentración de 0.008%, que es baja ya que para este sustrato se reportan concentraciones de 300ppm, 0.61% y 6mgL^{-1} . Para peat moss la concentración de N en fue 0.78 %, lo que entra en el intervalo de 0.59 a 0.81% que se reporta para turbas comerciales. El vermicompost mostró 0.92% de N total, valor que está en el rango 0.5-3.1% concentraciones que se presentan en distintos materiales vermicomposteados (Villanueva *et al.*, 1998; Castillo *et al.*, 2000; García *et al.*, 2001; Fierro *et al.*, 2004; Durán y Henríquez, 2007; Zaráte–Nicolás, 2007 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Los porcentajes de nitrógeno en los sustratos estudiados presentaron concentraciones por debajo de los niveles óptimos. Estos contenidos bajos de nitrógeno se deben a una mineralización lenta, ya que el nitrógeno orgánico debe

convertirse a inorgánico para poder ser absorbido por las raíces, este proceso varía según el origen del sustrato (Villanueva *et al.*, 1998; Castillo *et al.* 2000; Ortega-Martínez, 2010 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Fósforo (P)

La concentración de fósforo en fibra de coco fue de 0.74 ppm, que está por debajo de concentraciones como 20 mgL⁻¹, 1.7 y 44 ppm que se menciona para el sustrato. El tezontle mostró una concentración de 0.24 ppm, valor que se encuentra por debajo de niveles como 3.93 ppm y 7.6 mgL⁻¹ reportadas para este sustrato. En peat moss el nivel de P fue 18.54 ppm concentración que se encuentra dentro del intervalo 2.11-88.8 ppm. Vermicompost presentó una concentración de 29.11 ppm, valor que se encuentra por debajo de niveles como (0.027 a 2%) y 95.98 ppm (Villanueva *et al.*, 1998; Castillo *et al.*, 2000; García *et al.*, 2001; Quesada y Méndez, 2005a; Durán y Henríquez, 2007; Zaráte–Nicolás, 2007; Berrospe-Ochoa, 2010 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Las concentraciones de fósforo en los sustratos presentan gran variación, siendo fibra de coco y tezontle los que se encuentran por debajo de los rangos óptimos, (≥ 1.3 , 7-13, 6-10 y 56-100 mg L⁻¹). peat moss y vermicompost se encuentran dentro de estos intervalos. El mayor contenido de este elemento en peat moss puede deberse a que estos compuestos solubles son convertidos a formas menos solubles, por lo que son menos susceptibles a pérdidas, además de estar disponibles para las plantas por mayor tiempo (Cabrera, 1998;. Ortega-Martínez, 2010 y Zaráte–Nicolás 2007).

En vermicompost el contenido de fósforo se debe a que las lombrices ingieren junto con la materia orgánica grandes cantidades de este elemento, la cual al ser digerida en el intestino y ser acentuada por la enorme actividad microbiana, resulta en un excretado con alto contenido de fósforo (Castillo *et al.*, 2000 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Potasio (K)

La fibra de coco mostró 14 ppm de potasio que concuerda con las concentraciones reportadas para este sustrato 4.85 mg L⁻¹, 4.18 ppm y 594 mg L⁻¹, Para el tezontle la concentración de K fue 1.6ppm, menor a lo reportado para este sustrato 14.9 ppm y 52-580mg L⁻¹. En peat moss se cuantificó 10ppm, de K, esta concentración entra en el intervalo 10-46.4 ppm que se reporta para turbas. El Vermicompost presentó 615 ppm de K, resultado que está dentro de lo establecido para este sustrato 18.2 mg L⁻¹ y (0.11-6.8%). (Villanueva *et al.*, 1998; Castillo *et al.* 2000; García *et al.*, 2001; Fierro *et al.*, 2004; Quesada y Méndez, 2005a; Durán y Henríquez, 2007; Zarate–Nicolás, 2007 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Los sustratos no presentaron valores óptimos para este elemento ya que fibra de coco, tezontle y peat moss se encuentran por debajo de lo recomendado (≥ 21 , 156-235, 150-249 y 251-400 mg L⁻¹), esto se explica ya que el potasio no es adsorbido fuertemente al sustrato por lo que puede ser susceptible a pérdidas (Cabrera, 1998; Fierro *et al.*, 2004; Ortega-Martínez, 2010). El vermicompost supera estos intervalos, debido a que el proceso de vermicompostaje incrementa significativamente los niveles de este elemento, aunque también es posible que los residuos utilizados para su elaboración presenten un alto contenido de potasio (Castillo *et al.*, 2000 y Berrospe-Ochoa, 2010).

Calcio (Ca)

La fibra de coco mostró una concentración de calcio de 1.15 ppm, considerada baja según lo reportado para este sustrato (6.4-19 mg L⁻¹ y 3.94 ppm). Tezontle presentó 7.63 ppm de Ca, que se encuentra debajo de lo señalado para este sustrato (48-330 mg L⁻¹- 11.6 ppm). En peat moss la concentración de Ca fue 31.6 ppm, lo que es adecuado ya que concuerda con los reportes que se tienen para este sustrato (10-15.4 mg L⁻¹- 27-257.18 ppm). El Ca en vermicompost fue 75.4ppm que se encuentra dentro de lo reportado para el sustrato (7.1 mg L⁻¹ y 1.6-a 5.6%). (Villanueva *et al.*, 1998; García *et al.*, 2001; Fierro *et al.*, 2004;

Quesada y Méndez, 2005a; Durán y Henríquez, 2007; Zaráte–Nicolás, 2007 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Los niveles de calcio observados para fibra de coco y tezontle se encuentran por debajo de los intervalos considerados óptimos (≥ 30 , 50-100 y > 200 mg L⁻¹), peat moss y vermicompost mostraron concentraciones dentro de estos parámetros, este último fue el de mayor concentración, ya que el vermicompostaje incrementa las concentraciones de Ca (Zarate–Nicolás, 2007 y Berrospe-Ochoa, 2010).

Magnesio (Mg)

El nivel de magnesio en fibra de coco fue 1.3 ppm, encontrándose dentro de lo señalado para este sustrato (0.33-25 mg L⁻¹). En tezontle la concentración de Mg fue 8.1ppm, valor que concuerda con lo reportado para el sustrato (0.24 ppm y 30-25 mgL⁻¹). Para el peat moss la concentración de Mg fue de 19.7ppm, concentración normal de acuerdo con lo que se reporta para turbas (7-1.24 mg L⁻¹ y 4.4-223 ppm). En vermicompost el Mg fue 144.3 ppm, estando dentro de las concentraciones adecuadas (0.86 mgL⁻¹ 0.3-0.8% y 569.1ppm). (Villanueva *et al.*, 1998; García *et al.*, 2001; Fierro *et al.*, 2004; Quesada y Méndez 2005a; Durán y Henríquez, 2007; Zaráte–Nicolás, 2007 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Fibra de coco y tezontle presentaron niveles de magnesio que se encuentran por debajo de lo considerado como óptimo (≥ 10 , 18-37, 26 – 35 y > 70 mg L⁻¹) en tanto que peat moss y vermicompost tuvieron concentraciones consideradas óptimas. Ca y Mg son elementos que quedan adsorbidos por el sustrato, por lo que no son fácilmente lixiviables y por lo tanto quedarán disponibles para las planta por períodos largos (Cabrera, 1998; Zaráte–Nicolás, 2007 y Ortega-Martínez, 2010).

Las concentraciones de potasio, calcio y magnesio se pueden incrementar cuando se conforma un sustrato en mezcla, ya que las reacciones internas y el intercambio de las fases sólidas, líquidas y gaseosas de los sustratos al

mezclarse, hacen que estos elementos estén más disponibles en la solución del medio. (Quesada y Méndez, 2005a).

Hierro (Fe)

La fibra de coco mostró una concentración de hierro de 3.1 ppm, que es un valor elevado, ya que se reportan valores traza hasta 0.04 mgL^{-1} . Tezontle presentó alta concentración de Fe (2.6 ppm), ya que para este sustrato la concentración reportada es traza. La concentración de Fe en peat moss fue 85.3 ppm, concentración elevada ya que para este sustrato se reportan niveles traza y 0.95 mgL^{-1} . El Fe en vermicompost fue 19.1 ppm, lo que es adecuado en este sustrato ya que se reportan concentraciones traza hasta 26489 mgKg^{-1} (Fierro *et al.*, 2004; Quesada y Méndez 2005a; Quesada y Méndez, 2005b y Durán; Henríquez, 2007).

El tezontle es el único de los sustratos evaluados que presentó una concentración dentro de los valores óptimos ($0.3\text{-}3.0 \text{ mg L}^{-1}$), fibra de coco también está muy cercano a estos valores. Sin embargo peat moss y vermicompost se encuentran por encima de este intervalo (Zaráte-Nicolás, 2007). Dependiendo de la capacidad de intercambio catiónico del sustrato, los micronutrientes son generalmente adsorbidos fuertemente por el sustrato, supliendo las necesidades del cultivo por períodos largos de tiempo (Cabrera, 1998).

Las diferentes concentraciones de los nutrientes asimilables en los sustratos evaluados, se debe principalmente al origen del material orgánico de estos, así como a los procesos de biotransformación que sufrieron (Ortega-Martínez, 2010 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Cuadro 4. Concentración de iones solubles N, P, K, Ca, Mg y Fe para los sustratos trabajados FC= Fibra de Coco, TZ= Tezontle, PM= Peat Moss y VC= Vermicompost.

Concentración de iones solubles en sustratos						
sustrato	N	P	K	Ca	Mg	Fe
	%	-----ppm-----				
FC	0.014	0.745035	14.011	1.15986	1.37533	3.1068
TZ	0.0084	0.240675	1.61406	7.63785	8.11234	2.633
PM	0.781	18.5477	10.0614	31.6072	19.7353	85.3757
VC	0.924	29.1195	615.777	75.4442	144.38	19.1458

Iones intercambiables

Los iones intercambiables de los sustratos se presentan en el Cuadro 5. Estos iones son cationes que se encuentran retenidos en el sustrato los cuales pueden ser reemplazados por otros, proceden de la mineralización de la materia orgánica y de aportes externos. Por lo que los sustratos de origen orgánico poseen alta capacidad de adsorción de cationes y capacidad de intercambio, en comparación con los sustratos inorgánicos, lo que resulta en una mejor disponibilidad de nutrimentos para las plantas (Littleton-Robert, 2000 y Otero-Sen, 2010).

Cuadro 5. Concentración de iones intercambiables K, Ca, Mg y Na para los sustratos trabajados FC= Fibra de Coco, TZ= Tezontle, PM= Peat Moss y VC= Vermicompost.

Concentración de iones intercambiables en sustratos				
sustrato	K	Ca	Mg	Na
	-----ppm-----			
FC	906.825	1331.43	1261.47	441.112
TZ	16.2071	863.865	495.076	43.237
PM	259.446	13136.6	3684.72	110.523
VC	3497.42	9834.14	4693.75	1423.31

Los niveles de potasio fueron mayores en vermicompost, seguido de fibra de coco, peat moss y finalmente tezontle. El calcio fue más elevado en peat moss, después en vermicompost, fibra de coco y tezontle. Para magnesio el vermicompost presentó la mayor concentración, posteriormente peat moss, fibra de coco y tezontle. Finalmente el sodio presentó su mayor concentración en vermicompost,

después fibra de coco, peat moss y tezontle. Estos resultados concuerdan con lo indicado, ya que las concentraciones más elevadas se encontraron en los sustratos orgánicos (Littleton-Robert, 2000 y Otero-Sen, 2010).

6.6.2 Análisis físico

En el cuadro 6 se presentan las propiedades físicas resumidas de los sustratos utilizados densidad aparente (D_a), densidad real (D_r), porosidad de aire (P_a) y retención de humedad (R_h). El análisis de las propiedades físicas de los sustratos es considerado el más importante para un adecuado desarrollo de las plantas, ya que si son inadecuadas difícilmente se pueden mejorar o corregir una vez que el cultivo se haya establecido. A diferencia de las propiedades químicas que si pueden ser alteradas posteriormente (Cabrera, 1998; García *et al.*, 2004; Berrospe-Ochoa, 2010 y San Martín-Hernández, 2011).

Cuadro 6. Propiedades físicas: Densidad aparente (D_a), Densidad real (D_r), Porosidad de aire (P_a) y Retención de humedad (R_h), para los sustratos trabajados FC= Fibra de Coco, TZ= Tezontle, PM= Peat Moss y VC= Vermicompost.

Propiedades físicas				
sustrato	D_a (gcm^{-3})	D_r (gcm^{-3})	P_a (%)	R_h (%)
FC	0.133	3.66	215.789	10.18
TZ	1.600	7.985	7.75	5.09
PM	0.267	0.623	50.936	9.19
VC	1.084	2.121	21.494	10.46

Los sustratos deben permitir buena disponibilidad y retención de agua, promover un eficiente intercambio de gases y servir como soporte físico para la plántula. Las características físicas vienen determinadas por la estructura interna de las partículas, su granulometría y tipo de empaquetamiento, siendo las de mayor importancia: densidad aparente, densidad real, porosidad total, distribución granulométrica, porosidad, aeración, retención de humedad, permeabilidad y

distribución de tamaños de poros (Berrospe-Ochoa, 2010 y San Martín-Hernández, 2011).

Densidad aparente (Da)

La fibra de coco presentó una densidad de 0.13 gcm^{-3} que concuerda con el rango que se señala para este sustrato de 0.05 a 0.24 gcm^{-3} . Para el tezontle la Da fue de 1.6 gcm^{-3} , lo que es superior al intervalo 1.1 - 1.27 gcm^{-3} que reportan para este sustrato. Peat moss mostró una Da de 0.26 gcm^{-3} , que se encuentra dentro de lo investigado para turbas (0.08 - 0.27 gcm^{-3}). La Da del vermicompost fue de 1.08 gcm^{-3} , que se encuentra por encima del intervalo 0.16 - 0.19 gcm^{-3} que se reporta para este sustrato (García *et al.*, 2001; Fierro *et al.*, 2004; Quesada y Méndez, 2005a; Zarate-Nicolás, 2007; Berrospe-Ochoa, 2010; Ortega-Martínez, 2010; Rodríguez *et al.*, 2010 y San Martín-Hernández, 2011).

Todos los sustratos mostraron valores aceptables, debido a que se encuentran dentro de lo indicado como óptimo por distintos autores (0.3 - 0.6 y $<0.6 \text{ gcm}^{-3}$), lo cual es bueno ya que la densidad aparente afecta al crecimiento de las plantas, debido a la influencia que tienen la resistencia y la porosidad del sustrato sobre las raíces. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, y con esto se limita el crecimiento de las raíces. En el caso del vermicompost los valores de Da, se pueden explicar debido a que presentó mayor homogeneidad de partícula derivado de la acción de las lombrices durante el proceso de vermicompostaje, por lo que la porosidad disminuyó incrementando su densidad aparente (Zarate-Nicolás, 2007; Ortega-Martínez, 2010 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Densidad real (Dr)

Para fibra de coco la densidad real fue de 3.66 gcm^{-3} valor que supera el intervalo de 2.01 a 2.45 gcm^{-3} que se señala para este sustrato. La Dr del tezontle fue de 7.98 gcm^{-3} , valor que se encuentra por encima del intervalo 1.19 - 2.65 gcm^{-3} , que reportan para el sustrato. El peat moss presentó una Dr de 0.62 gcm^{-3} , un valor que se encuentra por debajo del intervalo 1.26 - 2.46 gcm^{-3} que señalan distintos

autores para las turbas. Vermicompost mostró una D_r de 2.12 gcm^{-3} valor que se encuentra dentro de lo reportado para este sustrato ($1.14\text{-}2.14 \text{ gcm}^{-3}$). (García *et al.*, 2001; Valenzuela y Gallardo, 2002; Ortega-Martínez, 2010; Rodríguez *et al.*, 2010 y San Martín-Hernández, 2011).

De los sustratos evaluados el vermicompost fue el único que presentó valores dentro de los considerados como óptimos ($1.45\text{-}2.65 \text{ gcm}^{-3}$), intervalo tanto para sustratos orgánico como minerales (García *et al.*, 2001; Zarate-Nicolás, 2007 y San Martín-Hernández, 2011).

Porosidad de aire (Pa)

La porosidad de aire que presentó la fibra de coco fue de 215.78%, valor que se encuentra por encima de 13.5% reportado para el sustrato. El tezontle mostró una Pa de 7.75%, encontrándose dentro del rango 5.14-20.5%, que se señala para tezontle. Para peat moss la Pa fue de 50.93%, valor que entra en el intervalo de 4.25 a 77.42% que reportan distintos autores en turbas. En vermicompost la Pa fue 21.49% resultado que concuerda con el intervalo (10.28-28%) que reportan para el vermicompost. (García *et al.*, 2001; Valenzuela y Gallardo, 2002; Durán y Henríquez, 2007; Zarate-Nicolás, 2007; Rodríguez *et al.*, 2010; San Martín-Hernández, 2011).

La porosidad de aire, también se conoce como el espacio que ocupa el aire en un sustrato, probablemente es la propiedad física más importante de los sustratos empleados en la horticultura para el crecimiento y desarrollo de un cultivo. Por lo que el intervalo considerado como óptimo oscila entre 10 y 30%, a pesar de esto la porosidad de aire, realmente debe ajustarse de acuerdo a la tolerancia de las plantas a los distintos niveles de aireación. El vermicompost es el sustrato que se encuentra dentro del intervalo recomendado (Cabrera, 1998; García *et al.*, 2001; Berrospe-Ochoa, 2010 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Retención de humedad (Rh)

La fibra de coco presentó una retención de humedad de 10.18%, encontrándose por debajo del intervalo 58.2-66% indicado para fibra de coco. La Rh en tezontle fue de 5.09%, un valor bajo ya que no entra en el intervalo (40.1-63%). Peat moss mostró 9.19% de Rh, valor bajo aunque concuerda con el intervalo de 8.71 a 69.5% que se reporta en turbas. El vermicompost presentó una Rh 10.46%, que se encuentra por debajo del intervalo que se reporta para este sustrato (13.8-61.56%). (García *et al.*, 2001; Arenas y Vavrina, 2002; y Méndez, 2005a; Durán y Henríquez, 2007; Ortega-Martínez, 2010; Rodríguez *et al.*, 2010 y San Martín-Hernández, 2011).

Se presenta una gran diferencia entre los valores considerados como ideales para la retención de humedad ya que van desde 4-10 % hasta 50-70% dependiendo del autor. Esto indica que los sustratos evaluados a pesar de tener Rh bajas están dentro de lo óptimo, siendo el tezontle el que presentó menor Rh, por lo que se recomienda sea mezclado con materiales que presenten una Rh mayor. Es importante que la Rh de los sustratos en contenedor sea elevada ya que el volumen del medio es pequeño, en relación con las pérdidas elevadas de agua por evapotranspiración (Cabrera, 1998; Fierro *et al.*, 2004; Quesada y Méndez, 2005a; Zarate-Nicolás, 2007 y San Martín-Hernández, 2011).

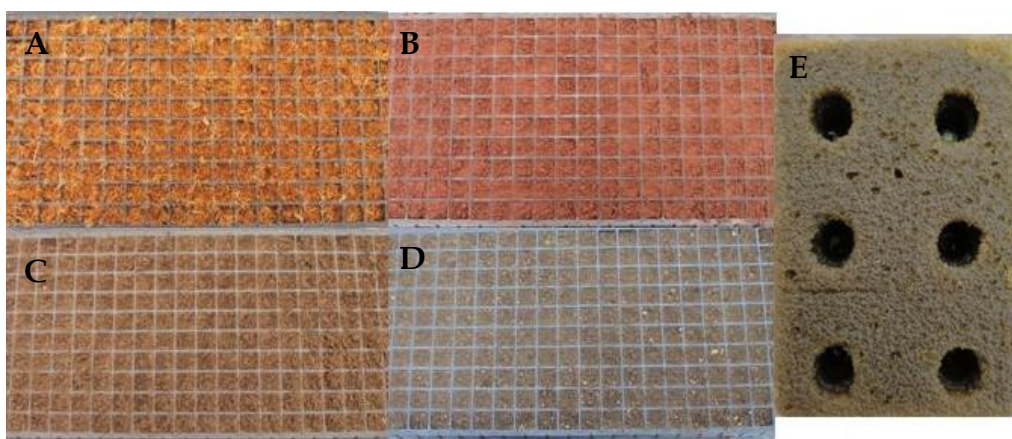


Figura 38. Sustratos utilizados. **A)** Fibra de Coco, **B)** Tezontle, **C)** Peat Moss, **D)** Vermicompost y **E)** Placa de germinación OASIS®.

7. CONCLUSIONES

A pesar de que todos los sustratos evaluados fueron adecuados para la germinación, el tezontle fue el sustrato en donde este proceso se presentó de manera más homogéneo para las especies estudiadas.

El vermicompost fue el sustrato que propició el buen desarrollo de las especies estudiadas, con mejores resultados para pepinillo, pimiento y tomate verde.

Exceptuando a la placa de germinación OASIS®, los otros sustratos evaluados produjeron una concentración nutrimental dentro de los parámetros adecuados en el tejido vegetal.

El vermicompost es el sustrato que favoreció el buen desarrollo y asimilación de nutrimentos en las plántulas, debido a que presenta propiedades físicas y químicas adecuadas, por ello es un sustrato que es una buena alternativa como sustituto de peat moss para la producción de almácigos de hortalizas.

8. LITERATURA CITADA

Acevedo I.C. y Pire R. 2008. Caracterización de sustratos hortícolas enmendados con lombricompost. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología* 25: 1-9.

Anónimo. 2002. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Semilleros: recomendaciones para su preparación y manejo fitosanitario en la cebolla de bulbo y otras hortalizas. Colombia.

Anónimo. 2010a. Monografía del pepino. Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria. México. 28.

Anónimo. 2010b. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP. Producción de plántula de chile en invernadero. Durango, México.

Anónimo. 2011. Análisis Foliare, Laboratorios A-L de México, S.A. de C.V.

Ansorena M.J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Ed. Mundi-Prensa. Bilbao. España.

Antonio G.J. 2008. Evaluación de la cascarilla de café para utilizarse como sustrato en cultivo sin suelo de hortalizas. Tesis de maestría en ciencias, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Oaxaca. 69 pp.

Arenas M., Vavrina C.S., Cornell J.A., Hanlon E.A. y Hochmuth G.J. 2002. Coir as an alternative to peat in media for tomato transplant production. *HortScience* 37 (2): 309-312.

Azcon-Bieto J. y Talon M. 2008. Fisiología y bioquímica vegetal. Ed. Mc Graw-Hil. Valencia, España.

Azofeifa A. y Moreira M.A. 2004. Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. Cv. Hot), en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28 (1): 57-67.

Bahena B.L., Macías R.L.; López G.R. y Bayuelo J. J.S. 2008. Crecimiento y respuestas fisiológicas de *Phaseolus* spp. en condiciones de salinidad. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(3): 213-223.

Barraza F.V., Fischer, G. y Cardona C.E. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. *Agronomía Colombiana* 22(1): 81-90.

Berrospe-Ochoa E.A. 2010. Sustratos alternativos a base de cachaza para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 127pp.

- Bidwell R.G.S.** 1979. Fisiología vegetal. Ed. A.G.T. Editor. México, D.F.
- Black C.A.** 1968. Soil plant relationship. Ed. John Wiley and Sons. New York.
- Blackmer T.M.** y Schepers J.S. 1995. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *Journal of Production Agriculture* 8: 56-60.
- Borrego F.**, Fernández J.M., López A., Parga V.M., Murillo M. y Carvajal A. 2000. Análisis de crecimiento en siete variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agronomía mesoamericana* 11(1): 145-149.
- Bustamante-Zepeda J.E.** 2010. Calidad física y fisiológica en semillas de híbridos de maíz de los valles altos de México y su relación con el establecimiento en campo. Tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 97 pp.
- Cabrera R.I.** 1998. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 5: 5-11.
- Caniguante R.S.**, Pizarro A.L., Pacheco C.P. y Bastías M.E. 2009. Respuesta de los cvs. de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) "poncho negro" y naomi en diferentes condiciones de crecimiento y la aplicación de un bioestimulante natural fartum® en condiciones de salinidad. *IDESIA* 27(3): 19-28.
- Cañizares K.A.L.**, Rodríguez J.D., Goto R. y Vilas Boas R.L. 2005. Influência da irrigação com água enriquecida com dióxido de carbono e da enxertia sobre o estado nutricional de plantas de pepino. *Horticultura Brasileira* 23(1): 09-14.
- Carpesa O.**, Luque A. y Pérez M.G. 1978. Variaciones en el contenido de nutrientes en hojas de pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivado en hidroponía, como base para el diagnóstico por análisis foliar. Documento online <http://acceda.ulpgc.es/bitstream/10553/440/1/51116.pdf> (consultado en junio de 2012).
- Carranza C.**, Lancho O. y Miranda D. 2008. Comportamiento de los nutrientes en tejido foliar en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) 'Coronado' y repollo (*Brassica oleracea*) híbrido 'Delus' cultivados en la Sabana de Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 2(1): 66-75.
- Castellanos J.Z.** 1998. El seguimiento de la nutrición del cultivo en los Sistemas de fertirrigación. Documento online. [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/754474B49CDF7AE106256AE8005F8C1B/\\$file/EL+SEGUIMIENTO+DE+LA+NUTRICION+DEL+CULTIVO+EN+LOS+SISTEMAS+DE+FERTIRRIGACION.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/754474B49CDF7AE106256AE8005F8C1B/$file/EL+SEGUIMIENTO+DE+LA+NUTRICION+DEL+CULTIVO+EN+LOS+SISTEMAS+DE+FERTIRRIGACION.pdf) (consultado en junio del 2012).
- Castillo A.E.**, Quarín S.H. e Iglesias M.C. 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaboradas a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura técnica. Chile* 60(1):74-79.

Camacho M F. 1994. Dormición de semillas causas y tratamientos. Ed. Trillas. México, D.F.

Cruz-Crespo E. 2010. Mezclas de vermicompost y tezontle, diseñadas mediante un programa de optimización en SAS, para el cultivo de tomate bajo invernadero e hidroponía. Tesis de doctorado en ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 86 pp.

Cruz C.E., Sandoval V.M., Volke H.V., Ordaz, C.V., Tirado, T.J.L. y Sánchez E.J. 2010. Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana* 28:219-229.

Defilipis C., Jiménez A.; Pariani S. y García M.D. 2006. Caracterización del crecimiento de plantines de *Brassica rapa* var. *pekinensis* en contenedores. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 39(1): 59-68.

Díaz-Serrano F.R. 2011. Paja de trigo como sustrato en el crecimiento de plántulas de brócoli. Tesis de doctorado en ciencias. Colegio de postgraduados campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 466 pp.

Durán L. y Henríquez C. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1): 41-51.

Espinoza P.M., Enríquez R.S., Cervantes M.S.A., Ramos N.J.M. y Silva A.K. 2003. Plan estratégico de investigación y transferencia de tecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. Cadena Agroalimentaria de Brócoli Etapa IV: Trayectoria y Prospectiva de la Oferta Tecnológica. Documento online <http://www.cofupro.org.mx/cofupro/Publicacion/Archivos/penit7.pdf> (consultado en septiembre de 2012).

Fierro A.A., González-López M.M., Montiel S.D., Ruiz J.D., Olivares O.L.J. y Romualdo J.C. 2004. Uso de sustratos en contenedores una práctica común en la horticultura ornamental, es práctica agrícola sostenible. Documento online. http://www.somas.org.mx/imagenes_somas2/pdfs_libros/agriculturasostenible6/61/47.pdf (consultado en junio de 2012).

Financiera rural. 2008. La producción de hortalizas en México. Dirección General adjunta de Fomento y promoción de Negocios, Dirección Ejecutiva de Diseño de Programas y Productos.

Flores-Almaráz R. 2005. Producción de ciclamen (*Cyclamen persicum* Mill.) en sustratos basados en polvo de bonote de coco. Tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 201 pp.

Flores-Rojas S. 2010. Determinación de dosis óptimas NPK en especies de interés económico y forestal en cultivo hidropónico. Tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 60 pp.

Galindo J.R. y Clavijo J. 2007. Modelos alométricos para estimar el área de los folíolos de arveja (*Pisum sativum* L.). Revista Corpoica–Ciencia y Tecnología Agropecuaria 8(1): 37-43.

García C.O., Alcántar G.G., Cabrera R.I., Gavi R.F. y Volke H.V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Terra Latinoamericana 19(3): 249-258.

García-Correa O. 1999. Materiales orgánicos como sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivados en maceta. Tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 113 pp.

Gastélum-Ferro W.K. 2007. Morfología y fisiología de la raíz de pimiento dulce (*Capsicum annuum* L.) con aireación en sustratos orgánicos y minerales. Tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 69 pp

Geraud F., Chirinos D., Marín M. y Chirinos D. 1994. Desarrollo de la planta de tomate, *Lycopersicon esculentum* Miller, cv. Río Grande en la zona del río Limón del Estado Zulia, Venezuela. II. Índice de crecimiento relativo, razón de peso foliar y gamma. Revista de la facultad de agronomía Universidad de Zulia 12: 15-23.

González–Romero S.L. 2009. Germinación de diferentes cultivos en condiciones de salinidad cuantitativa y cualitativa. Tesis de doctorado en ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 194pp.

Grime J.P. 1979. Plant strategies and vegetation processes. Ed. John Wiley & Sons, Chicchester, Reino Unido.

Handreck K. y Black N. 2002. Growing media for ornamental plants and turf. 3a ed. Ed. UNSW Press. Australia.

Hartmann H.T. y Kester D.E. 1991. Propagación de plantas. Ed. Prentice-Hall hispanoamericana. México D.F.

Herencia J.F., Ruiz J.C., Maqueda C., Melero S., García G.P.A., Naranjo S. y Ruiz P.J.C. 2006. Estudio comparativo del contenido en macro y micronutrientes en hortalizas cultivadas en invernadero con nutrición orgánica versus mineral. Memorias del VII Congreso SEAE Zaragoza. España. Documento online <http://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2006/CD%20Congreso%20Zaragoza/Ponencias/101%20Herencia%20Com-%20Estudio.pdf> (consultado en junio de 2012).

Hernández-García E. 2011. Eficiencia fisiológica de variedades de tomate de cáscara con diferentes hábitos de crecimiento. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados campus montecillo, Texcoco, Estado de México. 58 pp.

Hernández G.R. 2002. Nutrición mineral de las plantas. Libro botánica online. <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/#macronutrientes> (Consultado en junio de 2012).

Hernández-Hernández A. 2011. Ácidos húmicos y fúlvicos en la producción hidropónica de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) en invernadero. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 74pp.

Hernández-Vázquez B. 2010 Eficiencia de sistemas de producción del chile poblano para agricultura protegida. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 106 pp.

Hiderman J., Makino A., Kurita Y., Masa T. y Ojima K. 1992. Changes in the levels of chlorophyll and light-harvesting chlorophyll a/b protein of PS II in senescence. *Plant Cell Physiology*. 53: 1209-1214.

Ibarra J.L., Fernández B.J.M., Munguía L.J., Rodríguez H.S.A., Díaz P.J.C., Hernández M.J.L. y Farías L.J. 2001. Análisis del crecimiento en melón y pimiento con acolchado y Microtúnel. *Revista Fitotecnia Mexicana* 24(1): 39-48.

Lazcano F.I. 1998. El papel del azufre y el potasio en la producción de hortalizas de alta calidad en México. Documento online [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/CE4605B3701F2B5506256AE80063C02C/\\$file/EI+Papel.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/CE4605B3701F2B5506256AE80063C02C/$file/EI+Papel.pdf) (consultado en junio de 2012).

Leskovar D.I. 2001. Producción y ecofisiología del Trasplante hortícola. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Documento online <http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio1/Curso.pdf> (consultado en junio de 2012).

Littleton-Robert T.E. 2000. Evaluación de sustratos en el desarrollo de plantas de papaya (*Carica papaya*), en vivero. Tesis de Licenciatura Ingeniero Agrónomo Universidad EARTH. Guácimo, Costa Rica. 42pp.

Macías A. 2003. Enclaves agrícolas modernos: el caso del jitomate mexicano en los mercados internacionales. Colegio de Sonora. Región y Sociedad 15(26): 50.

Magdaleno V.J.J., Peña L.A., Castro B.R., Castillo G.A.M., Galvis S.A., Ramírez P.F. y Becerra L.P.A. 2006a. Efecto de tres sustratos y dos colores de plástico en el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) Revista Chapingo. Serie horticultura 12(2): 153-158.

Magdaleno V.J.J., Peña L.A., Castro B.R., Castillo G.A.M., Galvis S.A., Ramírez P.F. y Hernández H.B. 2006b. Efecto de soluciones nutritivas sobre el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) Revista Chapingo. Serie horticultura 12(2): 223-229.

Maldonado R.J. y Pacheco-Delahaye E. 2003 Curvas de deshidratación del brócoli (*Brassica oleraceae* L var. *Italica Plenck*) y coliflor (*Brassica oleraceae* L var. *Botrytis* L). Revista de la Facultad de Agronomía. <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S037878182003000300005&script=sci_arttext > (consultado en septiembre de 2011).

Martínez V.N., López A.C.V., Basurto S.M. y Pérez L.R. 2011. Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. Tecnociencia. Chihuahua 5(3): 156-161.

Molina-Quijada D.M.A. 2009. Contenido de compuestos fotoquímicos y su relación con la capacidad antioxidante de extractos de pimientos (*Capsicum annuum* L.) cultivados en el noroeste de México. Tesis de maestría en Biociencias, división de ciencias biológicas y de la salud departamento de investigaciones científicas y tecnológicas, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora. 86 pp.

Moreno-Pérez E. del C., Sánchez C.F., González M.L.A., Pérez M.C. y Magaña L.N. 2010. Efectos del volumen de sustrato y niveles de N-P-K en el crecimiento de plántulas de pepino. Terra Latinoamericana 29: 57-63.

Moreno R.A. 2005. Origen, importancia y aplicación de vermicomposta para el desarrollo de especies hortícolas y ornamentales. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL. Documento online <http://uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort05/vermicomposta.pdf> (consultado en junio de 2012).

Muñoz-Jerez Z. Del P. 2007. Comparación del sustrato de fibra de coco con los sustratos de corteza de pino compostada, perlita y vermiculita en la producción de plantas de *Eucalyptus globulus* (Labill). Tesis para obtener el título de Ingeniero Forestal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 38pp.

Noh M.J., Borges G.L. y Soria F.M. 2010. Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Tropical and Subtropical Agroecosystems. Universidad Autónoma de Yucatán, México 12(2): 219-228.

2011. Oasis® Horticube.

<http://sustratoshidroponicosoasis.blogspot.mx/2011/01/placas-de-cultivo-oasis-horticubes.html> (consultado en agosto de 2011).

Ortega-Martínez L.D. 2010. Efecto de los sustratos en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de postgraduados campus Puebla, Puebla, México. 116pp.

Otero-Sen O.T. 2010 Producción y evaluación de vermicomposta en hormigueros, sierra Nanchititla, México. Tesis de Licenciatura en Ciencias Ambientales. Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México. 53pp.

Páez A., Paz V. y López J.C. 2000. Crecimiento y respuestas fisiológicas de plantas de tomate cv. Río Grande en la época mayo-julio. Efecto del sombreado. Revista de la Facultad de Agronomía 17: 173-184.

Palma R.M.P., López H.A. y Molina M.J.C. 2000. Condiciones de almacenamiento y germinación de semillas de *Cenchrus ciliaris* L. y *Andropogon gayanus* kunth. Agrociencia 34(1): 41-48.

Palomo G.A., Orozco V.J.A., Gutiérrez del R.E., Espinoza B.A. y Rodríguez H.S. 2003. Análisis de crecimiento de variedades de algodón transgénicas y convencionales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México. Documento online <http://uaaan.mx/DirInv/Rdos2003/cultbasicos/analisis.pdf> (consultado en julio de 2012).

Paz-Bautista J.E. 2004. Efecto de la gallinaza y lirio acuático en el rendimiento de pepino. (*Cucumis sativus* L). San Miguel Petapa, Guatemala. Tesis de licenciatura en ingeniero agrónomo en sistemas de producción agrícola. Universidad de San Carlos de Guatemala. 55pp.

Pickershill B. 2007. Domestication of plants in the Americas: insights from mendelian and molecular genetics. Annals of botany 100: 925-940.

Piekielek W.P. y Fox R.H. 1992. Use of a chlorophyll meter to predict nitrogen requirements for maize. Agronomy. Jurnal 84: 59-65.

Quesada R.G. y Méndez S.C. 2005a. Análisis fisicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial en almácigos de hortalizas. Revista. Agronomía. Tropical 35: 01-13.

Quesada R.G. y Méndez S.C. 2005b. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. Agronomía mesoamericana 16(2): 171-183.

Redondo E. 1991. Importancia de las hortalizas en México. En Villanueva G., Corven J. y Campos A. (Eds). Taller regional centroamericano y consulta sobre planificación de investigación hortícola. San José, Costa Rica 113-126.

Resh H.M. 2001. Cultivos hidropónicos, nuevas técnicas de producción. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Rincón S.L., Sáez S.J., Pérez C.J.A., Pellicer C. y Gómez L.M.D. 1998. Crecimiento y absorción de nutrientes del melón bajo invernadero. Centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario. Documento online http://www.inia.es/gcontrec/pub/10-L.RINCON_1047905636162.pdf (consultado en junio de 2012).

Rincón S.L., Saez J., Perez C.J.A., Gomez L.M.D. y Pellicer C. 1999. Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. Unidad de Investigación y Producción Hortofrutícola. Documento online http://www.inia.es/gcontrec/pub/19.L.RINCON_1048157001828.pdf (consultado en junio de 2012).

Ríos-González P. 2010. Automatización del riego en sustratos. Tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 160 pp.

Rodríguez M.R., Alcantar G.E.G., Iñiguez C.G., Zamora N.F., García L.P.M., Ruiz L.M.A. y Salcedo P.E. 2010. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. Interciencia 35(7): 515-520.

Rodríguez I., Adam G. y Durán J.M. 2008. Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. Revista agropecuaria 78: 836-842.

Rodríguez-Guillén A. 2006. Injerto y composta para la producción intensiva de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones de suelo y cultivo sin suelo en invernadero. Tesis de doctorado en ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 98 pp.

Rodríguez M.M.N., Alcántar G.G., Aguilar S.A., Etchevers B.J.D., Santizó R.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.

Rodríguez-Navarro J.A. 1999. Efecto de la vermicomposta en la nutrición, rendimiento y pudrición radical y de la corona en el cultivo de (*Gerbera jamesonii* H. Bolus.). Tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 66 pp.

Rojas M. 1988. Fisiología vegetal aplicada. Ed. McGraw-Hill. México.

Rojas-Velázquez A.N. 2010. Cultivo hidropónico y manejo nutrimental de la producción anual de *antirrhinum majus* L. en condiciones de invernadero. Tesis de doctorado en ciencias, Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 74pp.

SAGARPA. 2003. Programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología de la cadena productiva de tomate verde en el estado de Puebla.

Sainz R.H. y Echeverría H.E. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. Revista de la Facultad de Agronomía 103(1):37-44.

Salisbury F. y Ross C.W. 2000. Fisiología de las plantas. Ed. Thomson Learning. España.

Sánchez del C.F. y Escalante R.E.R. 1983. Un sistema de producción de plantas; HIDROPONIA principios y métodos de cultivo. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México.

San Martín-Hernández C. 2011. Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en diferentes granulometrías de "tezontle". Tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 98 pp.

Sarli A. 1980. Tratado de horticultura. Ed. Hemisferio sur. Buenos Aires. Argentina,

Sedano C.G., González H.V.A., Engleman E.M. y Villanueva V.C. 2005. Dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de Calabacita. Revista Chapingo. Serie horticultura 11(2): 291-297.

Schnelle M.A. y Henderson J.C. 1991. Containers and Media for the Nursery. Oklahoma Cooperative Extension Fact Sheets. Oklahoma State University. Documento online <http://osufacts.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-1119/HLA-6706web.pdf> (consultado en julio de 2012).

Singh B.P. y Sainju U.M. 1998. Soil physical and morphological properties and root growth. *Horti Science* 33(6): 966-971.

Tittonell P.A., De Grazia J. y Chiesa A. 2002. Adición de polímeros superabsorbentes en el medio de crecimiento para la producción de plantines de pimiento. *Horticultura Brasileira* 20(4): 641-645.

Urrestarazu M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Valenzuela O. y Gallardo C. 2002. Un insumo clave en los sistemas de producción de plantines: Sustratos Hortícolas. Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. Argentina. Documento online <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210663.pdf> (consultado en junio de 2012).

Vargas-Oropeza J. y Martínez-Damian M. 2004. Un modelo econométrico del mercado del jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en México, 1970-1994. *Comunicaciones en Socioeconomía, Estadística e Informática* 8(2): 115-133.

Villanueva RE., Sánchez G.P., Rodríguez M.N., Villanueva N.E., Ortiz M.E. y Gutiérrez E.J.A. 1998. Efecto de reguladores del crecimiento y tipo de sustrato en el enraizamiento de kalanchoe. *Terra Latinoamericana* 16(1): 33-41.

Villar R., Ruiz-Robleto J., Quero J.L., Poorter H., Valladares F. y Marañón T. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En: Valladares, F. (Ed.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. 191-227.

Villegas T.O.G., Rodríguez M.M.N., Trejo T.L.I. y Alcántar G.G. 2001. Potencial de la miel de abeja en la nutrición de plántulas de tomate. *Terra Latinoamericana* 19(1): 97-102.

Villegas T.O.G., Sánchez G.P., Baca C.G.A., Rodríguez M.M.N., Trejo C., Sandoval V.M. y Cárdenas S.E. 2005. Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoamericana* 23(1): 49-56.

Yáñez R.J.N. 2002. Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. Tecnología, Comercio y Servicios Agrícolas Mundiales. Saltillo, Coahuila. Documento online <http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio2/Ponencia03.pdf> (consultado en junio de 2012).

Zárate-Nicolás B.H. 2007. Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hidropónico con sustratos, bajo invernadero. Tesis de maestría en ciencias. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-unidad Oaxaca. 159pp.

APÉNDICE 1

Análisis de varianza en las interacciones sustrato/cultivo de las variables morfológicas

Variable	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Pr > F
SPAD	3190.267642	24	132.927818	8.15	<.0001
Diámetro					
Tallo	135.3343544	24	5.6389314	40.68	<.0001
Longitud					
parte aérea	5266.362238	24	219.431760	52.32	<.0001
Volumen					
Raíz	29.76656000	24	1.24027333	41.69	<.0001
Área foliar	44141.76205	24	1839.24009	41.76	<.0001
Peso seco	2.06179623	24	0.08590818	26.60	<.0001

Análisis de varianza en sustratos de las variables morfológicas

Variable	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Pr > F
SPAD	346.2817536	4	86.5704384	3.26	0.0126
Diámetro					
Tallo	54.86958640	4	13.71739660	30.10	<.0001
Longitud					
parte aérea	2015.831686	4	503.957922	29.44	<.0001
Volumen					
Raíz	6.74816000	4	1.68704000	13.91	<.0001
Área foliar	17969.55895	4	4492.38974	30.50	<.0001
Peso seco	0.79116817	4	0.19779204	24.26	<.0001

Análisis de varianza para la variable SPAD en sustratos

Sustrato	Media	Tukey agrupamiento	Alfa=0.05
TZ	37.732	A	
FC	36.351	A B	
PM	35.668	A B	
OA	35.660	A B	
VC	34.096	B	

Análisis de varianza para la variable Diámetro de Tallo en sustratos

Sustrato	Media	Tukey agrupamiento	Alfa=0.05
VC	3.5496	A	
PM	3.2692	A B	
TZ	2.9056	C B	
FC	2.5702	C D	
OA	2.2438	D	

Análisis de varianza para la variable Longitud parte Aérea en sustratos

Sustrato	Media	Tukey agrupamiento	Alfa=0.05
VC	15.8800	A	
PM	15.7700	A	
TZ	12.7860	B	
FC	9.8260	C	
OA	9.1626	C	

Análisis de varianza para la variable Volumen de Raíz en sustratos

Sustrato	Media	Tukey agrupamiento	Alfa=0.05
PM	0.61400	A	
VC	0.47800	A B	
TZ	0.37400	C B	
FC	0.24600	C D	
OA	0.15000	D	

Análisis de varianza para la variable Área Foliar en sustratos

Sustrato	Media	Tukey agrupamiento	Alfa=0.05
PM	34.634	A	
VC	32.110	A	
TZ	22.584	B	
FC	16.884	B C	
OA	12.681	C	

Análisis de varianza para la variable Peso Seco en sustratos

Sustrato	Media	Tukey agrupamiento	Alfa=0.05
PM	0.22894	A	
VC	0.21155	A	
TZ	0.15250	B	
FC	0.10699	B C	
OA	0.08523	C	

Análisis de varianza en cultivos de las variables morfológicas

Variable	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Pr > F
SPAD	1635.575674	4	408.893918	19.18	<.0001
Diámetro					
Tallo	67.18225840	4	16.79556460	41.42	<.0001
Longitud					
parte aérea	2769.769126	4	692.442282	49.31	<.0001
Volumen					
Raíz	16.06336000	4	4.01584000	48.24	<.0001
Área foliar	20505.30978	4	5126.32744	37.44	<.0001
Peso seco	0.82897230	4	0.20724308	25.91	<.0001

Análisis de varianza para la variable SPAD en cultivos

Cultivo	Media	Tukey agrupamiento	Alfa=0.05
PE	40.3972	A	
BR	37.1260	B	
TO	34.2260	C	
PI	33.9580	C	
JI	33.8000	C	

Análisis de varianza para la variable Diámetro de Tallo en cultivos

Cultivo	Media	Tukey agrupamiento	Alfa=0.05
JI	3.3816	A	
PE	3.3488	A	
TO	3.2462	A	
BR	2.3908	B	
PI	2.1710	B	

Análisis de varianza para la variable Longitud parte Aérea en cultivos

Cultivo	Media	Tukey agrupamiento	Alfa=0.05
JI	16.9266	A	
TO	15.3800	A	
BR	13.2580	B	
PE	9.8280	C	
PI	8.0320	C	

Análisis de varianza para la variable Volumen de Raíz en cultivos

Cultivo	Media	Tukey agrupamiento	Alfa=0.05
TO	0.84800	A	
JI	0.36800	B	
BR	0.30600	B	
PE	0.23600	B C	
PI	0.10400	C	

Análisis de varianza para la variable Área Foliar en cultivos

Cultivo	Media	Tukey agrupamiento	Alfa=0.05
TO	32.982	A	
JI	31.006	A	
BR	28.736	A	
PE	16.239	B	
PI	9.931	B	

Análisis de varianza para la variable Peso Seco en cultivos

Cultivo	Media	Tukey agrupamiento	Alfa=0.05
JI	0.20876	A	
TO	0.20525	A	
BR	0.18747	A	
PE	0.12474	B	
PI	0.05901	C	

APÉNDICE 2

Tablas de resultados concentrados por variedad

Pepinillo

	Sustratos				
	TZ	FC	VC	PM	OA
SPAD	39.7	42	44.6	36.7	38.8
Diámetro del tallo en la base (mm)	3.418	2.85	4.33	3.39	2.74
Longitud parte aérea (cm)	8.76	6.58	13.36	13.81	6.63
Volumen de raíz (mL)	0.17	0.18	0.28	0.44	0.11
Área foliar (cm²)	16.11	8.79	23.55	21.2	11.52
Peso seco (g)	0.1226	0.0895	0.1777	0.1487	0.085
N (g Kg)	33.7	34.7	36.7	29	28.4
P (ppm)	3432	3896.22	6320.67	4105.9	3716.55
K (ppm)	7685.58	12452.86	25924.3	8429.66	2723.75
Ca (ppm)	16981.6	4475.12	7493.91	16965.46	16674.43
Mg (ppm)	15452.03	7869.57	10671.73	11467.2	13341.76
S (ppm)	11394.13	9048.02	7860.22	12474.06	6438.12
Fe (ppm)	230.11	129.66	127.43	142.14	116.28

Jitomate

	Sustratos				
	TZ	FC	VC	PM	OA
SPAD	36.1	35.2	30.2	34	33.3
Diámetro del tallo en la base (mm)	3.45	3.33	3.71	3.78	2.61
Longitud parte aérea (cm)	20.33	13.15	20.26	19.74	11.15
Volumen de raíz (mL)	0.33	0.28	0.27	0.78	0.18
Área foliar (cm²)	37.14	25.16	33.99	44.21	14.51
Peso seco (g)	0.2607	0.1679	0.2191	0.2721	0.1238
N (g Kg)	34.9	33.4	34	34.9	25
P (ppm)	3839.12	3951.7	5995.83	4420.23	1889.04
K (ppm)	16014.86	13489.7	15791.8	10924.13	8155.49
Ca (ppm)	18299.3	15373	10904.13	17781.93	16429.03
Mg (ppm)	10625.03	12385.93	12837.9	10198.96	7525.66
S (ppm)	7027.37	6935.38	6656.51	10477.43	5430.31
Fe (ppm)	208.99	220.7	174.64	199.32	123.76

Brócoli

	Sustratos				
	TZ	FC	VC	PM	OA
SPAD	40.2	35.3	32.9	37	40
Diámetro del tallo en la base (mm)	2.15	1.95	2.66	3.07	2.11
Longitud parte aérea (cm)	11.23	10.53	14.75	16.9	12.88
Volumen de raíz (mL)	0.2	0.21	0.42	0.53	0.17
Área foliar (cm²)	19.38	19.77	34.3	50.31	19.9
Peso seco (g)	0.1223	0.1022	0.2215	0.3442	0.1469
N (g Kg)	49.2	49.5	40.6	35.4	27.7
P (ppm)	3341.72	4846.29	5550.68	4129.48	1584.35
K (ppm)	14109.1	18420.9	21724.13	12712.31	7088.11
Ca (ppm)	16839.83	16780.2	9961.59	14799.73	21142.96
Mg (ppm)	11585.36	14509.3	9593.69	6321.59	7372.67
S (ppm)	12392.06	16099.2	15483.26	11344.93	11043.75
Fe (ppm)	1611.6	111.1	134.83	131.84	71.79

Pimiento

	Sustratos				
	TZ	FC	VC	PM	OA
SPAD	35.8	34.7	28.3	35.3	35.4
Diámetro del tallo en la base (mm)	2.28	1.93	2.67	2.43	1.52
Longitud parte aérea (cm)	7.5	6.33	11.14	9.78	5.41
Volumen de raíz (mL)	0.1	0.1	0.11	0.11	0.1
Área foliar (cm²)	8.89	5.5	19.17	14.07	2
Peso seco (g)	0.0542	0.0571	0.0952	0.0747	0.0136
N (g Kg)	45.3	46.4	45.2	46.3	47
P (ppm)	4066.32	5775.38	5692.5	5640.49	2062.06
K (ppm)	22782.7	23109	23639.2	23860	9715.71
Ca (ppm)	12693.7	7915	6788.88	9637.66	6403.5
Mg (ppm)	12080	12456.2	12220.43	8478.32	5801.14
S (ppm)	6327.27	4098.79	4748.37	5263	2624.62
Fe (ppm)	228.19	112.65	179.51	200.84	55.96

Tomate verde

	Sustratos				
	TZ	FC	VC	PM	OA
SPAD	36.6	34.3	34.3	35.1	30.6
Diámetro del tallo en la base (mm)	3.22	2.76	4.35	3.66	2.22
Longitud parte aérea (cm)	16.11	12.54	19.89	18.62	9.74
Volumen de raíz (mL)	1.07	0.46	1.31	1.21	0.19
Área foliar (cm²)	31.39	25.18	49.52	43.37	15.44
Peso seco (g)	0.2024	0.118	0.344	0.3048	0.0567
N (g Kg)	42.7	46.7	33.7	34.1	62.8
P (ppm)	3965.63	4513.4	4521.14	3944.33	4399.73
K (ppm)	20329.26	20425.6	22051.93	18126.3	19017.65
Ca (ppm)	12448.5	10580.4	6827.46	11757.56	16236.9
Mg (ppm)	11016.36	15463.2	10563.53	8349.87	10646.95
S (ppm)	6964.27	5319.36	5295.33	8114.47	5570.27
Fe (ppm)	181.55	110.33	104.97	132.76	493.47