

COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE EDAFOLOGIA

MONITOREO DE LA RETENCION Y ABSORCION DE AGUA EN
SUSTRATOS DE DIFERENTE GRANULOMETRIA

LUIS PINEDA MARIN

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

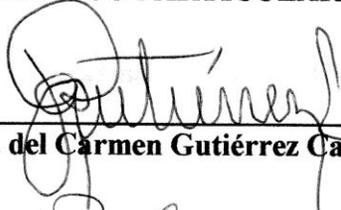
2011

La presente tesis titulada: “**MONITOREO DE LA RETENCION Y ABSORCION DE AGUA EN SUSTRATOS DE DIFERENTE GRANULOMETRIA**”, realizada por el alumno: **Luis Pineda Marín**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA**

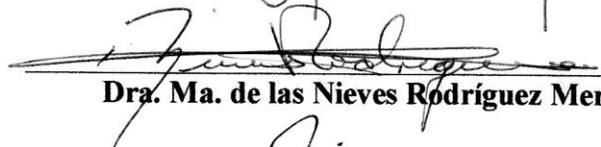
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA:



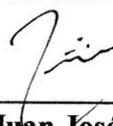
Dra. Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena

ASESORA:



Dra. Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza

ASESOR:



M. C. Juan José Escobar Aguayo

ASESORA:



M. C. Ma. Encarnación Lara Hernández

Montecillo, Texcoco, Estado de México. Septiembre de 2011

RESUMEN

MONITOREO DE LA RETENCION Y ABSORCION DE AGUA EN SUSTRATOS DE DIFERENTE GRANULOMETRIA

Luis Pineda Marin, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2011

Se evaluó el efecto del tamaño de partícula y frecuencia de riego en los cultivos de lechuga (*Lactuca sativa*) y jitomate (*Solanum esculentum Mill*) en semillero mantenidos en un invernadero tipo túnel. Las mezclas de sustratos fueron: fibra de coco-tezontle (Fc-Tz) (75:25 v/v) con dos tamaños de partícula (1-2 y 2-3 mm) y peat moss (sustrato comercial a granel) como testigo y las frecuencias de riegos (FR): 1 riego y dos riegos diarios (1RD y 2RD, respectivamente) y un riego cada tercer día (1RTD). Los nueve tratamientos se analizaron en un bloques al azar para dos factores con tres repeticiones. Se utilizaron charolas de unicele de 200 cavidades utilizando 30 cavidades por unidad experimental. Al tiempo del trasplante se evaluó: longitud de raíz (LR), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH), altura de planta (AP), peso seco de raíz (PSR), peso seco planta parte aérea (PSH) y contenido nutrimental en tejido vegetal. Para el caso de lechuga los resultados estadísticos ($p \leq 0.05$) mostraron efectos significativos en el tamaño de partícula de 2-3 mm con 2RD en: DT, AP, PSR y PSH así como en LR, DT, AP y PSR con 1RD además de una mayor extracción de macro y micronutrientes. El cultivo de jitomate no presentó diferencias estadísticas significativas en las variables evaluadas, excepto el T5 (Fc-Tz 2-3 mm) con 2RD donde ocurrieron las mejores respuestas en peso seco del tallo (PST) y PSH, superando al testigo. También presentó mayor extracción nutrimental la Fc-Tz de 2-3 mm. La homogenización del tamaño de partícula así como la frecuencia de riegos tuvieron un efecto significativo en la mezcla Fc-Tz (75:25 v/v) de 2-3 mm que se vio reflejado en un mejor desarrollo del cultivo. La capacidad que tuvo la mezcla fibra de coco-tezontle de 2-3 mm de conservar mayor tiempo la humedad se pudo constatar de manera más precisa con el uso de sensores, ya que estos permitieron monitorear la humedad presente en el sustrato y relacionarlo con el estrés hídrico que presentaron las plantas cuando alcanzaron tensiones arriba de 12 kpa.

Palabras clave: tamaño de partícula, mezclas de sustratos, retención de humedad, sensores de humedad.

ABSTRACT

MONITORING OF WATER ABSORPTION AND RETENTION SUBSTRATES OF DIFFERENT PARTICLE SIZE

Luis Pineda Marín, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2011

The effect of homogenization of particle size in three mixtures of substrates and three irrigation frequencies in cultures of Lettuce (*Lactuca sativa*) and tomato (*Solanum esculentum* Mill) in seedlings kept in a tunnel-type greenhouse. The mixtures were: coconut fiber-tezontle (CF-TZ) (75:25 v / v) with two particle sizes (1-2 and 2-3mm) and peat moss (commercial bulk substrate) as a witness, and three frequencies of irrigation (FI): A daily irrigation (DI), two daily watering (TDW) and watering every other day (WOD). New therapies are tested in a randomized block design for two factors with three replications. We used styrofoam trays of 200 cavities using 30 chambers per treatment. At the time of transplant was evaluated: root length (RL), stem diameter (SD), number of leaves (NL), plant height (PH), root dry weight (RDW), aboveground plant dry weight (PDW) and nutrient content in plant tissue. Lettuce In the case of statistical results ($p \leq 0.05$) showed significant effects on the particle size of 2-3mm in 2DW: SD, PH, RDW and PDW as well as in RL, SD, PH and RDW 1DI addition to increased extraction of macro and micronutrients.

The tomato crop showed no statistically significant differences in the variables evaluated, except T5 (CF-TZ 2-3 mm) with 2RD where the best responses occurred in the stem dry weight (SDW) and PDW, surpassing the witness. Also had higher nutrient extraction CF-TZ 2-3 mm. The particle size and frequency of irrigation had a significant effect on CF-TZ mixture (75:25 v / v) of 2-3 mm which was reflected in better crop growth. The ability of the mixture was coconut-tezontle 2-3 mm longer retain moisture it was found more accurately with the use of sensors, since they allowed to monitor the moisture in the soil and relate the water stress when plants had reached above 12 kPa tension.

Keywords: particle size, substrate mixtures, moisture retention, moisture sensors.

AGRADECIMEINTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

Al colegio de postgraduados y especialmente al área de edafología, por brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente.

Agradezco profundamente el apoyo que me brindaron incondicionalmente y que compartieron sus conocimientos para el enriquecimiento de la presente tesis, a mis asesores: Dra. Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena, Dra. Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza, M.C. María Encarnación Lara Hernández y al M.C. Juan José Escobar Aguayo.

Al Dr. Carlos A. Ortiz Solorio por aportar y compartir sus valiosos conocimientos a este trabajo.

Al personal del laboratorio de génesis, morfología y clasificación de suelos.

Al personal de laboratorio de Nutrición vegetal, especialmente a Lupita por brindarme incondicionalmente su apoyo.

DEDICATORIA

A Dios primeramente que es el único que hace que todos los sueños se hagan realidad, gracias
Padre eterno.

A mis padres que son los pilares donde me sostengo...

A mis hermanos que gracias a su ayuda incondicional han hecho posible este logro...

A la memoria de mis seres queridos que se han adelantado en esta vida...

Y a todas a aquellas personas que de alguna forma directa o indirectamente contribuyeron a la
realización de este trabajo: Carmelita, Enrique, Dulce, Carlos, Mario, Humberto, Ramiro,
Chorqui, Patricio, Arturo y muchos más que se me escapan...

A ti especialmente: Bella

CONTENIDO

Capítulo 1	Capítulo 1. Generalidades de los sustratos	1
1.1.	Introducción General	2
II.	Bibliografía	5
Capítulo 2	Influencia del tamaño de partícula en las propiedades hídras de los sustratos	7
1.	Definición de sustrato	8
2.	Propiedades físicas de los sustratos	8
3.	Propiedades de los Sustratos	9
4.	Fase líquida	9
5.	Fase gaseosa	12
6.	Efecto del tamaño de partícula en sustratos en mezclas y a granel	13
7.	Micromorfología y análisis de imágenes	16
8.	Uso de sensores de humedad en horticultura	18
9.	Sensores de humedad disponibles pero inadecuados	18
10.	Nutrición semillero	18
XI.	Conclusiones	20
XII.	Bibliografía	21
Capítulo 3	Quantification of porosity in substrates using software for image analysis with thin sections.	27
1.	Introduction	29
2.	Materials and Methods	30
3.	Results and Discussion	31
3.1.	Bulk Samples	31
3.2.	Different Particle Size	32
3.3.	Same Particle Size with Different Nature and Proportion	32
IV.	Conclusions	32
V.	Literature Cited	33
Capítulo 4	Capítulo 4. Efecto del tamaño de partícula y frecuencia de riegos en la retención de humedad	37
1.	Introducción	39
2.	Materiales y métodos	41
3.	Resultados y discusión	42

3.1. Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) variedad “Great leaks 118”	42
3.2. Jitomate (<i>Solanum esculentum</i> Mill) var. “Río Grande” Tipo Saladet	45
4. Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) var. “great leaks” con riego saturado cada tercer día.	47
5. Jitomate (<i>Solanum esculentum</i> Mill) var. “Río Grande” Tipo Saladet con riego saturado cada tercer día.	47
6. Monitoreo de la retención de humedad en sustratos con diferente tamaño de partícula	47
VIII. Conclusiones	48
IX. Bibliografía	49
Capítulo 5 . Efecto del tamaño de partícula y frecuencia de riegos en la extracción nutrimental en lechuga (<i>lactuca sativa</i> var. <i>Great leaks</i>) y jitomate (<i>solanum lycopersicom.</i>)	59
1. Introducción	61
2. Materiales y métodos	63
3. Resultados y discusión	64
3.1. Contenido Nutrimental en Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> var. <i>Great leaks</i>)	64
3.2. Concentración nutrimental en plántulas de lechuga con riego saturado cada tercer día ..	67
3.3. Área foliar a los 30DDS en lechuga con riego saturado cada tercer día	68
3.4. Contenido nutrimental en jitomate (<i>Solanum esculentum</i> M. tipo <i>Saladet</i> Var. <i>Río Grande</i>).....	69
4.1. Área foliar a los 35DDS en plántulas de jitomate.....	71
4.2. Estado nutrimental en jitomate con riego saturado cada tercer día	72
4.3. Área foliar a los 35DDS en plántulas de jitomate con riego saturado cada tercer día	72
5. Conclusiones	73
VI. Literatura citada	73

Lista de tablas

	Pagina
Tabla 1. Variación de la porosidad, densidad aparente y retención de agua de acuerdo con el grado de compactación según Zapata <i>et al.</i> (2005) y Nappi y Barberis (1993).....	13
Tabla 1. Concentración de nutrimentos en plántulas de lechuga a los 27 días después de la siembra.	76
Tabla 2. Concentración de micronutrimentos en hojas de lechuga con riego saturado.....	76
Tabla 3. Contenido nutrimental en hojas de jitomate a los 35DDS.....	76
Tabla 4. Contenido nutrimental en hojas de jitomate con riego saturado	76
Tabla 1. Total porosity and standard deviation values in materials with different particle sizes and bulk materials.....	35
Tabla 2. Variability of pore space, within the same particle size but with different nature and proportions.	35
Tabla 1. Concentración de nutrimentos en plántulas de lechuga a los 27 días después de la siembra.	76
Tabla 2. Concentración de micronutrimentos en hojas de lechuga con riego saturado.....	76
Tabla 3. Contenido nutrimental en hojas de jitomate a los 35DDS.....	76
Tabla 4. Contenido nutrimental en hojas de jitomate con riego saturado	76

Lista de figuras

Pagina

Figura 1. Curva de calibración de agua de un sustrato..... 12

Figure 1. Thin sections of the coconut fiber-tezontle mixtures (60:40 in v/v: of the same mixture a) with 60.92 % total porosity space (TPS), 10 % Standard deviation, (SD), 14.9% easily available water (EAW); and 3.4% less readily available water (LRAW); b) with 76.08% total porosity space (TPS), 8.9% standard deviation (SD); and c) with 60% total porosity space (TPS) and 6% standard deviation (SD). 36

Figure 2. Thin sections of vermicompost-tezontle (60-40 v/v) of the same mixture. a) with 52 % total porosity space (TPS), 6.8% standard deviation (SD); b) with 60% total porosity space (TPS), 7.2% standar deviation (SD); c) 71% total porosity space(TPS), and 7.8% standard deviation (SD). 36

Figure 3. Compost thin sections with different particles size. a) 3.36 mm, with 82% total porosity space (TPS), 10% standard deviation (SD), 1.2% reserve available water (RAW), 43% less readily available water (LRAW); b) 1 mm, with 75% total porosity space (TPS), 8.4% standard deviation (SD), 10% reserve available water (RAW), 37% less readily available water (LRAW); c) < 0.25 mm, with 51.5% total porosity space (TPS), 13.2% standard deviation (SD), 13% reserve available water (RAW), 24% less readily available water (LRAW)..... 36

Figura 1. a y b longitud de raíz con un riego diario y un riego cada tercer día respectivamente, c y d diámetro del tallo con un riego diario y dos riegos cada tercer día respectivamente, e y f número de hojas con un riego diario y un riego cada tercer día respectivamente. 53

Figura 2. a y b altura de planta con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente, c y d peso seco de raíz con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente, e y f peso seco de hojas con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente en el cultivo de lechuga..... 54

Figura 3. a y b longitud de raíz con un riego diario y un riego cada tercer día respectivamente, c y d longitud del tallo con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente, e y f diámetro del tallo con uno y dos riegos diarios respectivamente, g y h número de hojas con uno y dos riegos diarios respectivamente..... 55

Figura 4. a y b altura de planta con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente, c y d peso seco de raíz con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente, e y f peso seco de tallo con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente, g y h peso seco de hojas con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente..... 56

Figura 5. Monitoreo de la retención de humedad con el uso de sensores de humedad. 57

Figura 6. Monitoreo de la retención de humedad en tres mezclas de sustratos.....	57
Figura 7. Estrés hídrico en plantas de jitomate cultivadas en FC-TZ 2-3mm (75:25 v/v) y Peat moss a granel.	58
Figura 0-1. Thin sections of the coconut fiber-tezontle mixtures (60:40 in v/v: of the same mixture a) with 60.92 % total porosity space (TPS), 10 % Standard deviation, (SD), 14.9% easily available water (EAW); and 3.4% less readily available water (LRAW); b) with 76.08% total porosity space (TPS), 8.9% standard deviation (SD); and c) with 60% total porosity space (TPS) and 6% standard deviation (SD).	36
Figura 0-2. Thin sections of vermicompost-tezontle (60-40 v/v) of the same mixture. a) with 52 % total porosity space (TPS), 6.8% standard deviation (SD); b) with 60% total porosity space (TPS), 7.2% standar deviation (SD); c) 71% total porosity space(TPS), and 7.8% standard deviation (SD).	36
Figura 0-3. Compost thin sections with different particles size. a) 3.36 mm, with 82% total porosity space (TPS), 10% standard deviation (SD), 1.2% reserve available water (RAW), 43% less readily available water (LRAW); b) 1 mm, with 75% total porosity space (TPS), 8.4% standard deviation (SD), 10% reserve available water (RAW), 37% less readily available water (LRAW); c) < 0.25 mm, with 51.5% total porosity space (TPS), 13.2% standard deviation (SD), 13% reserve available water (RAW), 24% less readily available water (LRAW).	36
Figura 1. Extracción de Nitrógeno (N) y Potasio (K) en tejido vegetal. En: a) Tratamientos con un riego diario T1 (1-2 mm), T4 (2-3mm) y T7(Pm), b) tratamientos con dos riegos diarios: T2 (1-2 mm), T5 (2-3 mm) y T8 (Pm).....	77
Figura 2. Temperaturas máximas y mínimas en el interior del invernadero (marzo-abril 2011).	77
Figura 3. Extracción de P, Ca, Mg y Na en tejido vegetal. En: a) Tratamientos con un riego diario en lechuga, T1 (1-2 mm) T4 (2-3 mm) y T7 (Pm), b) tratamientos con dos riegos diarios: T2 (1-2 mm) T5 (2-3 mm) y T8 (Pm),.....	78
Figura 4. Efecto de la homogenización tamaño de partícula en el desarrollo de plántulas de jitomate con dos riegos diarios a los 27DDS.	78
Figura 5. Extracción de Nitrógeno (N) y Potasio (K) en tejido vegetal. En: a) tratamientos con un riego cada tercer día: T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm). Extracción de P, Ca, Mg y Na en tejido vegetal en: b) tratamientos con un riego cada tercer día: T3 (1-2mm), T6 (2-3mm) y T9 (Pm).	79
Figura 6. Efecto de la homogenización del tamaño de partícula en la retención de humedad y extracción nutrimental con un riego diario cada tercer día a los 27DDS.	79

Figura 7. Extracción de Nitrógeno (N) y Potasio (K) en tejido vegetal. En tratamientos con riego saturado cada tercer día: T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm).....	80
Figura 8. Extracción de P, Ca, Mg y Na en tejido vegetal en tratamientos con un riego saturado cada tercer día: T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm).....	80
Figura 9. Área foliar en plántulas de lechuga con riego saturado cada tercer día 30DDS	81
Figura 10. Extracción de Nitrógeno (N) y Potasio (K) en tejido vegetal. En: a) Tratamientos con un riego diario en jitomate, T1 (1-2 mm), T4 (2-3 mm) y T7 (Pm). b) Tratamientos con dos riegos diarios: T2 (1-2 mm), T5 (2-3 mm) y T8 (Pm),.....	81
Figura 11. Extracción de P, Ca, Mg y Na en tejido vegetal. En: a) Tratamientos con un riego diario en jitomate, T1 (1-2 mm) T4 (2-3 mm) T7 (Pm) y b) tratamientos con dos riegos diarios: T2 (1-2 mm) T5 (2-3 mm) y T8 (Pm).....	82
Figura 12. Efecto de la homogenización del tamaño de partícula en la extracción nutrimental en tratamientos con dos riegos diarios. 35DDS.....	82
Figura 13. Extracción de Nitrógeno (N) y Potasio (K) en tejido vegetal. En: a) tratamientos con un riego cada tercer día: T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm), b) Extracción de P, Ca, Mg y Na en tejido vegetal en: b) tratamientos con un riego cada tercer día: T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm).....	83
Figura 14. Área foliar en plántulas de jitomate a los 35DDS en tratamientos con un riego diario: T1 (1-2 mm), T4 (2-3 mm) y T7 (Pm). Con dos riegos diarios: T2 (1-2 mm), T5 (2-3 mm) y T8 (Pm). Con un riego cada tercer día T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm).	83
Figura 15. Extracción de Nitrógeno (N) y Potasio (K) en jitomate con riego saturado en: a) tratamientos con un riego cada tercer día: T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm), b) Extracción de P, Ca, Mg y Na en: tratamientos con un riego cada tercer día: T3 (1-2 mm), T6 (2-3mm) y T9 (Pm).....	84
Figura 16. Descripción de cepellones con riego saturado cada tercer día. a y b) Peat moss con película impermeable, c y d) fibra de coco-tezontle sin ella.	84
Figura 17. Área foliar en plántulas de jitomate con riego saturado a los 30DDS	85

Capítulo 1 Capítulo 1. Generalidades de los sustratos

1.1. Introducción General

La producción de plantas en contenedores, no siempre se utiliza materiales únicos como sustratos debido a que difícilmente satisfacen las necesidades hídricas del cultivo tales como aireación, retención de agua o fertilidad (Anicua, 2008). Algunos materiales inorgánicos como la perlita o vermiculita se agregan a los orgánicos (peat moss) para mejorar la textura, aumentar o disminuir la capacidad de retención de agua, así como mejorar el drenaje del sustrato (Murthy, 2005). Las materias primas que se utilizan en la producción de plántulas de hortalizas y plantas ornamentales en maceta están integrados principalmente de peat moss y tierra de monte sola o combinada con diferentes materiales inorgánicos (; Velázquez, 1995; Arias, 1994); sin embargo, por ser de importación, el peat moss incrementa el costo de producción y aunque presenta buena capacidad de retención de agua es difícil remojar después que se ha secado completamente (Olson *et al.*, 2002).

La fibra o polvo de coco, ha sido utilizado exitosamente como un sustituto del peat moss para el cultivo de plantas ornamentales (Handreck, 1993; Stamps e Evans, 1997) ya que sus propiedades hidráulicas y químicas son muy similares; no obstante, tiene problemas de conductividad eléctrica (CE) alta (Aendekerk *et al.*, 2000). Otro material ampliamente utilizado en México para la producción de tomate, pimiento y flores es el tezontle, ya que se caracteriza por su alta porosidad y área superficial (Baca, 1983; Baca *et al.*, 1990; Wallach *et al.*, 1992; Raviv *et al.*, 2002). El uso de peat moss mezclado con perlita o pómez ha sido evaluado en varios cultivos; sin embargo, para el caso de la fibra de coco mezclado con tezontle o pómez y manejando tamaños de partícula son escasos (Anicua *et al.*, 2008; Hernández, 2009).

Por otra parte, el uso de mezclas comerciales elaboradas con distintos materiales y diferentes proporciones que aparentemente aportan las características adecuadas para el desarrollo de los

cultivos, no indican el tipo de granulometría que tienen. Cada tamaño de partícula, en materiales de diferente naturaleza, tiene diferentes propiedades físicas (Anicua, 2008); por lo tanto, también tiene diferentes ventajas e inconvenientes. Gunnlaugsson y Adalsteinsson (1995), encontraron que las partículas de 1-4 mm de piedra pómez mejoraron la retención humedad, manejo de la solución nutritiva y porosidad, lo que propició un incremento en el rendimiento y calidad de tomate. Por su parte, Samadi (2011) evaluó diferentes tamaños de partícula en perlita sola y mezclada con aserrín, álamo y paja de trigo a diferentes proporciones y encontró que la perlita fina (100%) incrementó el rendimiento de pepino. Por su parte, Muratalla, (2003) reportó que las partículas de 1-2 mm de una mezcla tezontle-paja de maíz (50:50) presentó la mejor altura (8.18cm) en plántulas de jitomate; mientras que Bilderback y Lorscheider (1995) concluyó que las partículas de 6.4 mm de corteza de pino de doble procesado (CPDP) favorecieron el crecimiento de *Illicium parviflorum* en cuanto a peso seco de raíz y diámetro de tallo cuando se cultivó en (CPDP). Los otros siete sustratos que se evaluaron, en donde se incluye al peat moss tuvieron crecimientos inferiores. Esto significa que hay tamaños de partículas que potencializan el crecimiento de las plantas y otras las limitan, debido a que cada tamaño presenta diferentes propiedades hídricas (Anicua, *et al.*, 2009). No obstante, se desconoce las propiedades hídricas de los sustratos ya sea con materiales únicos o en mezcla, lo que conlleva a obtener propiedades físicas diferentes de las iniciales (Bures, 1997).

También se ha reportado, que las mezclas de materiales a diferentes proporciones modifican las propiedades físicas que influyen en el crecimiento de las plantas; la mezcla aserrín-composta (50:50), mejoraron la altura de las plántulas de jitomate Ortega (2010); la mezcla zeolita-cachaza

(50:50v/v) mejoró altura en jitomate en semillero (Lara, 1999); y la mezcla turba, perlita y material compostado (30:20:50 v/v) presentó efectos significativos en el cultivo de pimiento (*capsicum annuum*; Javier D. *et al.*, 2005).

En consecuencia, se debe de investigar en materiales comúnmente utilizados en horticultura, cuál es el tamaño de partícula, la naturaleza del material y las proporciones que satisfagan a las necesidades de las plantas; sin embargo, la determinación de las propiedades hídricas se realiza al inicio y en muestras a granel, lo que dificulta comprensión entre la relación de las propiedades hídricas de los sustratos con las necesidad específicas de cada planta. Si se establece cuáles son las necesidades hídricas de los cultivos hortícolas, la gestión del riego y el manejo de la solución nutritiva se harían de manera más precisa y se reduciría los costos de producción.

Actualmente, para monitorear la humedad del suelo se utilizan sensores de humedad, los cuales miden el potencial de agua través de tensiómetros (Van Der Veken *et al.*, 1982; Smajstrla y Locascio, 1996; Krüger *et al.*, 1999), sondas de neutrones (Black y Mitchell, 1968; Gear *et al.*, 1977; McFall, 1978) y el medidor de humedad de tierra (TDR) (Topp y Davies, 1985). Sin embargo, estas herramientas son raramente utilizadas para el control de humedad y fertirriego en producciones de plantas en maceta. Otros autores se han enfocado específicamente en la utilización de sensores en sustratos (Hilhorst, *et al.*, 1992; Papadopoulos *et al.*, 1992; Wakoh, H. y Hirano, T. 1992.); no obstante, su alto costo, tamaño inadecuado y mediciones inexactas limita su uso para controlar el riego en la producción plantas en maceta (Murthy, 2005).

En la presente investigación se contó con un equipo de trabajo inter y trans-disciplinario (ingenieros en electrónica, en informática, morfólogos, nutriólogos y manejo agronómico de plántulas), los primeros dos ayudaron a construir los sensores de humedad y los últimos evaluaron mezclas de materiales, a diferentes proporciones y respuestas de los cultivos.

El uso de estos sensores de humedad en los sustratos (patente en trámite) previamente caracterizados (física y morfológicamente), ofrece la oportunidad de generar conocimiento, no sólo en la capacidad de retención de humedad y su liberación de acuerdo con evapotranspiración, sino también establecer el movimiento del agua in situ y las necesidades hídricas de cada cultivo en tiempo real.

II. Bibliografía

- Anicua, S. R. 2008. Caracterización física y micromorfológica de materiales orgánicos para la generación de mezclas de sustratos en la producción de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). Tesis doctoral. Colegio de postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 1998 p.
- Anicua S. R., Gutiérrez Castorena, Ma. del C., Sánchez García, P. Ortiz Solorio, C.; Volke Halle, V.; Rubiños Panta, E. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. Agricultura Técnica en México, 35, 147-156.
- Arias, M.J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Aendekerk, Th. G. L.; Cevat, H.; Dolmans, N.; Van Elderen, C.; Kipp, J. A.; de Kreij C.; Sonneveld, C.; Verhagen. J. B. G. M. and Wever, G. 2000. International substrate manual. Elsevier International. Netherlands. 94 p.
- Baca C., G.A. 1983. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de los riegos, el sustrato y la densidad de siembra en cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitomate. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. México. 172 p.
- Baca C., G.A., S. Alcalde B., A. Martínez G., R.J. Laird y D. Barrera I. 1990. Efecto de la solución nutritiva, el riego, el sustrato y la densidad de siembra en tres cultivos hortícolas en hidroponía al aire libre. I pepino. Agrocienza, Serie Agua-Suelo-Clima 1: 51-76.
- Bilderback, T.E. and Lorscheider, M.R. 1995. Physical properties of double-processed pine bark: effects on rooting. Acta Hort. (ISHS) 401:77-84.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. Madrid
- Black, J.D.F., Mitchell, P.D., 1968. Near surface soil moisture measurement with neutron probe. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 34, 181.
- Gear, R.D., Dransfield, A.S., Campbell, M.D., 1977. Irrigation scheduling with neutron probe. J. Irrigation and Drainage Division-ASCE. 103, 291-298.
- Gunnlaugsson, B. and Adalsteinsson, S. 1995. Pumice as environment-friendly substrate – a comparison with rockwool. Acta Hort. (ISHS) 401. 131-136.
- Handreck, K.A. 1993. Properties of coir dust and its use in the formulation of soilless potting media. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 24:349–363.

- Hernández E. J. L., 2009. Propiedades hídricas en mezclas de sustratos con diferentes proporciones y tamaños de partícula. Master degree Thesis. Colegio de postgraduados, Campus Montecillo, Edo. De México.
- Hilhorst, M.A., Groenwold, J. and de Groot, J.F. 1992. Water content measurements in soil and rockwool substrates: dielectric sensors for automatic in situ measurements. *Acta Hort. (ISHS)* 304:209-218. http://www.actahort.org/books/304/304_23.htm.
- Javier De Grazia, Pablo A. Tittonell y Angel Chiesa 2005. Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). *Ciencia e Investigación. Agraria.* 34(3): 195-204. 2006.
- Krüger, E., Schmidt, G., Brückner, U., 1999. Scheduling strawberry irrigation based upon tensiometer measurement and a climatic water balance model. *Scientia Hort.* 81, 409-424.
- Lara, F. O. D. (1999). Tesis: Evaluación de sustratos y biofertilizantes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) utilizando la tecnología de cepellones. Instituto nacional de ciencias agrícolas departamento de biofertilizantes y nutrición de las plantas. La Habana Cuba.
- McFall, R.L., 1978. Irrigation scheduling with neutron probe. *J. Irrigation and Drainage Division-ASCE* 104, 245.
- Muratalla L. S. 2003. Paja de maíz como sustrato alternativo en la producción de plántulas de Jitomate y planta de Frambuesa. Tesis Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Edo de México.
- Murthy N. S. K. 2005. Thesis Doctoral: water requirements of bedding plants; managing substrates water content and studying physiological and growth responses of plant to varying levels of water content. University of Georgia, U.S.A. 11-12.
- Ortega, L. D. M. 2010. Efecto de los sustratos en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) bajo condiciones de invernadero. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, México
- Olson, D.L., R.D. Oetting, and M.W. Van Iersel. 2002. Effect of potting media and water management on development of fungus gnats (Diptera: Sciaridae) and plant growth. *HortScience* 37:919-923. Chapingo, Mexico.
- Papadopoulos, A.P., Graham, M.E.D. and Anctil, B. 1992. On-line matric potential sensors for irrigation control in peat-based soilless media. *Acta Hort. (ISHS)* 304:227-236. http://www.actahort.org/books/304/304_25.htm
- Raviv, M., R. Wallach, A. Silber and A. Bar-Tal. 2002. Substrates and their analysis. *In: Hydroponic production of vegetable and ornamental.* D. Savvas and H. Passam (Eds). Embryo publications. Athens, Greece. pp: 25-101.
- Smajstrla, A.G., Locascio, S.J., 1996. Tensiometer controlled drip irrigation scheduling of tomato. *Applied Eng. Agric.* 12, 315-319.
- Samadi A, 2011. Effect of Particle Size Distribution of Perlite and its Mixture with Organic Substrates on Cucumber in Hydroponics System. *J. Agr. Sci. Tech. (2011) Vol. 13: 121-129.*
- Stamps, R.H. and Evans, M.R. 1997. Growth of *Dieffenbachia maculata* "Camille" in growing media containing Sphagnum peat and coconut coir dust. *HortScience*
- Topp, G.C., Davis, J.L., 1985. Measurement of soil water content using time domain reflectometry 32:844-847.
- Van Der Veken, L., Michels, P., Feyen, J., Benoit, F., 1982. Optimization of water application in greenhouse tomatoes by introducing a tensiometer controlled drip irrigation system. *Scientia Hort.* 18, 9-23.
- Velazquez R., J.M. 1995. Evaluación de *Quercus crassipes* en vivero bajo diferentes tipos de sustrato e intensidades de luz. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Wakoh, H. and Hirano, T. 1992. Measurements of water content in solid media using of porous alumina sensors. *Acta Hort. (ISHS)* 304:253-258.
- Wallach, R., F.F. da Silva and Y. Chen. 1992. Hydraulic characteristics of tuff (scoria) used as a container medium. *Journal of America Society Horticultural Science* 117: 415-421.

Capítulo 2 Influencia del tamaño de partícula en las propiedades hídricas de los sustratos

1. Definición de sustrato

Un sustrato es un material sólido natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un recipiente o contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical y desempeña una función de soporte para la planta, pudiendo intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la misma (Noguera, 1997)

Existen diferentes sistemas de clasificación y componentes de sustratos. Algunos autores los clasifican en: materiales orgánicos e inorgánicos (Abad, 1995; Burés, 1998; Abad y Noguera, 2000); otros con base en sus propiedades como: a) sustratos químicamente activos: (turberas rubias y negras, corteza de pino, vermiculita, materiales lignocelulósicos como la fibra de coco, compostas) y b) sustratos químicamente inertes como: (arena granítica silícica, grava, roca volcánica, perlita, arcilla expandible, lana de roca; Noguera, 1997).

2. Propiedades físicas de los sustratos

Las propiedades físicas de los sustratos tanto orgánicos como inorgánicos son las más importantes debido a que si no se determinan estas propiedades tales como: capacidad de aireación, capacidad de retención de humedad, etc. difícilmente se podrán mejorar una vez que el cultivo está establecido; en contraste, las propiedades químicas se pueden modificar durante el ciclo del cultivo (Ansorena, 1994)

En las propiedades físicas más importantes de cualquier sustrato se encuentran: porosidad total, agua disponible, agua no disponible y el espacio de aireación Milks *et al.*, (1989). Uno de los principales problemas que se tiene en la caracterización física de los sustratos, es el uso de diversas metodologías, debido a que cada una arroja resultados diferentes ya que no hay una estandarización de los métodos a utilizar; como ejemplo: la determinación hídrica de los sustratos usando mezclas a granel da como resultado diferentes propiedades hídricas aún dentro de la misma muestra, por lo que la variabilidad es alta en la capacidad de retención de agua fácilmente disponible (Pineda *et al.*, 2011)

El conocimiento actual del estado del agua en los sustratos no es suficiente para explicar un comportamiento peculiar de los cultivos en sustratos ya que es común observar marchitamiento

de las plantas en maceta cada vez mayor, incluso con un potencial de agua alta en los medios de crecimiento (alrededor de - 50 kP).

Las metodologías usadas para sustratos son las mismas que las utilizadas para suelos o han sido modificadas y adaptadas de estas (Baumgarten, 2008); no obstante, las características del sustrato tienen más influencia directa en la planta que en los parámetros similares determinados para suelos (Baumgarten, 2008). Varias investigaciones alrededor del mundo han intentado determinar las propiedades físicas de los sustratos, debido a que cambian durante la producción, ya sea por el crecimiento de la planta, la degradación de la estructura, la reorganización de la estructura de las partículas y el proceso de mineralización (Bures *et al.*, 1991).

3. Propiedades de los Sustratos

La caracterización de los sustratos es similar a la de los suelos sin embargo; contrario a los suelos donde la caracterización química es la más importante, en los sustratos pasa a segundo término siendo la más importante las propiedades físicas (De Boodt *et al.*, 1974; Verdonck *et al.*, 1984; Raviv *et al.*, 1984; Abad y Noguera, 1998 y 2000; Noguera *et al.*, 2003; Park *et al.*, 2004; Verdonck y Demeyer, 2004; Abad *et al.*, 2005). Las propiedades físicas de los sustratos se dividen en tres fases: sólida, líquida y gaseosa, de las cuales en el presente estudio solo se abordaron las dos últimas.

4. Fase líquida

Las necesidades hídricas están encaminadas a reducir el gasto en la solución nutritiva y el ahorro del agua. Las propiedades hídricas son particularmente útiles para la gestión del riego. Las tasas de riego y las frecuencias han sido ajustadas a los diferentes sustratos (Rivière *et al.*, 1990).

Algunos componentes como la vermiculita y perlita se añaden habitualmente a los sustratos para mejorar las propiedades físicas, como aumentar la capacidad de retención de humedad o disminuir el drenaje de los sustratos hechos a base de turba (Murthy, 2005). Uno de los principales factores que afecta la retención de agua es la distribución del tamaño de los poros

(Ahuja *et al.*, 1998; Stange y Horn, 2005) por lo que interacción de la distribución de los tamaños de los poros y la retención de agua están estrechamente relacionados (Stange y Horne, 2005).

Anicua (2008) encontró que el tamaño de partícula, forma y porosidad interna de los sustratos tanto orgánicos como inorgánicos, influyen directamente sobre la capacidad de aire y retención de agua. No obstante, todavía no se ha estudiado si estas propiedades se promedian, son aditivas o sustractivas, cuando se realizan mezclas para generar un sustrato. Milks *et al.*, (1989) comparó las propiedades físicas en mezclas de sustratos (turba-vermiculita (50:50v/v) y corteza de pino-turba-arena (70:15:15v/v) respectivamente, encontrando mayor porosidad total en turba que incremento mayor disponibilidad de agua comparado con la corteza de pino.

Se debe de considerar de manera continua al sustrato-planta-atmosfera, y las condiciones específicas del medio de crecimiento, ya que la reserva de agua en el medio de cultivo es generalmente baja, comparado con los suelos *in situ* (Nicolás y Cruiziat, 1992). Asimismo, la cantidad de agua en el sustrato requiere de especial atención debido a que las plantas dependen de esta para sobrevivir, además de que sirve de soporte a la solución nutritiva; por lo que si se conoce la cantidad de agua en el sustrato se podrá establecer las frecuencias de riego (Ansorena, 1994)

El equilibrio aire/agua se representa gráficamente mediante las curvas de retención de humedad. Se parte de un volumen único saturado de agua y en el eje de las ordenadas se representa el porcentaje del volumen de material solido más el volumen de porosidad útil. Se somete a presiones de succión creciente, expresadas en centímetros de columnas de agua (cm de c.a.), y se colocan en el eje de las abscisas. Así, Deboodt *et al.*, (1974) desarrollaron la curva de liberación de agua para sustratos, fijando los límites de esta curva entre 0 y 100 cm de tensión (cm de columna de agua, Figura 1) y clasificaron el agua en el sustrato como:

a) Agua difícilmente disponible (ADD): es el porcentaje de agua en volumen, que queda retenida en el sustrato tras aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua (10 Kpa).

- b) agua de reserva (AR): corresponde al porcentaje de volumen de agua que se libera entre 50 y 100 cm de columna de agua de tensión sobre el sustrato (entre 5 y 10 Kpa)
- c) agua fácilmente disponible (AFD): porcentaje en volumen de agua que se libera entre 10 y 50 cm de columna de agua de tensión sobre el sustrato (entre 1 y 5 Kpa).
- d) Capacidad de aireación (CA): porcentaje en volumen de agua que se libera al aplicar una tensión de 10 cm de columna de agua.
- e) Material sólido (MS): porcentaje en volumen ocupado por la matriz solida del sustrato.
- f) Espacio poroso total (EPT): espacio de aire y agua, formado por la suma de ADD, AR, AFD y CA que se determina a partir de las densidades real y aparente.

Antes de entender completamente los diferentes aspectos y la estrategia óptima para el riego basado en la tensión THS (Tensión de Humedad del Sustrato) es necesario analizar cómo la tensión se relaciona con el contenido en agua y cómo ésta varía con la profundidad de la zona radicular. En la Figura 1, se muestra la relación entre la tensión de humedad y el contenido de agua para un sustrato de retención media de humedad. La forma general de esta relación, para la mayoría de los sustratos es similar, pero varían bastante los valores sobre todo a nivel de tensión 10, 50 y 100 cm y afectan fuertemente las recomendaciones finales de cómo efectuar el riego. Interesa conocer, por tanto, la cantidad de agua disponible en el sustrato, la que dependerá del tamaño de los poros más pequeños y de la concentración de sales en la solución acuosa (Ansorena, 1994).

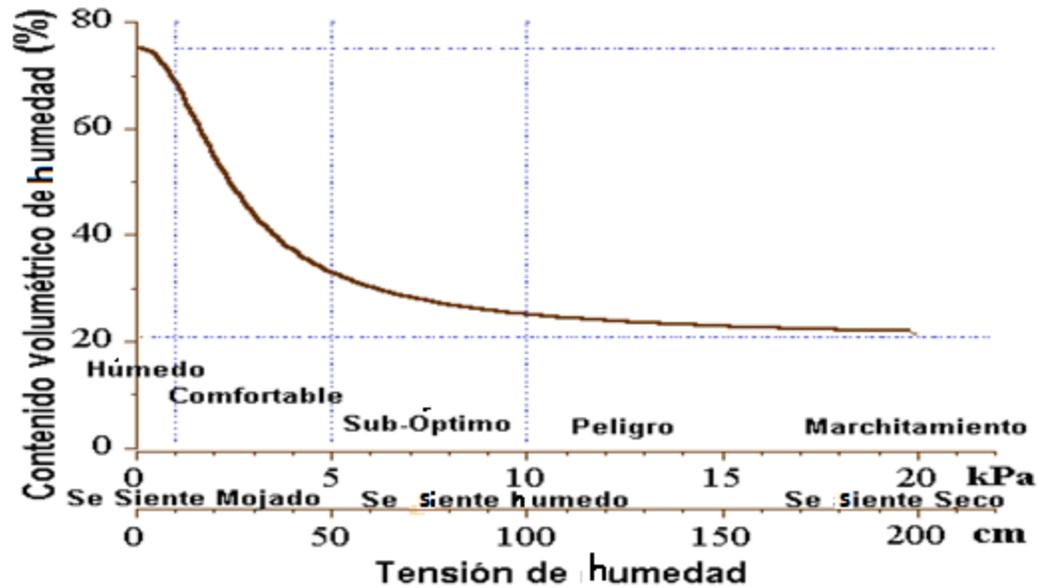


Figura 1. Curva de calibración de agua de un sustrato.

Un sustrato puede presentar una pobre retención de agua fácilmente disponible cuándo: 1) Su porosidad total es baja, 2) Los poros son grandes y gran parte del agua se pierde por gravedad, 3) Los poros son muy pequeños y la planta no es capaz de extraer una parte importante del agua, 4) Existe una elevada concentración de sales en la solución acuosa y 5) Una combinación de las situaciones anteriores (Abad, 1993; Ansorena, 1994).

5. Fase gaseosa

La porosidad total es el volumen de espacio vacío (espacio poroso) ocupado por fluidos en el volumen total. Sin embargo, no es suficiente conocer la porosidad total de un sustrato para describir la accesibilidad de los fluidos en el espacio poroso (Lemaire, 1995). La porosidad es una de las características físicas más importantes de los sustratos o medios de crecimiento, ya que permite la retención de agua (y nutrientes contenidos en el agua), oxígeno y el crecimiento de la raíz.

La capacidad de aireación de los sustratos es diferente. De Boodt y Verdonck (1972) indicaron intervalos entre 20 y 30%; Handreck y Black (1991) entre 7 y 50 %; Abad *et al.*, (1993) mencionaron valores entre 10 y 30 %; y finalmente, Bunt (1988) sugiere valores entre 10

y 20%. Estos valores dependerán del tipo de material y el tamaño de partícula con la que se trabaje, ya que el sustrato se compacta de manera natural debido al manejo del cultivo.

En la porosidad de los sustratos, los microporos son utilizados por el agua y los macroporos por el aire. El intercambio gaseoso tiene lugar en los macroporos, que están en función de las partículas (Peñuelas y Ocaño 2000). Por su parte, Anicua (2008) encontró que la porosidad de aire es determinante en el desarrollo adecuado del cultivo de *Lisianthus (Eustoma grandiflorum)*, debido a que una misma cantidad de agua fácilmente disponible en diferentes materiales y una variación en la porosidad de aire, significó el fracaso o el éxito de este cultivo.

Bures (1997) menciona que la adición de un material grueso no aumenta la porosidad interparticular con respecto a los materiales por separado; sin embargo, se puede aumentar esta porosidad si uno o más materiales tienen poros internos, puesto que estos no se ven afectados por el empaquetamiento de las partículas. Por lo tanto, la importancia del tamaño de las partículas radica en que este define el tamaño de los poros situados entre ellas.

Tabla 1. Variación de la porosidad, densidad aparente y retención de agua de acuerdo con el grado de compactación según Zapata *et al.* (2005) y Nappi y Barberis (1993).

Propiedades	Zapata <i>et al.</i> (2005)	Nappi y Barberis (1993)
Densidad aparente (g cm ⁻³)	<0.4	0.15-0.50
Densidad real (g cm ⁻³)	1.45-2.65	1.50
Porosidad (%)	>85	85-90
Agua fácilmente disponible (%)	20-30	20-30
Agua difícilmente disponible (%)	25-31	60-75
Agua de reserva (%)	4-10	4-10

6. Efecto del tamaño de partícula en sustratos en mezclas y a granel

En la formulación de mezclas de sustratos, la alta capacidad de retención de agua debe ir acompañado de una buena aireación; por lo tanto, el tamaño de partícula juega un papel importante en las propiedades físicas durante la formulación de sustratos. El conocimiento

actual del estado del agua en los sustratos no es suficiente para explicar un comportamiento peculiar de los cultivos en sustratos. Es común observar marchitez de las plantas en maceta cada vez mayor, incluso con un potencial de agua alta en los medios de crecimiento (alrededor de -50 kP). Richards *et al.*, (1986) manipularon el tamaño y distribución de partícula en corteza de pino y mejoraron las propiedades de retención agua.

Trinchera *et al.*, (2010) estudiaron dos tamaños de partícula de zeolita de 1-3 mm y $<30\mu$, la cual fue añadida a la arena de cuarzo en diferentes proporciones, para evaluar su efecto en el crecimiento de la raíz de maíz (*Zea mays*), encontrando que hubo un efecto positivo de la zeolita microionizada en el sistema radical del maíz actuando como un estimulante físico.

Samadi (2011) realizó un estudio en el cual evaluó perlita con tamaños de partícula de 2-3 mm, 1-2 mm, 1 mm, 0.5-1 mm y <0.5 mm, aserrín al 100%, una mezcla de perlita de 2-3 mm y aserrín con una proporción de 50:50, una mezcla perlita de 2-3 mm y viruta de álamo a una proporción de 50:50, y una mezcla de perlita de 2-3 mm y paja de trigo a una proporción de 50:50 respectivamente. Los resultados mostraron que hubo efectos significativos en cuanto al incremento en el peso del fruto en 50%, peso en planta 25% y área foliar en 70% del pepino en la perlita con un tamaño de partícula de 0.5-1mm, por lo que concluyó que este fue el mejor tamaño de partícula para incrementar el rendimiento del cultivo.

Bilderback y Lorscheider (1995) estudiaron el sustrato corteza de pino doble procesado y siete sustratos más, utilizados entre ellos al peat moss, en cultivos de *illicium parviflorum*, Sanglow azalea y photinia, concluyendo que *illicium parviflorum* tuvo el mayor peso seco de raíz y mayor diámetro de tallo cuando se cultivó en corteza de pino doble procesado con un tamaño de partícula de 6.4 mm.

Gunnlaugsson y Adalsteinsson (1995) evaluaron a la piedra pómez como un posible sustituto de la lana de roca en el cultivo de tomate cv. "Critérium" por lo que determinaron que la piedra pómez tenía varias ventajas: es químicamente inerte tal como la lana de roca, por lo que los rendimientos de tomate en piedra pómez son altamente comparables con la lana de roca; además,

de que la piedra pómez puede ser reutilizable. Los tamaños de partícula utilizados fueron de 0-8 mm.

Samadi (2011) evaluó diferentes tamaños de partícula en perlita sola y mezclada con aserrín, álamo y paja de trigo a diferentes proporciones, encontrando que la perlita fina (100%) incrementó el rendimiento de pepino.

Por su parte, Muratalla (2003) encontró que las partículas de 1-2mm de una mezcla tezontle-paja de maíz (50:50) presentó la mejor altura (8.18 cm) en plántulas de jitomate. Esto significa que hay tamaños de partículas que potencializan el crecimiento de las plantas y otras las limitan, debido a que cada tamaño presenta diferentes propiedades hídricas (Anicua, *et al.*, 2009). No obstante, se desconoce las propiedades morfológicas de los sustratos ya en mezcla lo que conlleva a obtener propiedades físicas diferentes de las iniciales (Bures, 1997).

En un estudio realizado para determinar las mejores condiciones físicas de los sustratos para cultivar violeta africana, Salvador y Minami (2005) determinaron que el tratamiento con una densidad aparente de 0.75 g cm^{-3} mostró ser el mejor entre todos los evaluados, produciendo plantas de mejor calidad y aumentando en 5.2 % el rendimiento; además, reportaron que la violeta africana se desarrolla mejor en condiciones de baja disponibilidad de agua y con un 17.41% de agua fácilmente disponible. Por lo que las recomendaciones asociadas con las propiedades físicas de los sustratos, no pueden ser generalizadas y aplicadas para todas las especies de plantas, ya que cada especie tiene sus propias necesidades hídricas.

Ortega (2010) encontró que los sustratos a base de aserrín-composta en una relación volumétrica (50:50), son los mejores para la producción de plántulas de jitomate. Lara (1999) evaluó zeolita y cachaza a diferentes proporciones encontrando que la mejor altura en jitomate en semillero se encontró en el T3 (Zeolita-Cachaza 50:50v/v). Javier, D. *et al.*, (2005) estudiaron el efecto de la turba a diferentes proporciones con perlita y material compostado en el cultivo de pimiento (*capsicum annum*), encontrando efectos significativos en la mezcla 2 (30% turba, 20% perlita y 50% material compostado). Las propiedades hídricas de los sustratos juegan un papel

importante en la producción de cultivos hortícolas ya que , además de ser de utilidad en la gestión del riego, están encaminadas a reducir el gasto en la solución nutritiva y el ahorro del agua (Rivière *et al.*, 1990).

7. Micromorfología y análisis de imágenes

La micromorfología del suelo es el estudio inalterado de bloques o secciones delgadas (25-30/ μm de grosor) bajo el microscopio petrográfico. El análisis de imágenes es un equipo compuesto por un microscopio y una computadora impulsado por una técnica que permite a los científicos estudiar objetos de interés como características en una imagen digital. Junto con el microscopio de video, los análisis de imágenes permiten examinar objetos en un amplia gama de escalas (Bui, 1990). Esta aplicación tiene mucha importancia en la ecología del suelo. Por ejemplo, los microbiólogos han usado los análisis de imágenes para cuantificar la tasa de crecimiento de células bacteriales y cultivos de microcolonias (Caldwell 1985; Korber *et al.*, 1989).

Las aplicaciones del análisis de imágenes para medir la porosidad del suelo y la estructura son cada vez más comunes (Jongerius *et al.*, 1972; Ismail, 1975; Murphy *et al.* 1977ab; Ringrose-Voase y Bullock, 1984; McKeague *et al.*, 1987; Shipitalo y Protz, 1987; Bui y Mermut, 1989; Moran *et al.*, 1989).

Los análisis de imágenes también han sido aplicados a la caracterización de pelles fecales de la fauna y a la microestructura del suelo (Pawluk, 1987). La Grabación de video-tape o imágenes por intervalo de tiempo se ha utilizado para rastrear los movimientos de los organismos del suelo (Caldwell y Germida, 1985; Korber *et al.* 1989; Lussenhop *et al.*, 1991).

El estudio del suelo mediante secciones delgadas provee la oportunidad para los investigadores de la fauna del suelo estudiar las relaciones que evidencian la actividad animal, tales como la excavación y deposición de excrementos pueden ser identificados y cuantificados.

La micromorfología ha sido por mucho tiempo una herramienta útil para caracterizar la interacción entre fauna y las propiedades físicas del suelo (Babel, 1975; Kooistra, 1991; Fromm

et al., 1993; Hassink *et al.* 1993; Canti, 1998). Las técnicas de la micromorfología son también comúnmente usadas para caracterizar el espacio vacío y la estructura.

El desarrollo de las técnicas en el análisis de imágenes provee nuevas oportunidades para cuantificar los análisis en la micromorfología, por ejemplo el espacio poroso (Ringrose-Voase, 1996; Adderley *et al.* 2002). Tales características pueden ser aisladas de los materiales que los rodean haciendo posible la identificación automática a través de los análisis interactivos de un software.

Deleporte *et al.*, (1997) usaron los análisis de imágenes para investigar el humos del bosque a través de los análisis de los cambios en el espacio poroso de las partículas minerales. Para los suelos agrícolas VandenBygaart *et al.*, (2000) investigaron la influencia de las lombrices de tierra en las propiedades de la estructura del suelo usando análisis de imágenes del espacio vacío.

Los análisis de imágenes de secciones delgadas o bloques de suelo han sido usados para cuantificar la distribución del tamaño de los poros, la estructura y para caracterizar la irregularidad, orientación y forma de los poros de los suelos. (Ringrose-Voase, 1987, 1991; Protz *et al.*, 1987; Thompson *et al.*, 1992; Bouabid *et al.*, 1992; Deeks *et al.*, 1999). McKeague *et al.*, (1987) utilizaron mediciones de análisis de imágenes de espacio vacío para examinar el historial de los efectos en la porosidad de los cultivos en un suelo Brookston. Observaron una reducción considerable en el espacio vacío total del horizonte superficial de este suelo bajo siembra continua de maíz.

En base a todo lo anterior se observa que el análisis de imágenes ha sido enfocado principalmente al suelo para determinar o cuantificar sus propiedades físicas, sin embargo en lo que respecta al uso de la micromorfología y análisis de imágenes aplicado a los sustratos hortícolas es escaso, ya que no se encuentra en la literatura estudios realizados para la cuantificación de las propiedades físicas de los medios de crecimiento.

8. Uso de sensores de humedad en horticultura

La electrónica es hoy probablemente la tecnología más extendida, la cual impacta prácticamente todos los aspectos de la actividad humana; está presente en los productos más mundanos, tales como máquinas de afeitarse eléctricas y los más sencillos juguetes de los niños . Por lo que cada día hay más investigaciones encaminadas a utilizar esta técnica en la agricultura, específicamente en la de precisión, en donde se puede monitorear la humedad del suelo mediante sensores (tensiómetros), sistemas de riego automatizado, etc. Sin embargo, el uso de sensores de humedad capaces de medir la tensión a la cual se encuentra en el contenedor son escasos, debido a que no hay sensores tan pequeños que sean capaces de medir la humedad in situ y que además tengan una alta precisión. En consecuencia, un problema importante a resolver es la estimación de manera práctica el contenido de agua, que sea de manera continua y no destructiva.

9. Sensores de humedad disponibles pero inadecuados

Actualmente hay varios sensores de humedad disponibles para medir el potencial de agua y el contenido de humedad en suelo. Los sensores de humedad del suelo como los tensiómetros han sido probados ampliamente (Van Der Veken *et al.*, 1982; Smajstrla y Locascio, 1996; Krüger *et al.*, 1999), además de la sonda de neutrones (Black y Mitchell, 1968; Gear *et al.*, 1977; McFall, 1978) y el medidor de humedad de tierra (TDR) (Topp y Davies, 1985). Sin embargo, estos sensores de humedad son raramente utilizados para el control de humedad y fertirriego en producciones de plantas en maceta. Otros autores se han enfocado específicamente en la utilización de sensores en sustratos (Hilhorst, et al., 1992; Papadopoulos, et al., 1992; Wakoh, H. y Hirano, T. 1992). Sin embargo los altos costos, tamaño inadecuado y mediciones inexactas de los valores de humedad son algunas de las principales razones para no usar sensores de humedad para controlar el riego en la producción plantas en maceta (Murthy, 2005).

10. Nutrición semillero

Las plantas, para completar su metabolismo, necesitan una serie de elementos químicos esenciales que deben ser aportados en la cantidad y proporción adecuadas y en estado asimilable. Es por eso que la nutrición de plántulas en semillero es un punto muy importante ya que define el éxito o fracaso del cultivo a implementar en campo. Por lo tanto, el principal objetivo de la

nutrición en semillero es obtener plántulas con un adecuado sistema radical, que permita una exitosa implantación en el lugar definitivo.

La raíz es el órgano principal que establece contacto con el sustrato y es la parte por donde ingresan agua y nutrientes; su habilidad para funcionar apropiadamente depende de la temperatura, aireación, relaciones hídricas, capacidad de intercambio catiónico, salinidad y pH del sustrato (Martin-Prevel et al. 1987; Argo, 1998; Marschner, 2000).

Los principales macronutrientes y micronutrientes considerados esenciales para el desarrollo de cualquier cultivo son: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), Azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), níquel (Ni), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). Sin embargo, el programa de nutrición por sí solo no asegurara una plántula de calidad si no que este además debe interactuar con otros factores como: el clima, sanidad del cultivo, preparación del sustrato y el riego factor muy importante, ya que si no se riega de manera adecuada de nada servirá el mejor programa de nutrición debido a que el agua es el vehículo que pone en contacto los nutrientes aportados con la raíz.

Existen numerosos estudios en los que la conducción nutrimental en pre-trasplante produce efectos significativos benéficos en las características morfológicas y fisiológicas de las plántulas (Melton y Dufault, 1991; Karchi y Cantliffe, 1992; Basoccu y Nicola, 1992; Nicola y Basoccu, 1994). En algunos se menciona que la nutrición adecuada en esta etapa garantiza un rendimiento aceptable de los cultivos, al incrementar la proporción de frutos y/o la precocidad de la cosecha; en consecuencia se logra un crecimiento uniforme de plántula, mayor tasa de crecimiento en el semillero, mayor calidad de las plántulas y menor porcentaje de mortalidad después del trasplante (Garton y Widders, 1990; Default, 1998).

Según Thompson y Doerge (1996), la absorción de N por el cultivo de lechuga se incrementó en forma positiva con la cantidad aplicada, pero su eficiencia disminuyó al incrementar la cantidad de N. Sin embargo, Galbattia *et al.*, (2007) encontraron que la concentración de nitratos

en tejido de lechuga fue más influenciada por el tipo de fuente nitrogenada que por el contenido de nitrógeno de la misma. Welch *et al.*, (1983) evaluaron con lechuga la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado usando diferentes fuentes y concluyeron que la eficiencia disminuyó cuando aumentó el porcentaje de N aplicado. Tei *et al.*, (1999) estudiaron la respuesta del crecimiento, absorción de nitrógeno y rendimiento en dos cultivos de lechuga (Canasta y Audran) con diferentes niveles de fertilizantes nitrogenados. En todos los experimentos, el suministro mayor de N aumentó el crecimiento del cultivo, absorción de N y el rendimiento. Sin embargo, en este experimento la eficiencia en la absorción del N estuvo en función del tamaño de partícula ya que el espacio acuoso y el mayor tamaño de partícula propició un mayor desarrollo de la raíz, lo que se reflejó en un crecimiento vegetativo mayor ya que la solución se mantuvo al 25% de su concentración y se aplicó a todos los tratamientos.

Sonneveld y Voogt (2008) evaluaron varias soluciones nutritivas con alta conductividad eléctricas ($1-8 \text{ dSm}^{-1}$) en los cultivos de col, lechuga y lirio encontrando valores en lechuga de 8 mmolL^{-1} de K en tejido vegetal. El óptimo según Voogt (1988), es de 4.66 mmolL^{-1} ; sin embargo, esta diferencia la relaciona con la transpiración ya que el experimento se realizó en pleno verano. Muratalla (2003) evaluó la concentración de Fe, Mn, B, Cu y Zn en plántulas de jitomate utilizando como sustratos: tezontle y paja de maíz en tamaños de partícula de 0.5-1 mm y de 1-2 mm respectivamente; además, utilizó tezontle-perlita-turba-tierra de hoja como testigo. Los resultados que encontraron fue que hay mayor absorción las plántulas que crecieron en la mezcla tezontle-paja de maíz (50:50) con un tamaño de partícula de 1-2 mm.

XI. Conclusiones

El comportamiento de las propiedades hídricas es diferente cuando se analizan solos o en mezclas, por lo que resulta de suma importancia caracterizar el sustrato antes de su implementación; debido a que, la homogenización de las partículas en mezclas a granel presentan diferente ordenamiento (ocurrencia de diferentes tamaños de partículas) y proporciones, aunque su relación sea la misma. Por lo que el estudio de las propiedades hídricas utilizando a la micromorfología y el análisis de imágenes son dos herramientas que proporcionan información muy precisa de lo que ocurre a nivel *in situ* en cuanto al espacio poroso y distribución de partículas. Estas propiedades influyen en la retención de agua y su capacidad de

aireación dependiendo del tamaño de partícula. El conocimiento de estas propiedades a nivel *in situ* conlleva a que no se puede seguir realizando experimentos utilizando sustratos a granel ya que genera datos erróneos en cuanto a las propiedades hídricas debido que no se determina la influencia del tamaño de partícula, por lo que también se desconoce a qué tensiones el agua es retenida en cierta mezcla de sustrato y por consiguiente a que tensión la planta es capaz de absorberla.

Las propiedades hídricas de los sustratos ya sea solos o combinados, orgánicos e inorgánicos tiene la finalidad de conservar el agua y que está este en una forma aprovechable una vez que se encuentra en el sustrato lo que permitirá que los nutrientes se encuentren más disponibles para el cultivo así como conocer cómo se distribuye en función del tamaño de partícula.

Debido a esto hay una clara necesidad de realizar mayor investigación en lo que se refiere al efecto que tiene el tamaño de partícula en los diferentes materiales y como estas características influyen en las propiedades hídricas y nutricionales en diferentes sustratos y proporciones. Por lo que se hace necesario el uso de sensores de humedad capaces de medir la tensión del agua a la cual se encuentra retenida *in situ* de manera continua, automática y precisa que conlleve a programar los riegos de acuerdo a las necesidades hídricas de la planta en tiempo real y con esto eficiente tanto el recurso agua como la solución nutritiva disminuyendo los costos de producción e incrementándose las ganancias del productor.

XII. Bibliografía

- Argo, W. R. y J. A. Biernbaum. 1998. A method for quantifying plant available water holding capacity and water absorption potential in container media under production conditions. *HortScience* 30(3):535-538.
- Abad, M. y P. Noguera. 2000. Los sustratos en los cultivos sin suelo. *In: Manual de cultivo sin suelo*. M. Urrestarazu (ed). 2ª ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 137-185.
- Abad, M. 1995. Sustratos para el cultivo sin suelo. *In: El cultivo del tomate*. F. Nuez (coord). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp: 131-166.
- Abad, M., Martínez P.F., Martínez M.D. y Martínez J. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 11:141-154.
- Abad, M. 1993. Sustratos para el cultivo sin suelo: Inventario y características. *In: Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo*. F. Cánovas y J.R. Díaz (eds). I.E.A./F.I.A.P.A. Almería, España. pp: 63-80.

- Adderley, W.P., Simpson, I.A., Davidson, D.A., 2002. Colour description and quantification in mosaic image of soil thin sections.
- Anicua, S.R. 2008. Tesis Doctorado. Caracterización física y micromorfológica de materiales orgánicos e inorgánicos para la generación de mezclas de sustratos en la producción de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 198 p.
- Anicua S. R., Gutiérrez Castorena, Ma. del C., Sánchez García, P. Ortiz Solorio, C.; Volke Halle, V.; Rubiños Panta, E. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura Técnica en México*, 35, 147-156.
- Ansorena M. J. 1994. Sustratos, propiedades y caracterización. Mundi Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Ahuja, L.R., F. Fiedler, G.H. Dunn, J.G. Benjamin, and A. Garrison. 1998. Changes in soil water retention curves due to tillage and natural reconsolidation. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 62: 1228-1233.
- Arias, M.J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Argo, W. R. y J. A. Biernbaum. 1998. A method for quantifying plant available water holding capacity and water absorption potential in container media under production conditions. *HortScience* 30(3):535-538
- Basoccu, L.; Nicola, S. 1992. Effect of nutrition and substrate water content on growth under protection of pepper seedlings and fruit production in the field. *Acta Horticulturae* 323: 121-127.
- Baumgarten, A. 2008. Analytical methods for growing media – challenges and perspectives. *Act Hort.* 779: 97-104.
- Babel, U., 1975. Micromorphology of soil organic matter. In: Gieseking, J.E. (Ed.), *Soil Components. Organic Components*, vol. 1. Springer, Berlin, pp. 369-473 Chapter 7.
- Bilderback, T.E. and M.R. Lorscheider. 1995. Physical properties of double processed pine bark: effects on rooting. *Acta Hort.* 401: 77-83.
- Bui, E. N. 1990. Applications of image analysis to soil micromorphology. ^aUSDA-ARS, Southern Piedmont Conservation Research Center, P.O. Box 555, Watkinsville, GA 30677 U.S.A.
- Bui, E.N. and Mermut, A.R., 1989. Orientation of planar voids in Vertisols and soils with vertic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: 171-178.
- Burés, S., Martínez, F.X. and Pérez, N. 1991. Monte Carlo computer simulation in
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Aerotécnicas. Madrid, España. 342 p.
- Burés, S. 1998. Introducción a los sustratos. Aspectos generales. *In: Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal.* J. Narciso Pastor S. (ed). Universitat de Lleida. pp: 19-31.
- Burés, S., O. Marfà, T. Pérez, J.A. Tébar and A. Lloret. 1997. Measure of substrates unsaturated hydraulic conductivity (refereed). *Acta Horticulturae* 450: 297-303.
- Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. 2nd ed. Unwin Hyman Ltd., London. 309 p.
- Bouabid, R., Nater, E.A., Barak, P., 1992. Measurements of pore size distribution in a lamellar Bt horizon using epifluorescence microscopy and image analysis. *Geoderma* 53, 309-328.
- Black, J.D.F., Mitchell, P.D., 1968. Near surface soil moisture measurement with neutron probe. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 34, 181.
- Caldwell, D.E. and Germida, J.J., 1985. Evaluation of difference imagery for visualizing and quantitating microbial growth. *Can. J. Microbiol.*, 31: 35-44.
- Canti, M.G., 1998. The micromorphological identification of faecal spherulites from archaeological and modern materials. *Journal of Archaeological Science* 25, 435-444.
- Caldwell, D.E. and Germida, J.J., 1985. Evaluation of difference imagery for visualizing and quantitating microbial growth. *Can. J. Microbiol.*, 31: 35-44.
- Default, R. J. 1998. Vegetable transplant nutrition. *Hor Technology* 8(4): 515-523.
- De Boodt, M. and Verdonck, O. 1972. The physical properties of the substrates in floriculture. *Acta Hort.* 26:37-44.
- De Boodt, M., O. Verdonck and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062.

- Deeks, L.K., Williams, A.G., Dowd, J.F., Scholefield, D., 1999. Quantification of pore size distribution and the movement of solutes through isolated soil blocks. *Geoderma* 90, 65-86.
- Deleporte, S., Hallaire, V., Tillier, P., 1997. Application of image analysis to a quantitative micromorphological study of forest humus. *European Journal of Soil Biology* 33, 83-88.
- Salvador E.D. and K. Minami 2005. Evaluation of Different Substrates on African Violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.) Growth. *Acta Hort.* 697 ISHS 2005.
- Fromm, H., Winter, K., Filser, J., Hantschel, R., Beese, F., 1993. The influence of soil type and cultivation system on the spatial distributions of soil fauna and microorganisms and their interactions. *Geoderma* 60, 109-118.
- Galbattia, A. *et al.*, 2007. "Nitrate and Sodium contents on lettuce and drained water as function of fertilizing and irrigation water quality in Brazil". *International Journal of Plant Production* 2:205-214.
- Gear, R.D., Dransfield, A.S., Campbell, M.D., 1977. Irrigation scheduling with neutron probe. *J. Irrigation and Drainage Division-ASCE*. 103, 291-298.
- Gunnlaugsson, B. and Adalsteinsson, S. 1995. Pumice as environmental-friendly substrate a comparison with rockwool. *Acta Hort.* (ISHS) 401:131-136.
- Garton, R. W.; Widders, I. E. 1990. Nitrogen and phosphorus preconditioning of small-plug seedlings influence processing tomato productivity. *HortScience* 25: 655-657.
- Handreck, K.A. and N. Blanck. 1991. Growing media ornamental plants and turf. New South Wales University Press. Kensington, Australia. 401 p.
- Hassink, J., Bouwman, L.A., Zwart, K.B., Bloem, J., Brussard, L., 1993. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. *Geoderma* 57, 105-128.
- Hilhorst, M.A., Groenwold, J. and de Groot, J.F. 1992. Water content measurements in soil and rockwool substrates: dielectric sensors for automatic in situ measurements. *Acta Hort.* (ISHS) 304:209-218. http://www.actahort.org/books/304/304_23.htm.
- Hendreck, K.A. and N. Blanck. 1991. Growing media ornamental plants and turf. New South Wales University Press. Kensington, Australia. 401 p.
- Ismail, S.N.A., 1975. Micromorphometric soil-porosity characteristics by means of electro-optical image analysis (Quantimet 720). *Soil Survey Papers No. 9*, Soil Survey Institute, Wageningen, The Netherlands, 104 pp.
- Javier De Grazia, Pablo A. Tittonell y Angel Chiesa 2005. Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). *Ciencia e Investigación. Agraria*. 34(3): 195-204. 2006
- Jongerius, A., Schoonderbeek, D. and Jager, A., 1972. The application of the quantimet 720 in soil micromorphometry. *Soil Survey Institute, Wageningen, The Netherlands*, 20: 243-254.
- Karchi, Z; Cantliffe, D. J. 1992. Growth of containerized lettuce transplanted with varying concentrations of nitrogen and phosphorus. *Acta Horticultura* 319: 365-370.
- Korber, D.R., Lawrence, J.R., Sutton, B. and Caldwell, D.E., 1989. Effect of laminar flow velocity on the kinetics of surface recolonization by Mot + and Mot- *Pseudomonas fluorescens*. *Microb. Ecol.*, 18: 1-19.
- Kooistra, M.J., 1991. A micromorphological approach to the interactions between soil structure and soil biota. *Agriculture Ecosystems and Environment* 34, 315-328.
- Krüger, E., Schmidt, G., Brückner, U., 1999. Scheduling strawberry irrigation based upon tensiometer measurement and a climatic water balance model. *Scientia Hort.* 81, 409-424.
- Lara, F. O. D. (1999). Tesis: Evaluación de sustratos y biofertilizantes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) utilizando la tecnología de cepellones. Instituto nacional de ciencias agrícolas, departamento de biofertilizantes y nutrición de las plantas. La Habana Cuba.

- Lemaire, F. 1995. Physical, chemical, and biological properties of growing médium Acta Hort. (ISHS) 326: 273-284.
- Lussenhop, T., Fogel, R. and Pregitzer, K., 1991. A new dawn for soil biology: video analysis of root-soil-microbial-faunal interactions. Agric. Ecosystems Environ., 34: 235-249. 60:168-173.
- McFall, R.L., 1978. Irrigation scheduling with neutron probe. J. Irrigation and Drainage Division-ASCE 104, 245.
- Murphy, C.P., Bullock, P., Biswell, K.J., 1977. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis: Part II. Applications. J. Soil Sci 28, 509-518.
- McKeague, J.A., Fox, C.A., Stone, J.A. and Protz, R., 1987. Effects of cropping system on structure of Brookston clay loam in long-term experimental plots at Woodslee, Ontario. Can. J. Soil Sci., 67 (3): 571-584.
- Martin-Prevel P., J Gagnar y P. Gautier y P. Gautier. 1987. Plant Analysis as guide to the nutrient requirements of temperate and tropical crops. Lavoisier publishings. Paris, France.
- Marschner, H. 2000. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press, London.
- Milks, R.R., W.C. Fonteno, and R.A. Larson. 1989. Hydrology of horticultural substrates. III. Predicting air and water content of limited volume plug cells. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114: 57-61.
- Murthy N. S. K. 2005. Thesis Doctoral: water requirements of bedding plants; managing substrates water content and studying physiological and growth responses of plant to varying levels of water content. University of Georgia, U.S.A. 11-12
- Muratalla L., S. 2003. Paja de maiz como sustrato alternativo en la producción de plántulas de jitomate y plantas de frambuesa. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx. 163 p.
- Melton, R. R. and Dufault, R. J. 1991. Tomato seedling growth, earliness, yield, and quality following pretansplant nutritional conditioning and low temperatures. J. Ame. Soc. Hort. Sci. 116(3); 421-425.
- Murphy, C.P., Bullock, P. and Turner, R.H., 1977a. The measurement and characterisation of voids in soil thin sections of image analysis. Part I. Principles and techniques. J. Soil Sci., 28: 498-508.
- Murphy, C.P., Bullock, P. and Biswell, K.J., 1977b. The measurement and characterisation of voids in soil thin sections of image analysis. Part II. Applications. J. Soil Sci., 28:509-518.
- Morán, C.J., McBratney, A.B. and Koppi, A.J., 1989. A rapid method for analysis of soil macropore structure. I. Specimen preparation and digital binary image production. Soil Sci. Soc. Am. J., 53: 921-928.
- Nicola, S. Basoccu, L. 1994. Pretansplant nutritional conditioning effects pepper seedling growth and yield. Acta horticulturae 361: 519-526.
- Noguera. P.; Abad. M.; Puchades, R.; Noguera, V.; Maquileira, A. y Martinez. J. 1997. Physical and chemical properties of coir waste and their reaction to plant growth. Acta Horticulturae 450:365-374.
- Nicolas H. and Cruiziat P.; 1992. L'eau dans la plante in "*L'irrigation en horticulture, pépinière et plantes en pots*", CNIH Ed, Paris : 5-19.
- Nappi, P. y Barberis, R. 1993. Compost as growing medium: chemical, physical and biological aspects. Acta Hort. (ISHS) 342: 249-257.
- Ortega, L. D. M. 2010. Efecto de los sustratos en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Mexico.
- Protz, R., Shipitalo, M.J., Mermut, A.R., 1987. Image analysis of soil present and future. Geoderma 40, 115-125.
- Pawluk, S., 1987. Faunal micromorphological features in moder humus of some western Canadian soils. Geoderma, 40: 3-16.
- Peñuelas R., J. L.Ocaño B., L. 2000. Cultivo de plantas forestales en contenedor, 2 edición. Mundi Prensa, Madrid, España. 190p.

- Rivière L.M., Foucard J.C., Lemaire F.; 1990. Irrigation of container crop according to the substrate. *Scientia Horticulturae*, 43: 339-349.
- Richards, D., M. Lane and D.V. Beardsell. 1986. The influence of particle-size distribution in pinebark: sand: brown coal potting mixes on water supply, aeration and plant growth. *Scientia Horticulturae* 29: 1-14.
- Ringrose-Voase, A.J., 1987. A scheme for the quantitative description of soil macrostructure by image analysis. *J. Soil Sci* 38, 343-356.
- Ringrose-Voase, A.J., 1991. Micromorphology of soil structure: description, quantification, application. *Aust. J. Soil Res.* 29, 777-813.
- Ringrose-Voase, A.J. and Bullock, P., 1984. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. *J. Soil Sci.*, 35: 673-684.
- Ringrose-Voase, A.J., 1996. Measurement of soil macropore geometry by image analysis of sections through impregnated soil. *Plant and Soil* 183, 2747.
- Smajstrla, A.G., Locascio, S.J., 1996. Tensiometer controlled drip irrigation scheduling of tomato. *Applied Eng. Agric.* 12, 315-319.
- Sonneveld, C. and Voogt, W. 2008. Nutrient concentrations of plant tissues of greenhouse crops as affected by the EC of the external nutrient solution. *Acta Hort. (ISHS)* 779:313-320.
- Samadi A, 2011. Effect of Particle Size Distribution of Perlite and its Mixture with Organic Substrates on Cucumber in Hydroponics System. *J. Agr. Sci. Tech. (2011) Vol. 13: 121-129.*
- Shipitai, M.J. and Protz, R., 1987. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage. *Can. J. Soil Sci.*, 67: 445-456.
- Stange, C.F., and R. Horn. 2005. Modeling the soil water retention curve for conditions of variable porosity. *Vadose Zone J.* 4: 602-613.
- Topp, G.C., Davis, J.L., 1985. Measurement of soil water content using time domain reflectometry.
- Thompson, L. y A. Doerge, 1996. "Nitrogen and water interactions in subsurface trickle-irrigated leaf lettuce: II. Agronomic, economic and environment outcome", en *soil Sci. Soc. Am. J.* Papadopoulos, A.P., Graham, M.E.D. and Anctil, B. 1992. On-line matric potential sensors for irrigation control in peat-based soilless media. *Acta Hort. (ISHS)* 304:227-236. http://www.actahort.org/books/304/304_25.htm
- Tei, F., 1999. "Nitrogen fertilization of lettuce, processing tomato and sweet pepper: yield, nitrogen uptake and risk of nitrate leaching." En *Acta Horticulturae* 506:61-67.
- Thompson, M.L., Singh, P., Corak, S., Straszheim, W.E., 1992. Cautionary notes for the automated analysis of soil pore-spaces images. *Geoderma* 53, 399-415.
- Trinchera A, Rivera, M. C., Rinaldi S., Salerno A., Rea E y Sequi P. 2010. Granular size effect of clinoptilolite on maize seedlings growth. *The Open Agriculture Journal*, vol. 4, 23-30.
- VandenBygaart, A.J., Fox, C.A., Fallow, D.J., Protz, R., 2000. Estimating earthworm-influenced soil structure by morphometric image analysis. *Soil Science Society of America Journal* 64, 982-988.
- Van Der Veken, L., Michels, P., Feyen, J., Benoit, F., 1982. Optimization of water application in greenhouse tomatoes by introducing a tensiometer controlled drip irrigation system. *Scientia Hort.* 18, 9-23.
- Voogt, W. 1988. K/Ca ratios with butterhead lettuce grown in recirculating water. *ISOSC Proc. 7th Intern. Congr. Soilless Culture*, p. 469-482
- Wakoh, H. and Hirano, T. 1992. Measurements of water content in solid media using of porous alumina sensors. *Acta Hort. (ISHS)* 304:253-258.
- Wallach, R., F.F. da Silva and Y. Chen. 1992. Hydraulic characteristics of tuff (scoria) used as a container medium. *Journal of America Society Horticultural Science* 117: 415-421.

- Welch *et al.*, 1983. 'effect of variety, nitrogen fertilizer and various agronomic factors on the nutritive value of husked and naked oats grain", en animal feed Science and Technology, vol. 113, Issue 4 pp. 169-181.
- Zapata N., Guerrero., y A. Polo. 2005. Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de sustratos de cultivo. Agricultura Tecnica 65: 378-387.

Capítulo 3 Quantification of porosity in substrates using software for image analysis with thin sections.

Quantification of porosity in substrates using software for image analysis with thin sections.

L. Pineda Marín¹, Ma del C. Gutiérrez Castorena¹, E.V. Gutiérrez Castorena.² R. Anicua Sanchez¹

¹ Programa de Edafología. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Estado de México. carmen.gutierrez.castorena@gmail.com.

²Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco, D.F. México.

Abstract

The determination of physical, chemical, and biological properties of substrates is generally performed with unclassified-mixed samples. However, a low reproducibility of results is the general outcome in such cases. Literature recommends a minimum number of repetitions and statistical analysis, in order to obtain representative samples; nevertheless, data variance is very high. The main objectives of this study were to quantify porosity variability in substrate thin sections with different particle sizes, using the same material (organic and inorganic) and, to determine porosity variability within the same particle size but with different ratios of several materials (peat moss, compost, volcanic scoria, agrolite and pumice were used as substrates). All the materials were placed in PVC containers to obtain undisturbed samples for thin section preparation; then they were described (porosity and basic distribution pattern). Later, they were photographed (20 photographs) with a petrographic microscope, using 0.6 cm x 1.0 cm grids, printed on film paper. Image analysis was done to quantify porosity. Then, they were processed with, to maintain the accuracy and geometric correction of each image. Analyses of physical properties (air capacity, easily available water, and less readily available water) were carried out in order to relate with micromorphological data. Our findings showed that bulk substrates present poorly sorted particles with high porosity variability even within the same mixture; hence, these data correlate with the high variability of their physical properties (water retention). In substrates with the same particle size, there is well sorted material with different types of pores (percolation and water storage). When the same types of pores occur (simple packing) with a random distribution pattern, porosity variability is low. It is necessary to use the same particle size in substrates to guarantee reproducibility of physical properties.

Keywords: micromorphology, particle size, water retention.

1. Introduction

Although it is stated that substrate formulation should use representative samples to determine its physical properties (De Boodt *et al.*, 1974), as well as a minimum number of repetitions for the statistical analysis in measurements of central tendency (Wonnacot and Thomas, 1979), it is common to obtain low reproducibility in the results. This is because most laboratory determinations of substrates are done in bulk samples, where particle size differences are a common occurrence, and thus generate a different arrangement and configuration in each case (Burés, 1997), as well as a low degree of order (Bullock *et al.*, 1985). This problem was overcome in soil science by standardizing methodologies using a fraction lower than 2 mm (Van Reeuwijk, 2003), and analyzing each particle size, which allowed to know their different properties (Brady and Weil, 1999). It has been found in materials used for substrates that each particle size presents a different behavior in its hydrological properties (Anicua, 2008), as do mixtures (organic and inorganic materials at different ratios). These properties do not always register a lineal relationship (Hernández, 2009). These differences are related with the type, size, and distribution of pores (Anicua *et al.*, 2009), and the packing and placement of the particles (Bures, 1997). However, there is no *in situ* information on just how variable the percentage of pores and their function (macro-percolation and micro-storage, closed and interconnected) can be in bulk substrate mixes or with a single particle size. Likewise, how pore variability is related with the hydrological properties.

According to Anicua *et al.* (2008), porosity studies on substrates done *in situ* can be done using techniques used in micromorphology. In this discipline, thin sections (30 μm thick) are made from resin impregnated blocks and images are obtained using a microscope coupled with a computer, which allows to examine objects in a wide range of scales (Bui, 1990).

Image analysis has been used in several studies on soil porosity and structure (Murphy *et al.*, 1977a,b; Ringrose-Voase and Bullock, 1984). Stoops (2010) mentions that good correlations between micromorphological and physical data may be important in the future. Therefore, a detailed examination of substrate porosity employing micromorphology and image analysis can provide a better understanding of their peculiar behavior.

The main objectives of this study were: 1) to quantify porosity variability in substrate thin sections with different particle sizes, using the same material (organic and inorganic), and within the same particle size but with different ratios of several materials, 2) to correlate porosity types, size, and distribution *in situ* with physical properties in substrates.

2. Materials and Methods

The materials used were: peat moss (Pm), coconut fiber (Cf), compost (C), vermicompost (ve) and tezontle (volcanic scoria) (Tz) to calculate standard deviation in bulk materials. The mixtures of materials analyzed in bulk were Ve-Tz and Cf-Tz in a 60:40 ratio. They were later placed in a container and mixed ten times each one. The materials analyzed by particle size were Cf and Tz. To do this, it was necessary to sift them and separate them into particles sized 1-2 mm and 2-3 mm, respectively. After this, mixtures were made with different proportions (100Tz, 25Tz:75Cf, 50Tz:50Cf, 75Tz:25Cf, 100Cf in v/v). For the micromorphological analyses, all the mixtures were placed in PVC tubes (7.5 cm high x 5 cm diameter), in three repetitions. All the samples were impregnated with an unsaturated polyester resin and styrene monomer in a 7:3 ratio and thin sections (30 μm thick) were prepared, as specified by Murphy (1986). The basic distribution and sorting (defined as the amount of variation in particle diameters found in a sample) were observed in a petrographic microscope and described according to Bullock *et al.* (1985). Later, the thin sections were photographed (20 pictures with a 2x petrographic microscope) using a grid of 0.6 x 1.0 cm printed on film paper. The images were processed with the Autocad 10, and Erdas v9.2 software, to maintain the accuracy and geometric correction of each image. Porosity was quantified in each photograph using an image analyzer (Image Pro v6). Moreover, the water release curve proposed by De Boodt *et al.* (1974) was determined. The morphological characteristics were compared against the physical data (aeration capacity, CA; easily available water, EAW; less readily available water, LRAW; and reserve water, RW in the different particle sizes.

3. Results and Discussion

3.1. Bulk Samples

Despite the homogenization of the particles, Figure 1 and 2 shows that the three thin sections present different particle dominance, even when the ratio was the same (60:40 Cf-TZ, ve-TZ). Figure 1b shows a greater number of TZ particles than CF, and a poor order, contrary to those shown in Figure 1a and Figure 1c. Bullock *et al.* (1985) indicated that the mixture of organic and inorganic materials generates complex packing voids, given the presence of storage and percolation pores. The fact that the ratio between particles is different, even within the same mixture, can cause dominance in a container of percolation pores, as in the case of TZ, while in other containers there might be a dominance of storage pores, as in the case of Cf. Also observed in the thin sections were interconnected cavity pores generated by the grouping of Cf. These macropores have a percolation function, which further complicates reproducibility of the physical data in bulk samples, since some containers may have greater drainage than others. Coconut fiber has been reported to have variations in its physical properties, according to its origin while TZ has variations in the percentage of porosity even within mines in the same locality (Vargas *et al.*, 2008); thus it is always necessary to evaluate the properties of each material.

With regard to pore percentage, obtained through image analysis, a high variability was found, not only within a single thin section (from 44.72% to 79.51%), but also among thin sections. this generates that mixture not show isotropy in the characteristic of porosity that as substrate should have, as reported by Verdonck *et al.* (1984).

When the pore percentage was analyzed through dispersion analysis (standard deviation) of bulk samples of different nature (Table 1), the standard deviation was found to be over 16.3%, given that there are different types of pores. An example of this behavior can be seen when analyzing agrolite mixed with different materials (compost, peat moss, tezontle, and coconut fiber), where both porosity percentage and its standard deviation are completely different (from 66.9% up to 80.3% porosity, and SD from 5.8 to 16.3). This means that a single inorganic

material will have different behaviors in its physical or morphological properties depending on the organic material with which it is mixed. The fact that different particle sizes are present with a regular distribution in each container causes the substrate to be a complex system (Vargas *et al.*, 2008), which makes its characterization difficult (Verdonck *et al.*, 1984).

3.2. Different Particle Size

The obtained results show that a single particle size increases the sorting by up to 100%; however, the percentage and type of pores change as particle size decreases (Figure 2). The thin sections show open compound packing voids (3.35 mm particles; Figure 3a), interconnected cavities (1 mm; 3b), and closed packing voids (< 0.25 mm; 3c), besides the micropores found within the organic particles. This causes each section not only to have different percentages of porous spaces (82%, 75%, and 51%, respectively), but also for the type of pores which vary in their storage and percolation functions (Brady and Weil, 1999) according to particle size. This behavior can also be related with the aeration capability, and with the water stored at different tensions as shown in Figure 2. With regard to the standard deviation, it can be seen that there is a lower variation in the porosity percentages of each particle size, which means that there is greater isotropy.

3.3. Same Particle Size with Different Nature and Proportion

When a single particle size was used (1 mm CF-TZ) to make the mixtures, variability in total porosity decreased (standard deviation less than 7.6). This low variability happens when there is a dominance of simple packing voids, which allows reproducing the data for research purposes (Table 2). Nevertheless, for practical purposes, Hernández (2009) found that the response of lettuce seedlings is limited when there is only one type of pores (storage or percolation), and that the ratio of the materials also influences plant development. According to Ansorena (1994), it is not enough for the substrate to have a high total porosity, but rather that it is necessary that it is conveniently made up of macropores, with air, and micropores storing water.

IV. Conclusions

Bulk growing media has a high variability in porosity even within the same mixture; hence, the high variability of their physical properties (water holding capacity). In growing media with the

same particle size, there is a low variability yet occurring different types of voids (with different roles: percolation and water storage). When same voids occur with a random distribution pattern, porosity variability is low; however, it is necessary that growing media present heterogeneity in all void types. Knowledge about physical and morphological properties of growing media allows modifying such properties according to hydric demands of plants. The use of image analysis to quantify the porosity substrates allow greater precision in the results, to understand the influence of particle size on the physical properties and observe how the particles are arranged *in situ* when working with samples same particle size or bulk. The application of micromorphology and image analysis helps better understand the physical properties of the substrates compared to traditional methods.

V. Literature Cited

- Ansorena M. J. 1994. Sustratos, propiedades y caracterización. Mundi Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Anicua, S.R. 2008. Caracterización física y micromorfológica de materiales orgánicos e inorgánicos para la generación de mezclas de sustratos en la producción de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). Tesis doctoral, colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Mexico. 198 p.
- Anicua-Sánchez, R., Gutiérrez-Castorena Ma. del C. and Sánchez-García, P. 2008. 2008 Physical and Micromorphological Properties of Organic and Inorganic Materials for Preparing Growing Media Acta Horticulturae 779, ISHS 2008
- Anicua S. R., Gutiérrez Castorena, Ma. del C., Sánchez García, P. Ortiz Solorio, C.; Volke Halle, V.; Rubiños Panta, E. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. Agricultura Técnica en México, 35, 147-156.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. 342 p.
- Brady, N. C. and Weil, R. R. 1999. The nature and properties of soils: twelfth edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 881 p.
- Bui, E. N. 1990. Applications of image analysis to soil micromorphology. ^aUSDA-ARS, Southern Piedmont Conservation Research Center, P.O. Box 555, Watkinsville, GA 30677 U.S.A.
- Bullock P., N. Federoff, A. Jongerius, G. Stoops, and T. Tursina. 1985. Handbook for soil thin section description. Wayne Research Publications, England. De Boodt, M., O. Verdonck and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. Act Horticulturae 37: 2054-2062
- Hernández E. J. L, 2009. Propiedades hídricas en mezclas de sustratos con diferentes proporciones y tamaños de partícula. Master degree Thesis. Colegio de postgraduados, Campus Montecillo, Edo. De México.
- Murphy, C.P., 1986. Thin sections preparation of soil and sediments. AB Academic Publishers Berkhamsted. Great Britain.
- Murphy, C.P., Bullock, P. and Turner, R.H., 1977a. The measurement and characterisation of voids in soil thin sections of image analysis. Part I. Principles and techniques. J. Soil Sci., 28: 498-508.
- Murphy, C.P., Bullock, P. and Biswell, K.J., 1977b. The measurement and characterisation of voids in soil thin sections of image analysis. Part II. Applications. J. Soil Sci., 28:509-518.
- Ringrose-Voase, A.J. and Bullock, P., 1984. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. J. Soil Sci., 35: 673-684.

- Stoops, G. 2010. Micromorphology as a tool in soil and regolith studies 1-8 p. In Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. G. Stoops, V. Marcelino and F. Mees (eds). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Van Reeuwijk., 2003. Procedimientos para el análisis de suelos (para clasificación y correlación). Gutiérrez-Castorena, Ma. del C., Tavares Espinosa, C. A., Ortiz-Solorio, C.A., (Trads.). Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, México.
- Vargas-Tapia, P., J. Z. Castellanos-Ramos² J. de J. Muñoz-Ramos², P. Sánchez-García¹, L. Tijerina-Chávez R. Ma. López-Romero¹, C. Martínez-Sánchez y J. L. Ojodeagua-Arredondo. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades del tezontle de Guanajuato, México. Agricultura Técnica en México 34: 323-331.
- Verdonck, O., Penninck, R. and De Boodt, M. 1984. The physical properties of different horticultural substrates. Acta Horticulturae 150:155-160.
- Wonnacot and Thomas H. W, 1979. Introducción a la estadística. Editorial limusa, México.

TABLES

Tabla 1. Total porosity and standard deviation values in materials with different particle sizes and bulk materials.

Mixture	Porosity %	Minimum and Maximum of porosity (%)		S.D.
Compost-Agrolite	74.9	33.25	94.06	16.3
Compost-Agrolite	71.5	40.39	96.58	16.2
Compost-Tezontle + Agrolite	66.9	45.3	81.23	10.3
Compost-Tezontle + Agrolite	77.3	62.53	91.31	8.1
Peat moss-Agrolite	68.0	54.46	81.67	7.1
Coconut fiber-Agrolite	80.3	64.94	88.41	6.3
Agrolite	71.8	61.45	80.06	5.8

S.D: Standard Deviation

Tabla 2. Variability of pore space, within the same particle size but with different nature and proportions.

Mixture	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	S.D.
FC:T 25:75	75.44	65.90	63.83	74.26	68.11	70.87	66.61	65.43	63.71	4.6
FC:T 50:50	66.24	69.73	57.13	67.61	73.99	72.04	70.38	67.40		5.1
FC:T 75:25	76.71	55.32	69.61	63.31	65.93	70.87	62.26	73.01	79.71	7.6

S.D: Standard Deviation

FIGURES

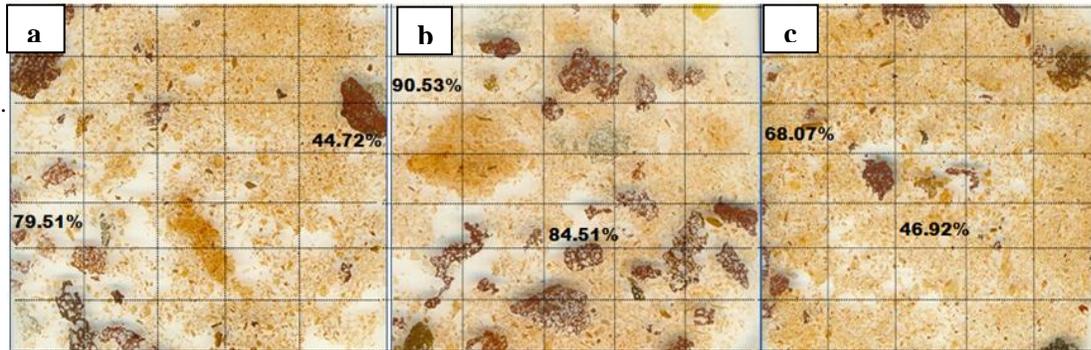


Figure 1. Thin sections of the coconut fiber-tezontle mixtures (60:40 in v/v: of the same mixture a) with 60.92 % total porosity space (TPS), 10 % Standard deviation, (SD), 14.9% easily available water (EAW); and 3.4% less readily available water (LRAW); b) with 76.08% total porosity space (TPS), 8.9% standard deviation (SD); and c) with 60% total porosity space (TPS) and 6% standard deviation (SD).

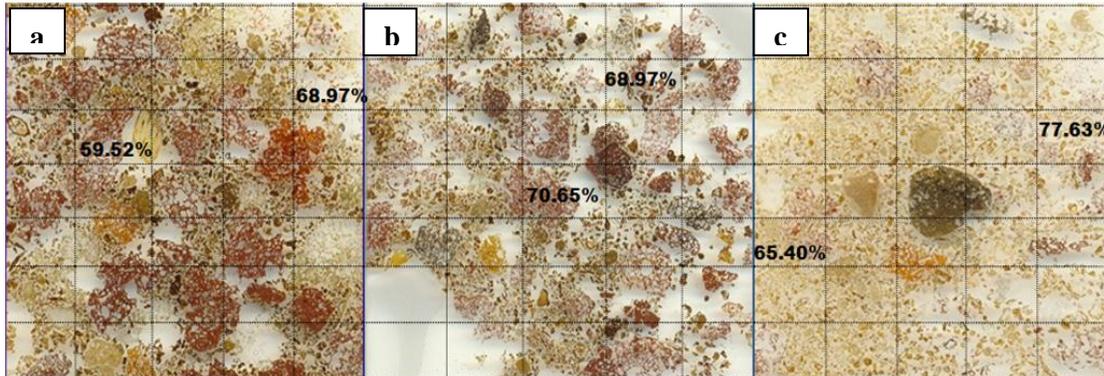


Figure 2. Thin sections of vermicompost-tezontle (60-40 v/v) of the same mixture. a) with 52 % total porosity space (TPS), 6.8% standard deviation (SD); b) with 60% total porosity space (TPS), 7.2% standard deviation (SD); c) 71% total porosity space (TPS), and 7.8% standard deviation (SD).

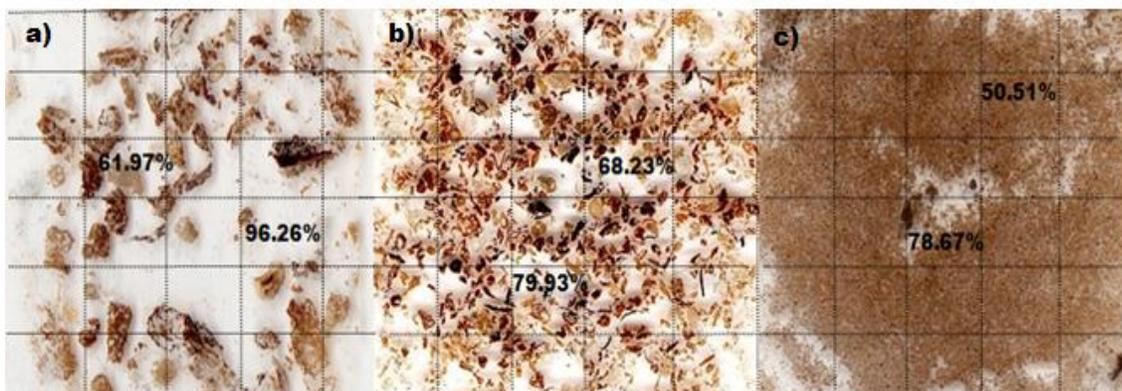


Figure 3. Compost thin sections with different particles size. a) 3.36 mm, with 82% total porosity space (TPS), 10% standard deviation (SD), 1.2% reserve available water (RAW), 43% less readily available water (LRAW); b) 1 mm, with 75% total porosity space (TPS), 8.4% standard deviation (SD), 10% reserve available water (RAW), 37% less readily available water (LRAW); c) < 0.25 mm, with 51.5% total porosity space (TPS), 13.2% standard deviation (SD), 13% reserve available water (RAW), 24% less readily available water (LRAW).

**Capítulo 4 Capítulo 4. Efecto del tamaño de partícula y frecuencia de riegos
en la retención de humedad**

Efecto del tamaño de partícula y frecuencia de riegos en la retención de humedad

L. Pineda Marín¹, Ma. del C. Gutiérrez Castorena¹, Encarnación Lara Hernández¹, Ma., J. José Escobar Aguayo¹ y Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza¹.

¹ Programa de Edafología. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Estado de México.
egutierrez@correo.xoc.uam.mx

Resumen

Se evaluó el efecto de tres mezclas de sustratos en semilleros y tres frecuencias de riego en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa*) y jitomate (*Solanum esculentum* Mill) mantenidos en un invernadero tipo túnel. Las mezclas fueron: fibra de coco-tezontle (Fc-Tz 75:25 v/v) con dos tamaños de partícula (1-2 y 2-3 mm) y peat moss como testigo, las frecuencias de riego fueron: uno diario (1RD), dos diarios (2RD) y uno cada tercer día (1RTD); los 9 tratamientos fueron analizados en bloques al azar para dos factores con tres repeticiones. Se utilizaron charolas de unisel de 200 cavidades y la unidad experimental estuvo conformada por 30 cavidades. Al final del experimento se evaluó: longitud de raíz (LR), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH), altura de planta (AP), peso seco de raíz (PSR) y peso seco aéreo (PSH). La lechuga presentó estadísticamente ($p \leq 0.05$) efectos significativos en el tamaño de partícula de 2-3 mm con 2RD en: DT, AP, PSR y PSH así como en LR, DT, AP y PSR con 1R.D además de una mayor extracción de macro y micronutrientes. El cultivo de jitomate no presentó diferencias estadísticas significativas en las variables evaluadas, excepto el T5 (Fc-Tz 2-3 mm) con 2RD donde ocurrieron las mejores respuestas en peso seco del tallo (PST) y PSH, superando al testigo. La capacidad que tuvo la mezcla fibra de coco-tezontle de 2-3 mm de conservar mayor tiempo la humedad se pudo constatar de manera más precisa con el uso de sensores, ya que estos permitieron monitorear la humedad presente en el sustrato y relacionarlo con el estrés hídrico que presentaron las plantas cuando alcanzaron tensiones arriba de 12 kpa. El homogeneizar el tamaño de partícula disminuyó la variabilidad dentro de la misma mezcla lo que repercutió en las propiedades hídricas permitiendo un mejor desarrollo del cultivo de lechuga y en menor grado las plántulas de jitomate.

Palabras clave: tamaño de partícula, mezclas de sustratos, retención de humedad.

1. Introducción

En la producción de plantas en contenedores, no siempre se utilizan materiales únicos como sustratos debido a que difícilmente satisfacen las necesidades hídricas del cultivo en cuanto a aireación, retención de agua o fertilidad para el cultivo (Anicua, 2008); es por ello que se prefieren mezclas de materiales orgánicos, inorgánicos y a diferentes proporciones (Iskander, 2002). La fibra o polvo de coco, a pesar de presentar problemas de conductividad eléctrica alta, es un material orgánico con alta capacidad de retención de humedad (Meerow, 1994) y se ha utilizado exitosamente para el cultivo de ornamentales (Handreck, 1993; Stamps y Evans, 1997; Aendekerk *et al.*, 2000; Anicua, 2008). Otro material ampliamente utilizado en la parte central de México es el tezontle, ya que se caracteriza por su alta porosidad y área superficial (Baca, 1983; Baca *et al.*, 1990; Wallach *et al.*, 1992; Raviv *et al.*, 2002). A pesar de que ambos materiales son muy conocidos en nuestro país, son escasos los estudios donde se evalúen la retención de humedad y su relación con variables respuesta en mezclas (Anicua *et al.*, 2008; Hernández, 2009).

El tamaño de partícula, en materiales de diferente naturaleza, tienen valores diferentes en las propiedades físicas (Anicua *et al.*, 2009), algunas de ellas son favorables y otras limitan el desarrollo del cultivo (Hernández, 2009). La piedra pómez en partículas de 1-4 mm incrementa el rendimiento y calidad de las plántulas de jitomate (Gunnlaugsson y Adalsteinsson, 1995); mientras que partículas de 1-2 mm de una mezcla de tezontle-paja de maíz (50:50 vv), aumenta la altura (Muratalla, 2003). Bilderback, y Lorscheider (1995) concluyó que las partículas de 6.4 mm de corteza de pino doble procesado favorecieron el crecimiento de *Illicium parviflorum* así como el peso seco de raíz y diámetro de tallo comparado con los otros siete sustratos evaluados (incluyendo al peat moss), que presentaron crecimientos inferiores. En otros casos, los materiales únicos generan mejores condiciones para el crecimiento de las plantas, como es el caso del pepino cuando se utilizó perlita (100%). No obstante, todavía es necesario llevar a cabo investigaciones donde se determinen las propiedades hídricas de las mezclas en diferentes tamaños de partículas, específicamente la relacionada con la retención de humedad y su relación con el crecimiento de las plantas.

En las proporciones de las mezclas de los materiales, se han reportado diferentes respuestas; la mezcla aserrín-composta (50:50), mejoró la altura de las plántulas de jitomate (Ortega, 2010); al igual que con zeolita-cachaza (50:50v/v) (Lara, 1999), mientras que turba-perlita-material compostado (30:20:50 v/v) presentó efectos significativos en el cultivo de pimiento (De Gracia *et al.*, 2005). en esos experimentos, se determinaron las propiedades físicas de cada mezcla de materiales, al inicio del cultivo, por lo que se desconoce cuál fue la modificación de estas propiedades físicas y su relación con el desarrollo de las plantas.

El uso de sensores de humedad puede ser una oportunidad para determinar la capacidad de retención de humedad de cada mezcla y su relación con la capacidad de succión de cada cultivo. Actualmente, hay varios sensores de humedad disponibles para medir el potencial de agua y el contenido de humedad en suelo; tales como tensiómetros (Van Der Veken *et al.*, 1982; Smajstrla y Locascio, 1996; Krüger *et al.*, 1999), sonda de neutrones (Black y Mitchell, 1968; Gear *et al.*, 1977; McFall, 1978) y el medidor de humedad de tierra (TDR) (Topp y Davies, 1985); sin embargo, estos instrumentos raramente son utilizados para el control de humedad y fertirriego en producciones de plantas en maceta. Hilhorst *et al.*, (1992), Papadopoulos *et al.*, (1992) y Wakoh y Hirano (1992), utilizaron sensores en sustratos pero, los altos costos, tamaño inadecuado y mediciones inexactas de los valores de humedad, son algunas de las principales razones para no usar sensores de humedad en el control del riego en la producción plantas en maceta (Murthy, 2005). Debido a ello, en muchos estudios se continua utilizando la curva de liberación de De Boodt *et al.*, (1976), la cual se sólo se realiza al inicio de la investigación, por lo que se desconoce el tiempo que dura la humedad en cada una de las mezclas así como su capacidad de retención de humedad, lo que ha generado que se riegue continuamente las plántulas para evitar su estrés hídrico.

Los objetivos de la presente investigación fueron: 1) Evaluar la mezcla fibra de coco- tezontle en una proporción de 75:25 v/v, a diferentes tamaños de partícula (1-2 mm y 2-3 mm) con tres frecuencias de riegos y su relación con variables respuestas de plántulas de lechuga y jitomate; 2) Monitorear el contenido de humedad en kPa en tiempo real y su relación con las variables respuestas de las plántulas de lechuga y jitomate.

2. Materiales y métodos

El estudio se realizó en un invernadero tipo túnel en la ciudad de Texcoco, Edo. México, y en el área de Genesis del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Los materiales que se utilizaron fueron: fibra de coco-tezontle (FC-TZ 75:25 v/v) a dos tamaños de partícula (1-2 mm y 2-3 mm), y peat moss (Pm) comercial a granel como testigo. Para obtener los diferentes tamaños de partícula, se utilizaron diferentes tamices (FIICS. A. DE. C.V. mecánica de suelos) de 3.0, 2.0 y 1.0 mm de diámetro. Terminado el tamizado se procedió a lavar el tezontle y la fibra de coco en tres ocasiones con agua corriente, para eliminar las impurezas y las sales respectivamente; posteriormente, los materiales se dejaron secar a la sombra durante tres días. La fibra de coco se colocó en bolsas de papel y se esterilizó en autoclave durante dos horas a 18 lb de presión. Los materiales se mezclaron en una bolsa y se agitaron hasta homogeneizarlos. La frecuencia de riegos fueron tres: uno diario de 5 mL por cavidad (1RD), dos riegos de 5 mL uno en la mañana y otro por la tarde (2RD), y un riego cada tercer día de 5 mL (1RTD), para lo cual se utilizó un dosificador (repipet). Producto de las combinaciones se obtuvieron 9 tratamientos con tres repeticiones dando un total de 27 unidades experimentales, que se distribuyeron en bloques al azar.

También se realizó un experimento con riego saturado de 10 mL por cavidad cada tercer día en los tratamientos T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm) con la finalidad de evaluar de manera cualitativa la retención de humedad en cada uno de las tres mezclas empleada. Los cultivos que se usaron fueron lechuga var. “Great Lakes” y jitomate Tipo Saladet var. “Río grande”. Se utilizaron charolas de poliuretano de 200 cavidades y utilizando 30 cavidades por unidad tratamiento (7 cm de alto y de una capacidad de 20 mL).

La siembra se realizó el día 09 y 26 de marzo de 2011 para lechuga y jitomate respectivamente. Durante la emergencia y germinación se regó con agua corriente y una semana después de que germinaron las plántulas, se regaron con solución nutritiva (Steiner al 25 %), manteniéndose el pH a 5.5 y una conductividad eléctrica de 0.5 ds/cm en la solución. En las plántulas de jitomate se utilizó la solución nutritiva a 50% a los 25 días después de sembrar.

Al finalizar la etapa en invernadero (27 días para lechuga) y (32 días para jitomate) se extrajeron las plántulas de las charolas de germinación y se procedió a cuantificar las variables: longitud de raíz (LR), longitud del tallo (LT), diámetro del tallo (DT), número de hojas, (NH) altura de la planta (AP), peso seco de raíz (PSR) y peso seco de la parte aérea (PSH). El análisis estadístico se hizo en base a Statical Analisis System (SAS, 2009) en el cual se realizó el anava y la prueba de tukey para 2 factores para combinaciones M*R.

Para el monitoreo de la humedad en las diferentes mezclas de sustratos se realizó un software (en proceso de patente) con la ayuda de micromorfólogos, informáticos, electrónicos y agrónomos quienes se dieron a la tarea de elaborar el software capaz de leer la humedad del sustrato in situ para lo cual, se usaron sensores de humedad (8 en total marca watermark). La calibración de los sensores se hizo saturandolos con agua durante tres horas; posteriormente fueron colocados dentro de la maceta de 5 pulgadas con el cultivo de jitomate, mismo que se utilizó en semillero; posteriormente, se dejó secar completamente el sustrato. Las lecturas de humedad en el sustrato durante todo el proceso de secado se fueron registrando en la computadora a intervalos de 10 segundos entre cada lectura. Los valores se registraron en kpa. Al final de la prueba se compararon los resultados de los kpa con el estrés hídrico que presentaba la planta de jitomate de manera física.

3. Resultados y discusión

3.1. Lechuga (*Lactuca sativa*) variedad “Great leaks 118”

Los análisis estadísticos (pruebas de Tukey) con un nivel de significancia de 95% indican que la homogenización del tamaño de partícula influye de manera positiva en las variables evaluadas. Así el T4 donde las partículas usadas fueron 2-3 mm con un riego diario fue el que tuvo los valores más altos en LR y DT superando al T7 (testigo), seguido del T1 (1-2 mm, 1RD); (Figura 1a-c). Los T2 (1-2 mm) y T5 (2-3 mm) superaron estadísticamente al testigo T8 (Pm) en la variable DT con 2RD cada uno como se puede apreciar en la Figura 1d. Con respecto a los tratamientos con un riego cada tercer día no hubo diferencias significativas a excepción de la variable LR como se reporta en la Figura 1b en donde los T3 (1-2 mm) y T6 (2-3 mm), superaron estadísticamente al T9 (Pm). Con base en los resultados obtenidos se puede indicar que la mezcla FC-TZ en una relación 75:25 v/v, con un riego diario un tamaño de partícula de 2-

3 mm mejoró el crecimiento y desarrollo en el cultivo de lechuga comparado con el peat moss a granel en cualquiera de los riegos.

De acuerdo con los análisis estadísticos, la homogenización del tamaño de partícula influyó de manera positiva en las variables evaluadas así la LR también se incrementó cuando se usó riegos cada tercer día en partículas de diferente tamaño y a granel (Figura 1b). Esto significa que las raíces tienden a desarrollarse mejor en partículas pequeñas y de tamaño homogéneo, no así cuando las partículas son a granel. De acuerdo con Hernández (2009), la capacidad de aireación y retención de humedad es de 83.45% y 83% respectivamente para la mezcla fibra de coco-tezontle lo que favoreció el crecimiento de la raíz.

Estos resultados concuerdan con la mezcla FC-TZ (75:25) en sus dos tamaños de partícula, empleados por Hernández (2009) mismas que presentaron mejores propiedades físicas tales como mayor retención de humedad (83%) debido a la mayor proporción del material orgánico y aireación (83.45%), lo que propició que el DT del tallo en lechuga se incrementara. Esto significa que el tallo depende básicamente de la disponibilidad de agua (Salas y Urrestarazu, 2000). Bilderback y Lorscheider (1995) evaluaron ocho sustratos entre ellos al peat moss en los cultivos de *Illicium parviflorum*, *Sanglow azalea* y *photinia*, y encontraron que *Illicium parviflorum* tuvo el mayor diámetro de tallo cuando se cultivó en corteza de pino doble procesado (CPDP) con un tamaño de partícula de 6.4 mm. El efecto del tamaño de partícula potencializa el crecimiento de las plantas y otras ocasiones las limita, debido a que cada tamaño presenta diferentes propiedades hídricas (Anicua *et al.*, 2009). El número de hojas, no presentó diferencias estadísticas significativas a los 27 DDS en los diversos tratamientos. (Figura 1e-f).

El efecto en la homogenización del tamaño de partícula con respecto a la altura de la planta fue positivo para los T1(1-2 mm) y T4 (2-3 mm) ya que los análisis estadísticos muestran diferencias significativas con respecto al T7 (Pm), los cuales recibieron un riego diario (Figura 2a). El T5 (2-3 mm) superó al T8 (Pm) los cuales recibieron dos riegos diarios (Figura 2b).

Los tratamientos en los que se establecieron plantas con buen desarrollo foliar, manifestaron igual respuesta en el peso seco de raíz. Los análisis estadísticos con 95% de confiabilidad concluyen que hubo diferencias significativas entre tratamientos; así los T1 (1-2 mm) y T4 (2-3 mm) fueron superiores al T7 (Pm) todos con un riego diario (Figura 2c). El efecto de la homogenización del tamaño de partícula también se observó en los T2 (1-2 mm) y T5 (2-3 mm) que estadísticamente fueron superiores al T8 (Pm) en los cuales se les proporcionó dos riegos diarios a cada uno (Figura 2d). Los valores de peso seco de raíz están relacionados con un mayor número, longitud y peso de las mismas lo que contribuye en una mejor absorción del sistema radical, y conlleva a un mejor desarrollo de la parte aérea. Cabe mencionar que el peat moss en una proporción de 100:00 % v/v mostró valores por abajo del T5 (2-3 mm), específicamente en las variables peso seco de raíces y peso seco de hojas, lo cual se debió a que el peat moss se mantuvo saturado todo el tiempo. De acuerdo con Gutiérrez-Castorena (2011), las partículas de peat moss tienden a colapsarse durante el desarrollo del cultivo, disminuyendo drásticamente su capacidad de aireación, en consecuencia dificulta la respiración de las raíces lo que produce un efecto negativo en las variables antes mencionadas. Caso contrario ocurrió en el T5 (2-3 mm) en donde de acuerdo con Anicua (2008), conservó sus propiedades físicas iniciales manteniendo una buena retención de humedad y una buena aireación lo que permitió un buen desarrollo del cultivo. Los resultados muestran que el peat moss no incremento el PSR en contraste con lo reportado por Etzel *et al.* (1994) quienes obtuvieron los valores más altos en PSR en plántulas de berenjena y pimiento cuando utilizaron turba-perlita comparado con composta. Por otra parte Anicua (2008) encontró los valores más altos en PSR en lisianthus cuando utilizó la mezcla fibra de coco-tezontle con tamaño de partícula de 1 mm.

El peso seco de la parte aérea (PSH) estadísticamente no fue afectado por la homogenización en los tratamientos con un riego diario (Figura 2e). Sin embargo, en los tratamientos con dos riegos diarios el T5 (2-3 mm) estadísticamente supero al testigo (T8) como se reporta en la Figura 2f. Hernández (2009) encontró que los valores más altos para la variable PSH fue para los tratamientos FC-TZ 1-2 mm (75:25) y Fc-Pp 1-2 mm (Pp) (25:75).

3.2. Jitomate (*Solanum esculentum* Mill) var. “Río Grande” Tipo Saladet

Para el cultivo de plántulas de jitomate no se presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) por efecto de la homogenización en el tamaño de partícula en las variables evaluadas, a excepción del PST y PSH cuando se usaron dos riegos diarios (T5). En la Figura 3 se observan las plántulas de jitomate, sin diferencias contrastantes. Los tratamientos con un riego cada tercer día tampoco presentaron diferencias significativas.

Los tratamientos a base de fibra de coco-tezontle en sus dos tamaños de partícula comparados con el testigo (Pm) en la variable DT no presentaron diferencias estadísticas significativas con uno y dos riegos Figura 3 e-f, esto concuerda con Shahidul *et al.*, (2002) quienes evaluaron a la fibra de coco, cascarilla de arroz y lana de roca y encontraron que el DT no fue afectado por el sustrato. Se ha reportado que el grosor del tallo influye directamente en el vigor de una plántula, ya que determina la fortaleza y resistencia que dicha planta puede tener al ser sometida a condiciones de campo o de invernadero. Además, el tallo es el soporte de la planta y el sistema distribuidor principal de agua y nutrimentos, de ahí que es importante que se encuentre en las mejores condiciones posibles para impactar de manera significativa en el rendimiento, tal como lo mencionaron Stevenson y Mertes (1986).

El número de hojas no fue afectado por el tamaño de partícula y tipo de mezcla Figura 3g-h. Se sabe que el número de hojas emitidas es un parámetro importante del desarrollo biológico del cultivo, en donde la cuarta hoja se considera como el marcador fenológico para el trasplante en el cultivo de jitomate.

Los tratamientos evaluados bajo diferentes mezclas con uno y dos riegos diarios no muestran diferencias significativas en cuanto a la altura de plántula (Fig. 4 a-b). Estos resultados difieren con lo reportado por Lara (1999), quien reportó que en zeolita y cachaza a diferentes proporciones, la mejor altura en jitomate en semillero se encontró con la relación 50:50 v/v. Mientras que Muratalla (2003) mencionó que la altura de las plántulas de jitomate se puede incrementar cuando se usa una mezcla tezontle-paja de maíz (50:50) con un tamaño de partícula

de 1-2mm. Finalmente, Ortega (2010) encontró que los mejores resultados al combinar aserrín-composta (50:50 v/v) que se utilizaron solos. Otro estudio realizado por Yuli *et al.*, (2008) encontraron la mejor altura de 8,14 cm en plántulas de jitomate cuando se cultivó en una mezcla de turba rubia-cascarilla de arroz quemado a una proporción de 50:50 v/v; en el presente experimento aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas entre tratamientos los valores más altos fueron de 15,40cm y 15,04cm para los T1 (1-2 mm) y T5 (2-3 mm) respectivamente, con dos riegos diarios cada uno (Figura 4 a-b). La altura de la plántula y el número de hojas en semillero se consideran los parámetros de crecimiento más importantes ya que determinan la aptitud para el trasplante. Los almácigos son dependientes del aporte de agua, nutrimentos, energía y aire que un medio pueda aportarle para un óptimo crecimiento (Singh, 1998). Estas condiciones a su vez están relacionadas con factores químicos como el pH, contenido nutricional, capacidad de intercambio gaseoso, agua disponible, temperatura, entre otros.

Estadísticamente el PSR no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos Figura 4 c-d. Los análisis estadísticos para la variable peso seco del tallo (PST) muestran que hubo diferencias significativas, siendo mejor la mezcla fibra de coco-tezontle en sus dos tamaños de partícula con dos riegos diarios cada uno superando al T8 (Pm; Figura 4 e-f). Con respecto al PSH estadísticamente los T2 (1-2 mm) y T5 (2-3 mm) superaron al testigo (Pm; Figura 4 h).

Una de las razones por el cual el cultivo de plántulas de jitomate no presentaron diferencias significativas en las variables evaluadas se debe a que el cultivo en cuestión resiste más el estrés hídrico, contrario a la lechuga que es más sensible a la falta de agua; por otra parte, la mezcla fibra de coco-tezontle en sus dos tamaños de partícula tuvo una retención de humedad del orden de 83% y una aireación del 85% valores muy similares a los que presenta Hernández (2009) para peat moss. Sin embargo el peat moss perdió el agua más rápidamente, de acuerdo a los resultados obtenidos con el uso de los sensores que mostraron que el peat moss alcanzaba tensiones (kpa) más altas en menos tiempo comparado con la mezcla fibra de coco-tezontle en sus dos tamaños de particular.

4. Lechuga (*Lactuca sativa*) var. “great leaks” con riego saturado cada tercer día.

En la evaluación cualitativa se encontró que las mezclas homogenizadas a base de fibra de coco-tezontle, mantenían durante mayor tiempo la humedad hasta el tercer día, manteniendo la misma tendencia (Cuadro 2) que en el experimento cuantitativo anteriormente analizado, en cuanto a crecimiento y desarrollo del cultivo se refiere.

Una de las razones por lo que el peat moss a pesar de que retiene gran cantidad de agua mostró valores muy por debajo de los T6 (2-3 mm) y T3 (1-2 mm) se debe a que perdió la humedad rápidamente como se observa en el apartado de sensores posteriormente descrito.

5. Jitomate (*Solanum esculentum* Mill) var. “Rio Grande” Tipo Saladet con riego saturado cada tercer día.

Para el cultivo de plántulas de jitomate mostraron la misma tendencia que en el cultivo de lechuga siendo la mezcla fibra de coco-tezontle de 2-3 mm la que obtuvo los valores más altos en las variables evaluadas mejor el desarrollo del cultivo como se muestra en el cuadro 3.

6. Monitoreo de la retención de humedad en sustratos con diferente tamaño de partícula

Los resultados obtenidos en el monitoreo de la retención de humedad. Muestran como la mezcla fibra de coco en sus dos tamaños de partícula y con una proporción de 75:25v/v conservó mayor tiempo la humedad por lo que en la Figura 6 muestra como la FC-TZ 2-3mm perdió menos humedad seguido de la mezcla FC-TZ 1-2 mm, obteniendo valores de 7.65 kpa y 10.28 kpa respectivamente comparado con el peat moss que tuvo un valor de 18.69 kpa a la misma hora. Con estos resultados se explica porque el cultivo de lechuga que creció en la mezcla fibra de coco-tezontle en sus dos tamaños de partícula tuvo un mejor desarrollo.

La Figura 7 muestra el efecto del tamaño de partícula de 2-3mm en la retención de humedad en la mezcla fibra de coco-tezontle (75:25 v/v) la que presentó un valor de 12 kpa y el peat moss de 21 kpa lo cual indica que perdió la humedad rápidamente lo cual se puede constatar con el estrés hídrico que presentaban las plantas de jitomate en cada uno de los sustratos a la misma hora, lo cual indica que efectivamente el peat moss perdió humedad rápidamente.

Como se observó en las gráficas anteriores la retención de humedad fue mayor en la mezcla fibra de coco-tezontle con un tamaño de partícula de 2-3 mm seguido de la mezcla fibra de coco-tezontle con un tamaño de partícula de 1-2 mm y finalmente estuvo el peat moss el cual su capacidad de retención de humedad fue menor en el presente experimento. Cabe señalar que los resultados obtenidos en esta primera fase ofrecen una herramienta más para entender el comportamiento del agua en los sustratos, sin embargo es solo una aproximación hacia ese conocimiento por lo que queda abierta la puerta para que futuras investigaciones encaminen sus objetivos en esta rama de la agronomía y específicamente en las propiedades físicas de los sustratos de amplio uso en la horticultura.

VIII. Conclusiones

- ✚ La mezcla FC-TZ con partículas de 2-3 mm y con 2RD favoreció el desarrollo de diámetro de tallo, altura de planta, peso seco de la raíz y peso seco en aéreo de la lechuga; mientras que en jitomate el peso seco de tallo y peso seco de hojas.
- ✚ Con un riego diario las plántulas de lechuga que mantenidas en la mezcla FC-TZ de 2-3 mm no presentaron estrés hídrico.
- ✚ Las plántulas de lechuga con uno y dos riegos diarios no presentaron diferencias estadísticas por tamaño de partícula.
- ✚ No se recomienda riego cada tercer día ya que no se alcanza la altura y calidad de plántula para trasplante.
- ✚ La medición del contenido de agua *in situ* con el uso de sensores permitió determinar el efecto de la homogenización del tamaño de partícula en la retención de humedad.
- ✚ La FC-TZ de 2-3mm conservó mayor tiempo la humedad lo que favoreció el crecimiento y desarrollo del cultivo.
- ✚ La mezcla fibra de coco-tezontle (2-3 mm) conservó la humedad hasta 12 kp después de 57 horas sin regar sin que la planta de jitomate presentara estrés hídrico comparado con el peat moss que tuvo un valor de 21 kpa a la misma hora por lo que la planta presentaba marchitamiento general.

IX. Bibliografía

- Anicua, S. R. 2008. Caracterización física y micro-morfológica de materiales orgánicos para la generación de mezclas de sustratos en la producción de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). Tesis doctoral. Colegio de postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 1998 p.
- Anicua S. R., Gutiérrez Castorena, Ma. del C., Sánchez García, P. Ortiz Solorio, C.; Volke Halle, V.; Rubiños Panta, E. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. Agricultura Técnica en México, 35, 147-156.
- Aendekerk, Th. G. L.; Cevat, H.; Dolmans, N.; Van Elderen, C.; Kipp, J. A.; de Kreij C.; Sonneveld, C.; Verhagen, J. B. G. M. and Wever, G. 2000. International substrate manual. Elsevier International. Netherlands. 94 p.
- Baca C., G.A. 1983. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de los riegos, el sustrato y la densidad de siembra en cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitomate. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. México. 172 p.
- Baca C., G.A., S. Alcalde B., A. Martínez G., R.J. Laird y D. Barrera I. 1990. Efecto de la solución nutritiva, el riego, el sustrato y la densidad de siembra en tres cultivos hortícolas en hidroponía al aire libre. I pepino. Agrociencia, Serie Agua-Suelo-Clima 1: 51-76.
- Bilderback, T.E. and Lorscheider, M.R. 1995. Physical properties of double-processed pine bark: effects on rooting. Acta Hort. (ISHS) 401:77-84
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones agrotécnicas. Madrid, España. 342 p.
- Black, J.D.F., Mitchell, P.D., 1968. Near surface soil moisture measurement with neutron probe. J.
- Etzel, R. Z.; GUL, A.; TUZEL, Y. 1994. Effects of various growing media on eggplant and pepper seedling quality. Acta Horticulture 336: 257-264.
- Gear, R.D., Dransfield, A.S., Campbell, M.D., 1977. Irrigation scheduling with neutron probe. J. Irrigation and Drainage Division-ASCE. 103, 291-298
- Gunnlaugsson, B. and Adalsteinsson, S. 1995. Pumice as environment-friendly substrate – a comparison with rockwool. Acta Hort. (ISHS) 401. 131-136.
- Handreck, K.A. 1993. Properties of coir dust and its use in the formulation of soilless potting media. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 24:349–363.
- Hernández E. J. L, 2009. Propiedades hídricas en mezclas de sustratos con diferentes proporciones y tamaños de partícula. Master degree Thesis. Colegio de postgraduados, Campus Montecillo, Edo. De México.
- Hilhorst, M.A., Groenwold, J. and de Groot, J.F. 1992. Water content measurements in soil and rockwool substrates: dielectric sensors for automatic in situ measurements. Acta Hort. (ISHS) 304:209-218. http://www.actahort.org/books/304/304_23.htm
- Javier De Grazia, Pablo A. Tittonell y Ángel Chiesa 2005. Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). Ciencia e Investigación. Agraria. 34(3): 195-204. 2006
- J.J. Magdaleno Villar, A. Pena Lomelí, R. Castro Brindis, A.M. Castillo Gómez, A. Galvis Spínola, F. Ramírez Pérez y P.A. Becerra López. 2006. Efecto de tres sustratos y dos colores de plástico en el desarrollo de plántulas de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa Brot.*). Revista Chapingo, Horticultura vol. 12. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Krüger, E., Schmidt, G., Brückner, U., 1999. Scheduling strawberry irrigation based upon tensiometer measurement and a climatic water balance model. Scientia Hort. 81, 409-424.
- Lara, F. O. D. (1999). Tesis: Evaluación de sustratos y biofertilizantes para el cultivo del tomate (*Solanum esculentum*) utilizando la tecnología de cepellones. Instituto nacional de ciencias agrícolas departamento de biofertilizantes y nutrición de las plantas. La Habana Cuba.

- Meerow, A. W. 1994. Growth of two subtropical ornamentals using coir (coconut mesocarp pith) as a peat substitute. *Hortscience* 29 (12): 1484-1486.
- Muratalla L. S. 2003. Paja de maíz como sustrato alternativo en la producción de plántulas de Jitomate y planta de Frambuesa. Tesis Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Edo de México.
- Murthy N. S. K. 2005. Thesis Doctoral: water requirements of bedding plants; managing substrates water content and studying physiological and growth responses of plant to varying levels of water content. University of Georgia, U.S.A. 11-12
- McFall, R.L., 1978. Irrigation scheduling with neutron probe. *J. Irrigation and Drainage Division-ASCE* 104, 245.
- Ortega, L. D. M. 2010. Efecto de los sustratos en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) bajo condiciones de invernadero. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, México.
- Papadopoulos, A.P., Graham, M.E.D. and Ancil, B. 1992. On-line matric potential sensors for irrigation control in peat-based soilless media. *Acta Hort. (ISHS)* 304:227-236. http://www.actahort.org/books/304/304_25.htm
- Peña, Haydee B. y Reyes, Isbelia. 2007. Aislamiento y evaluación de bacterias fijadoras de nitrógeno y disolventes de fosfatos en la promoción del crecimiento de la lechuga (*Lactuca sativa L.*). *INCI*, ago. 2007, vol.32, no.8, p.560-565. ISSN 0378-1844.
- Pineda Marín¹ L., Ma. del C. Gutiérrez Castorena¹, Encarnación Lara Hernández¹, Ma., J. José Escobar Aguayo¹ y Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza¹ 2011. Tesis maestría. Efecto del tamaño de partícula y frecuencias de riego en la retención de humedad. Colegio de postgraduados, campus montecillo, edo de México.
- Raviv, M., R. Wallach, A. Silber and A. Bar-Tal. 2002. Substrates and their analysis. *In: Hydroponic production of vegetable and ornamental*. D. Savvas and H. Passam (eds). Embryo publications. Athens, Greece. pp: 25-101.
- Raúl Iskander Cabrera. 2002. Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta. Department of Horticultural Sciences Texas A&M University 17360 Coit Road, Dallas, Texas 75252 (USA).
- Rivière L.M., Foucard J.C., Lemaire F.; 1990. Irrigation of container crop according to the substrate. *Scientia Horticulturae*, 43: 339-349.
- Samadi A, 2011. Effect of Particle Size Distribution of Perlite and its Mixture with Organic Substrates on Cucumber in Hydroponics System. *J. Agr. Sci. Tech. (2011) Vol. 13: 121-129*.
- Salas S.; M.C.; Urrestarazu G, M. 2000. Métodos de riego y fertirrigación en cultivos sin suelo, pp: 185-253. *In: manual de cultivo sin suelo*. Urrestarazu G., M. (Ed). Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Singh, B. Sainju, U. 1998. Soil physical and morphological properties and root growth. *Hort Science* 33 (6): 966-971 p.
- Stamps, R.H. and Evans, M.R. 1997. Growth of *Dieffenbachia maculata* "Camille" in growing media containing Sphagnum peat and coconut coir dust. *HortScience* 32:844-847.
- SAS Institute. 1999. The SAS system for windows. Release 8.2. SAS Institute Cary, NC.
- Stevenson, F. Mertens, A. 1986. Anatomía Vegetal. Editorial Limusa 1ª edición, México.
- Smajstrla, A.G., Locascio, S.J., 1996. Tensiometer controlled drip irrigation scheduling of tomato. *Applied Eng. Agric.* 12, 315-319.
- Shahidul I, M. D.; Khans, S.; Ito, T.; Maruo, T.; Shinohara, Y. 2002. Characterization of the physico-chemical properties of environmentally friendly organic substrates in relation to rockwool. *J. of Hort. Sci. and Biot.* 77(2): 143-148.
- Topp, G.C., Davis, J.L., 1985. Measurement of soil water content using time domain reflectometry (TDR): A field evaluation. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 49, 19-24.
- Van Der Veken, L., Michels, P., Feyen, J., Benoit, F., 1982. Optimization of water application in greenhouse tomatoes by introducing a tensiometer controlled drip irrigation system. *Scientia Hort.* 18, 9 -23.

- Wakoh, H. and Hirano, T. 1992. Measurements of water content in solid media using of porous alumina sensors. *Acta Hort. (ISHS)* 304:253-258.
- Wallach, R., F.F. da Silva and Y. Chen. 1992. Hydraulic characteristics of tuff (scoria) used as a container medium. *Journal of America Society Horticultural Science* 117: 415-421.
- Yuli Deaquiz-Oyola, Javier Alvarez-Herrera y Ana Fraile. 2008. Efecto de diferentes malinas de riego y sustratos en la propagación de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja (Colombia). *Revista colombiana de ciencias hortícolas* Vol. 2 - No. 1 - pp. 54-65, 2008

Cuadros

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en los experimentos

Tratamiento	Mezcla y tamaño de partícula	Tamaño de partícula	Frecuencias de riego	Abreviaturas
T1	Fibra de coco-tezontle (75:25 v/v)	1-2 mm	1 riego diario	(FC-TZ 1-2 mm 1RD)
T2	Fibra de coco-tezontle (75:25 v/v)	1-2 mm	2 riegos diarios	(FC-TZ 1-2 mm 2RD)
T3	Fibra de coco-tezontle (75:25 v/v)	1-2 mm	1 riego C ^{er} día	(FC-TZ 1-2 mm 1RTD)
T4	Fibra de coco-tezontle (75:25 v/v)	2-3 mm	1 riego diario	(FC-TZ 2-3 mm 1RD)
T5	Fibra de coco-tezontle (75:25 v/v)	2-3 mm	2 riegos diarios	(FC-TZ 2-3 mm 2RD)
T6	Fibra de coco-tezontle (75:25 v/v)	2-3 mm	1 riego C ^{er} día	(FC-TZ 2-3 mm 1RT D)
T7	Peat moss a granel	Granel	1 riego diario	(Pm 1RD)
T8	Peat moss a granel	Granel	2 riegos diarios	(Pm 2RD)
T9	Peat moss a granel	Granel	1 riego C ^{er} día	(Pm 1RTD)

Cuadro 2. Variables respuestas en plántulas de lechuga con riego saturado tercer día.

Tratamientos	longitud de raíz (cm)	Diámetro (mm)	No. de Hojas	Altura de planta (cm)
T3 (1-2mm) TDR	6.29	1.17	5	3.34
T6 (2-3mm) TDR	6.52	1.33	5	3.82
T9 (Pm) TDR	2.76	0.6	2.4	2.08

Cuadro 3. Variables respuestas en plántulas de jitomate con riego saturado cada tercer día.

Tratamientos	Longitud de raíz (cm)	Longitud del Tallo (cm)	Diámetro (mm)	Numero de hojas	Altura de planta (cm)
T3 (1-2mm) TDR	5.7	4.1	1.4	3.5	9.2
T6 (2-3mm) TDR	7.4	4.6	1.9	5.0	12.9
T9 (Pm) TDR	6.6	4.0	1.5	3.7	9.8

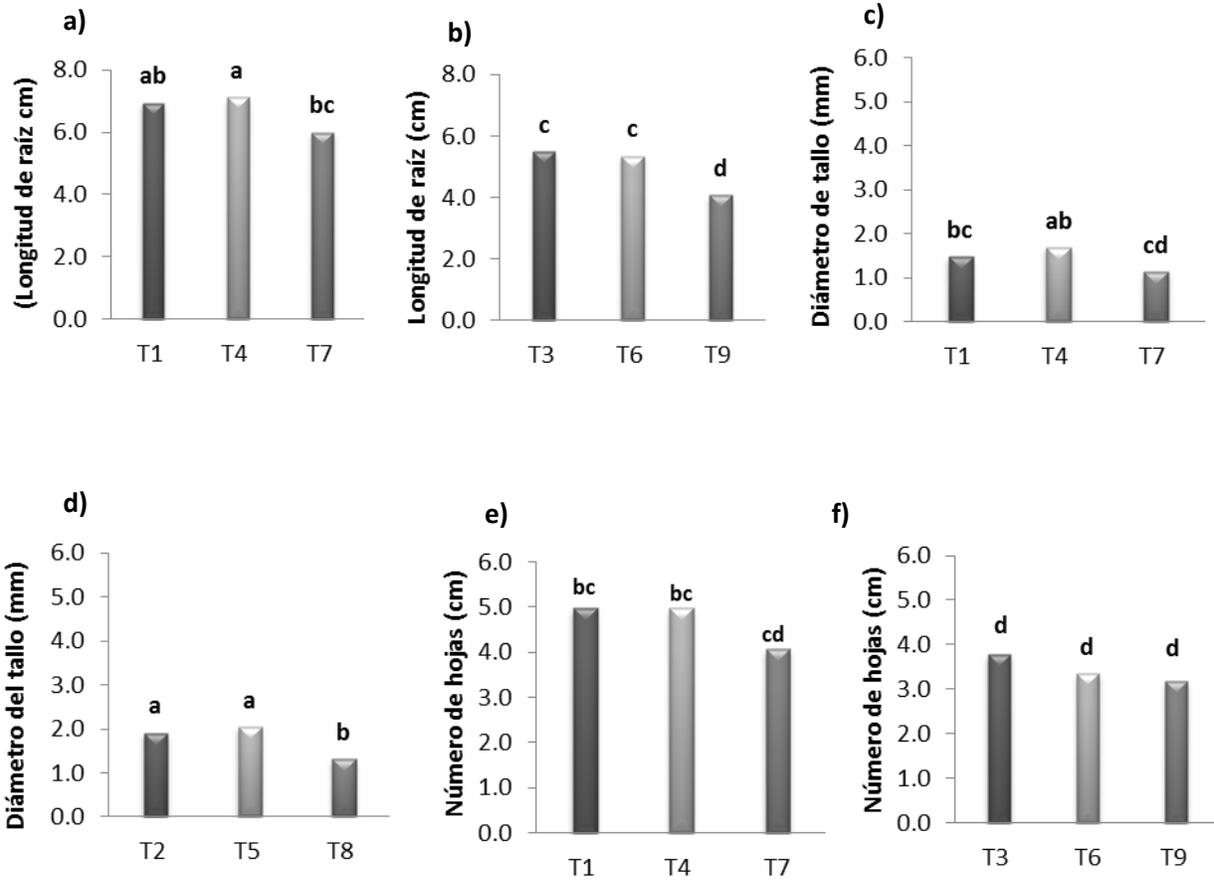


Figura 1. a y b longitud de raíz con un riego diario y un riego cada tercer día respectivamente, c y d diámetro del tallo con un riego diario y dos riegos cada tercer día respectivamente, e y f número de hojas con un riego diario y un riego cada tercer día respectivamente.

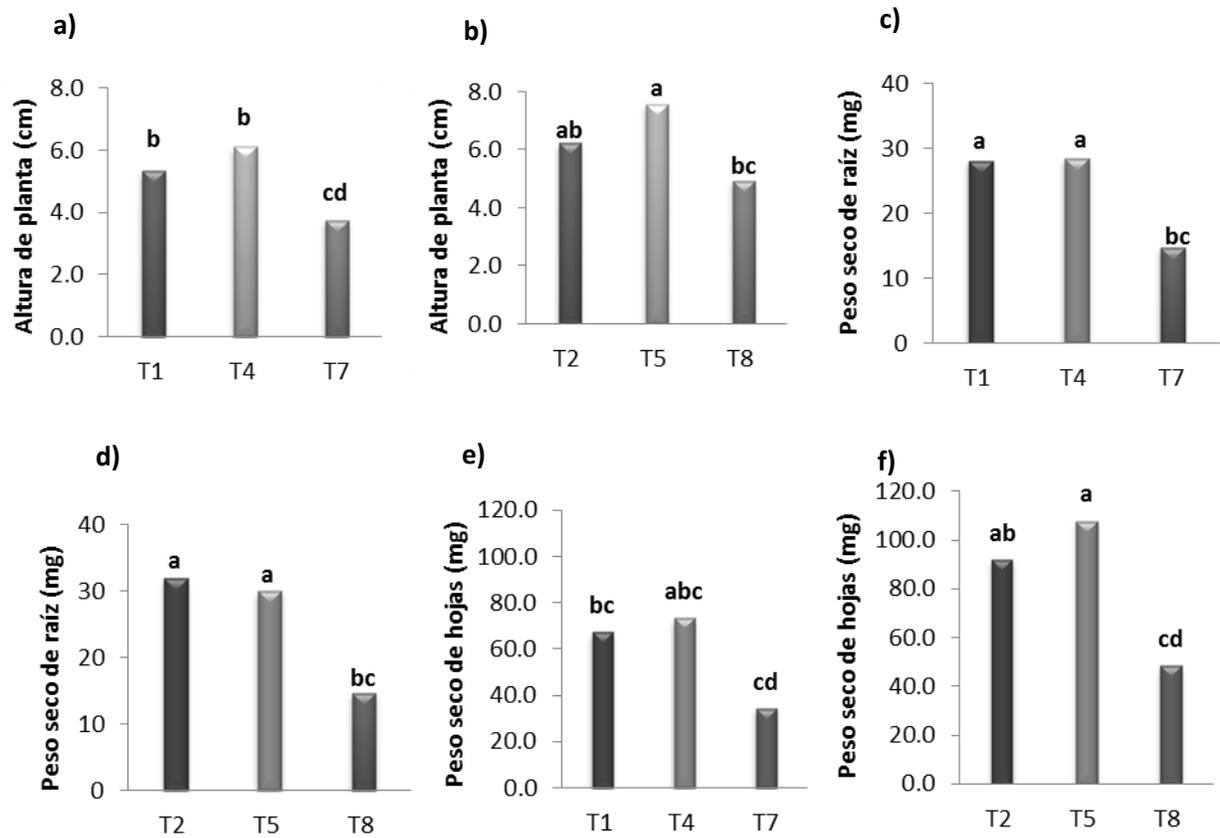


Figura 2. a y b altura de planta con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente, c y d peso seco de raíz con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente, e y f peso seco de hojas con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente en el cultivo de lechuga.

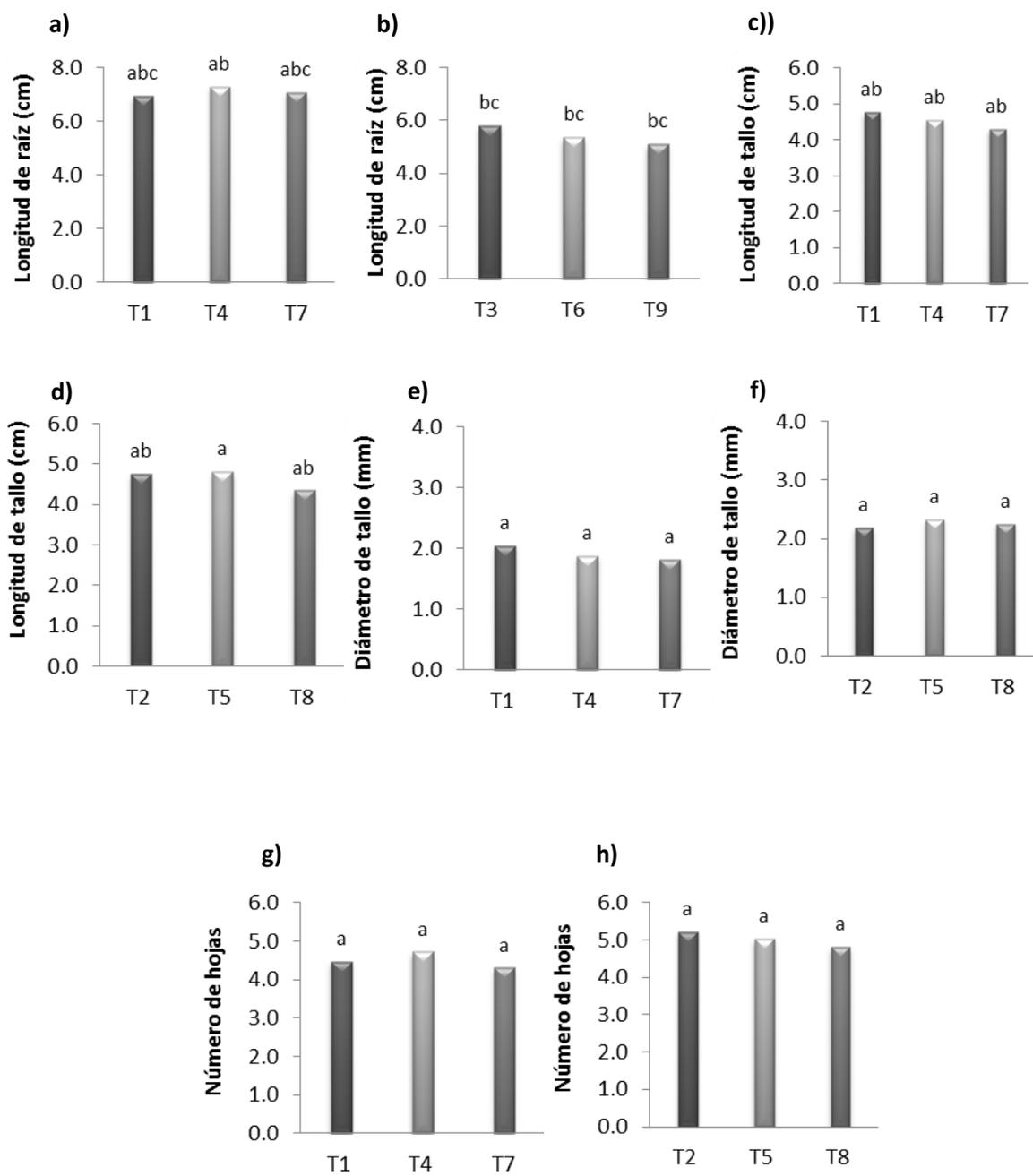


Figura 3. a y b longitud de raíz con un riego diario y un riego cada tercer día respectivamente, c y d longitud del tallo con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente, e y f diámetro del tallo con uno y dos riegos diarios respectivamente, g y h número de hojas con uno y dos riegos diarios respectivamente.

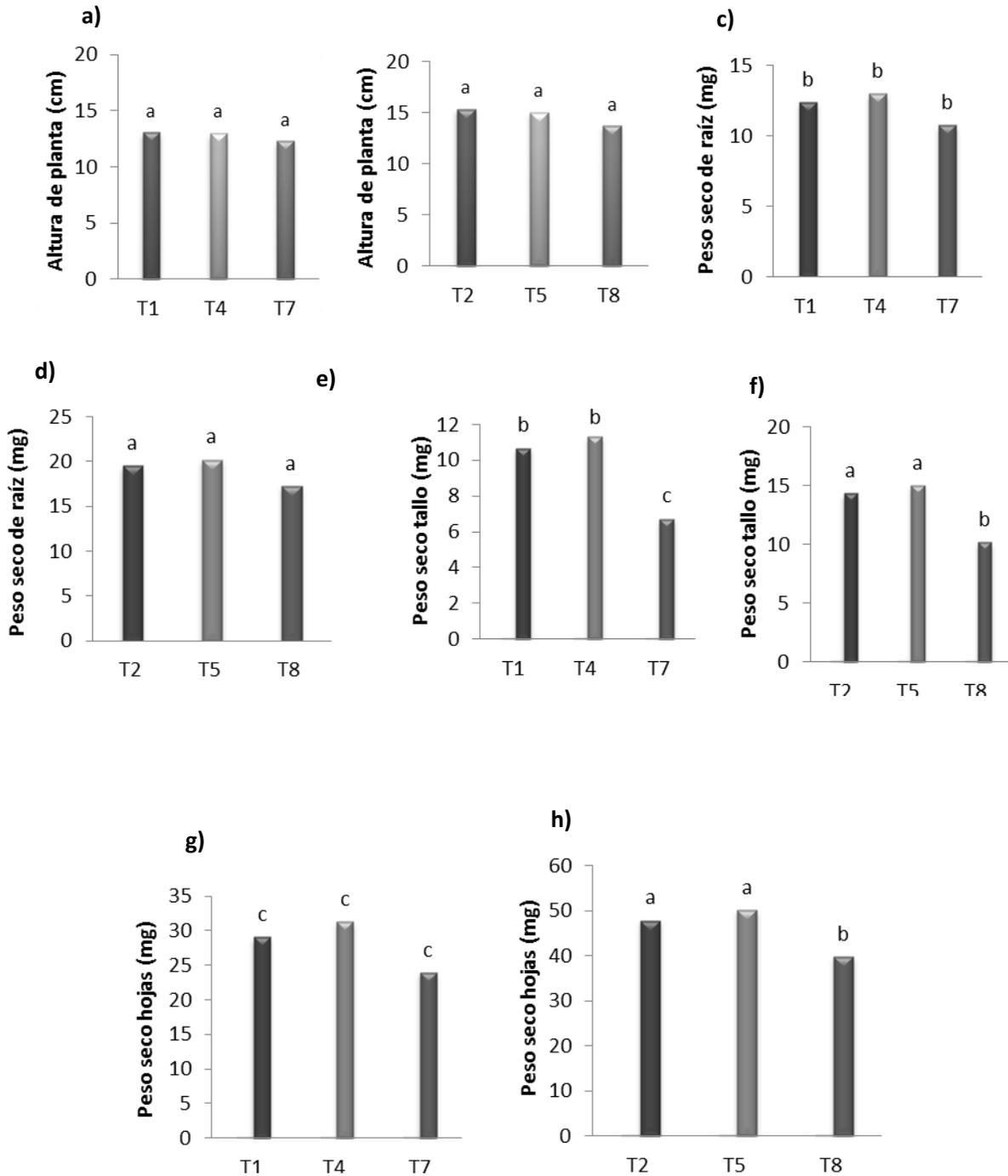


Figura 4. a y b altura de planta con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente, c y d peso seco de raíz con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente, e y f peso seco de tallo con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente, g y h peso seco de hojas con un riego diario y dos riegos diarios respectivamente.



Figura 5. Monitoreo de la retención de humedad con el uso de sensores de humedad.

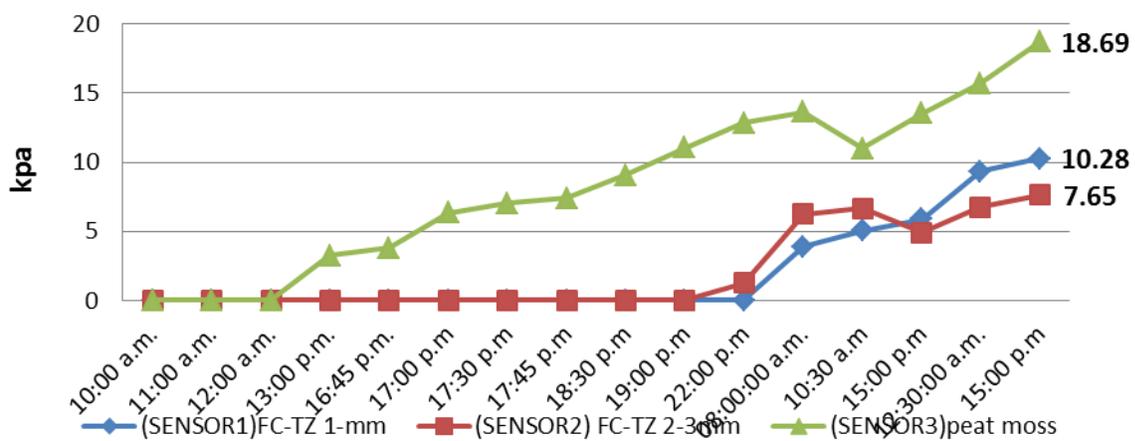


Figura 6. Monitoreo de la retención de humedad en tres mezclas de sustratos

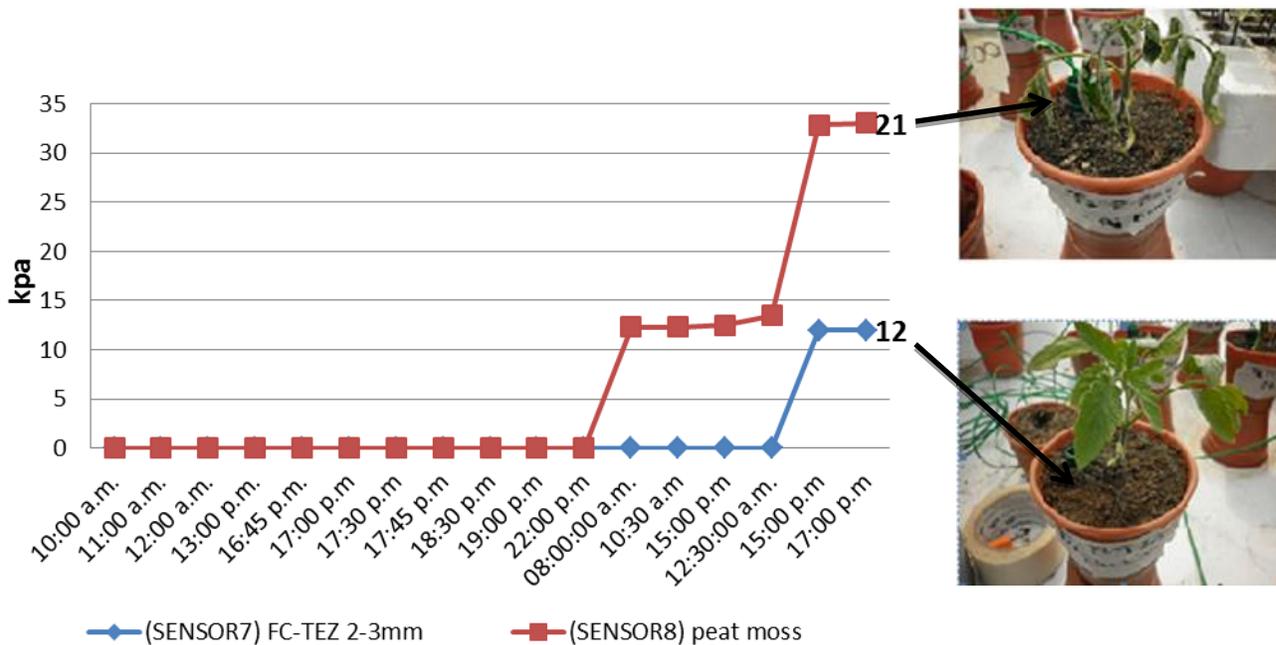


Figura 7. Estrés hídrico en plantas de jitomate cultivadas en FC-TZ 2-3mm (75:25 v/v) y Peat moss a granel.

Capítulo 5 . Efecto del tamaño de partícula y frecuencia de riegos en la extracción nutrimental en lechuga (*lactuca sativa* var. *Great leaks*) y jitomate (*solanum lycopersicom*.)

Efecto de la homogenización del tamaño de partícula y frecuencia de riegos en la extracción nutrimental en lechuga (*Lactuca sativa* var. *Great leaks*) y jitomate (*Solanum esculentum* M. var. *Rio Grande*)

L. Pineda Marín¹, Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza¹ Ma. del C. Gutiérrez Castorena¹, Maria Encarnación Lara¹, J. José Escobar Aguayo¹.

¹ Programa de Edafología. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Estado de México.

Resumen

Se evaluó el efecto de la homogenización del tamaño de partícula y frecuencias de riego en la extracción nutrimental de la mezcla fibra de coco-tezontle (FC-TZ) (75:25 v/v) en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa*) y jitomate (*Solanum esculentum* Mill) en semillero. Los tamaños de partícula fueron de 1-2 y de 2-3 mm de diámetro y peat moss como testigo (Pm; sustrato comercial a granel), y las frecuencias de riego: un riego diario (1RD), dos riegos diarios (2RD) y un riego cada tercer día (1RTD). En total se trabajó con 9 tratamientos en combinaciones que se analizaron bajo un diseño factorial en bloques al azar con tres repeticiones. Se utilizaron charolas de unicel de 200 cavidades y 30 cavidades como unidad experimental, se trabajó en un invernadero tipo túnel. Los resultados muestran que las plántulas de lechuga que crecieron en la mezcla FC-TZ con partículas de 2-3 mm (T4 y T5) con 1RD y 2RD respectivamente, fueron las que extrajeron mayor cantidad de N, P, K, Ca, Mg y Na así como de los micronutrientes: Mn, Cu y Zn. El cultivo de jitomate también presentó mayor extracción nutrimental en la FC-TZ de 2-3 mm. La mezcla FC-TZ conservó mayormente la humedad y buena aireación, lo cual favoreció la absorción nutrimental propiciando el crecimiento y desarrollo del cultivo. En riegos saturados cada tercer día, las partículas de 2-3 mm presentaron la mayor extracción nutrimental de todos los elementos. El área foliar de la lechuga la tuvo el T6 (2-3 mm) seguido del T3 (1-2 mm), no hubo diferencias estadísticas en el área foliar del jitomate.

Palabras clave: tamaño de partícula, frecuencia de riegos, mezcla de sustratos, extracción nutrimental.

1. Introducción

Las plantas, para completar su metabolismo, necesitan una serie de elementos químicos esenciales que deben ser aportados en la cantidad y proporción adecuadas y en estado asimilable. Es por eso que la nutrición de plántulas en semillero es un punto muy importante ya que define el éxito o fracaso del cultivo a implementar en campo. Por lo tanto, el principal objetivo de la nutrición en semillero es obtener plántulas con un adecuado sistema radical, que permita una exitosa implantación en el lugar definitivo.

La raíz es el órgano principal que establece contacto con el ingreso del agua y nutrientes; su habilidad para funcionar apropiadamente depende de la temperatura, aireación, relaciones hídricas, capacidad de intercambio catiónico, salinidad y pH del sustrato (Martin, *et al.*, 1987; Argo, 1998; Marschner, 2000).

Los principales macronutrientes y micronutrientes considerados esenciales para el desarrollo de cualquier cultivo son: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), níquel (Ni), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). Sin embargo, el programa de nutrición por sí solo no asegura una plántula de calidad si no que éste además, debe interactuar con otros factores como: el clima, sanidad del cultivo, preparación del sustrato y el riego. Este último factor es muy importante, ya que si no se riega de manera adecuada de nada servirá el mejor programa de nutrición debido a que el agua es el vehículo que pone en contacto los nutrientes aportados con la raíz.

Existen numerosos estudios en los que la conducción nutrimental en pre-trasplante produce efectos significativos benéficos en las características morfológicas y fisiológicas de las plántulas (Melton y Dufault, 1991; Karchi y Cantliffe, 1992; Basoccu y Nicola, 1992; Nicola y Basoccu, 1994). En algunos se menciona que la nutrición adecuada en esta etapa garantiza un rendimiento aceptable de los cultivos, al incrementar la proporción de frutos y/o la precocidad de la cosecha; en consecuencia se logra un crecimiento uniforme de plántula, mayor tasa de crecimiento en el

semillero, mayor calidad de las plántulas y menor porcentaje de mortalidad después del trasplante (Garton y Widders, 1990; Default, 1998).

Según Thompson y Doerge (1996), la absorción de N por el cultivo de lechuga se incrementó en forma positiva con la cantidad de N aplicado, pero su eficiencia disminuyó al incrementar su cantidad. Sin embargo, Galbattia *et al.*, (2007) encontraron que la concentración de nitratos en tejido fue más influenciada por el tipo de fuente nitrogenada que por el contenido de nitrógeno de la misma. Welch *et al.*, (1983) evaluaron con lechuga la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado usando diferentes fuentes y concluyeron que la eficiencia disminuyó cuando aumentó el porcentaje de N aplicado. Por su parte, Tei *et al.*, (1999) evaluaron la respuesta de diferentes niveles de fertilizantes nitrogenados en lechuga (var. Canasta y Audran) y concluyeron que el suministro mayor de N aumentó el crecimiento del cultivo, absorción de N y el rendimiento. Sin embargo, en este experimento la absorción del N estuvo en función del tamaño de partícula ya que el espacio acuoso y el mayor tamaño de partícula propiciaron un mayor desarrollo de la raíz, mejorando el crecimiento vegetativo ya que la solución se mantuvo al 25% de su concentración y se aplicó a todos los tratamientos.

Sonneveld y Voogt (2008) evaluaron varias soluciones nutritivas con altas conductividades eléctricas ($1-8 \text{ dSm}^{-1}$) en los cultivos de coles, lechuga y lirio y encontraron valores en lechuga de 8 mmolL^{-1} de K en tejido vegetal. El óptimo, según Voogt (1988), es de 4.66 mmolL^{-1} ; sin embargo, esta diferencia la relaciona con la transpiración ya que el experimento se realizó en pleno verano. Muratalla (2003) evaluó la concentración de Fe, Mn, B, Cu y Zn en plántulas de jitomate utilizando los sustratos: tezontle y paja de maíz en tamaños de partícula de 0.5-1 mm y de 1-2 mm respectivamente; además, utilizó tezontle-perlita-turba-tierra de hoja como testigo. Los resultados que encontraron fue que hay mayor absorción de las plántulas que crecieron en la mezcla tezontle-paja de maíz (50:50) con un tamaño de partícula de 1-2 mm. Por lo anterior el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del tamaño de partícula y frecuencia de riegos en la extracción nutrimental en los cultivos de lechuga y jitomate.

2. Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en la ciudad de Texcoco, Edo. México y en el área de Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Donde se evaluaron dos tipos de mezclas con diferente granulometría, peat moss como testigo y tres frecuencias de riego en los cultivos de lechuga var. “Great Lakes” y jitomate var. Río Grande “Tipo Saladet”. Los materiales fueron: fibra de coco-tezontle (75:25v/v) 1-2mm y fibra de coco-tezontle (75:25 v/v) de 2-3mm, y peat moss (sustrato comercial a granel) como testigo. Las frecuencias de riego fueron: un riego diario (1RD) 5 mL, dos riegos diarios (2RD) de 5 mL y un riego cada tercer día (1RTD) de 5 mL. En total se trabajó con nueve tratamientos que dió lugar a un diseño factorial en bloques al azar. Se emplearon charolas de poliuretano de 200 cavidades, utilizando 30 cavidades por tratamiento (7 cm de alto y de una capacidad de 20 ml) como unidad experimental (Materiales y métodos se mencionan detalladamente en el capítulo 4).

La siembra se realizó el día 09 y 26 de marzo de 2011 para lechuga y jitomate respectivamente. Durante la emergencia y germinación se regó con agua corriente y una semana después de que germinaron las plántulas, con solución nutritiva (Steiner al 25 %), manteniéndose el pH a 5.5 y una conductividad eléctrica de 0.5 ds/cm en la solución. En las plántulas de jitomate se utilizó la solución nutritiva a 50% a los 25 días después de sembrar. También se realizó un experimento con riego saturado de 10 mL por cavidad cada tercer día en los tratamientos T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm). Los cultivos utilizados fueron: lechuga var. “Great Lakes” y jitomate Tipo Saladet var. “Rio grande”.

La determinación de N total se hizo por el método Microkhjaldal para lo cual a la muestra de 0.1g de muestra la cual se le agregó lo siguiente: Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y ácido salicílico antes de ser digerida. La digestión se llevó a cabo a 380 °C. Las muestras fueron retiradas cuando el contenido de la muestra con los ácidos se tornó a un color verde esmeralda, posteriormente se procedió a la destilación de la muestra utilizando 10 mL de la mezcla de indicadores previamente elaborada, (con ácido bórico con indicador, catalizadores (K_2SO_4 , $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ y selenio metálico), agua libre de CO_2 , hidróxido de sodio 10 N. Para la titulación

se empleó ácido sulfúrico 0.05 N hasta que la muestra se tornó rosa. El cálculo del nitrógeno (N) se realizó con la siguiente fórmula:

$$N (\%) = \frac{(V_{\text{muestra}} - V_{\text{blanco}}) N \text{ ácido} * 14}{\text{Muestra} * 10}$$

Dónde:

V_{muestra} = volumen del ácido sulfúrico para titular la muestra

V_{blanco} = volumen del ácido sulfúrico para titular el blanco

N = normalidad exacta del ácido sulfúrico

14 = peso mili-equivalente del N (mg)

Muestra = peso en gramos

Se pesaron 0.5 g de tejido vegetal para el análisis de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, B y Zn el cual se hizo por digestión húmeda u oxidación a la cual se le agregaron los siguientes ácidos: ácido perclórico al 72% (HClO_4) y ácido nítrico (HNO_3) al 65% se pusieron en una parrilla a 260 °C. Las muestras se retiraron cuando se tornaron transparentes. Posteriormente se pasaron por papel filtro de poro medio. Las determinaciones se realizaron empleando una espectrofotometría de plasma (Equipo ICP-AES VARIAN™ Liberty II); leyendo directamente en la solución. Se incluyeron tres blancos como referencia realizándoles el mismo procedimiento que las muestras en cuestión tanto para N como para Micronutrientos.

3. Resultados y discusión

3.1. Contenido Nutricional en Lechuga (*Lactuca sativa* var. *Great leaks*)

En los almácigos de lechuga la eficiencia en la extracción del N estuvo en función del tamaño de partícula y número de riegos. Las partículas más grandes favorecieron el desarrollo de la raíz lo que se reflejó en un crecimiento vegetativo mayor, ya que la solución se mantuvo al 25% de su concentración y se aplicó a todos los tratamientos con un riego diario, dos riegos diarios y un riego cada tercer día.

La extracción de N y K fue directamente proporcional al tamaño de partícula en los T1 (1-2 mm), T4 (2-3 mm) y T2 (1-2 mm) T5 (2-3 mm con uno y dos riegos diarios respectivamente (Figura 1). La extracción de N y K en lechuga que creció en peat moss fue menor. Este cultivo demanda que el sustrato tenga buena capacidad de infiltración del agua, evitando así la acumulación de agua a profundidad radicular que pudiera dar lugar a problemas de podredumbre

De acuerdo con Pineda *et al.*, (2011) (Capítulo 3; Hernández (2009) la mezcla Fc-Tz con partículas de 2-3 mm presentó las mejores condiciones hídricas (kpz) y buena aireación, lo que pudo favorecer la extracción nutrimental por el cultivo. Estas propiedades, además de la capacidad de amortiguamiento del pH, son consideradas las más importantes para el desarrollo del cultivo (Abad y Noguera, 1999). El nitrógeno es un elemento que la planta demanda en mayor cantidad en su etapa vegetativa debido a las múltiples funciones que tiene dentro de la planta tales como la fotosíntesis y la respiración (Alcantar *et al.*, 2009). Welch *et al.*, (1983) determinaron la eficiencia de uso de diferentes fuentes de fertilizante nitrogenado en lechuga concluyendo que la eficiencia de absorción disminuyó cuando aumentó el porcentaje de N aplicado.

En la Figura 1a-b se muestra como el T4 (2-3 mm) y T5 (2-3 mm) son los tratamientos con mayor contenido de K, que a su vez fueron también los que presentaron los valores más altos de peso seco de hojas (PSH; Capítulo 4 Figura 5) con uno y dos riegos diarios. Estos tratamientos coincidentemente presentaron mayor disponibilidad de agua, misma que aparentemente influyó en la absorción y concentración de K (Borges-Gomez *et al.*, 2006.).

El potasio es considerado un elemento muy importante en las plantas desde el punto de vista nutrimental, debido a que es un agente catalizador que se localiza en los tejidos meristemáticos y en el mesófilo de las hojas y es sumamente móvil. Por otra parte las altas temperaturas incrementan la absorción de K y como se muestra en la Figura 2 las temperaturas dentro del invernadero estuvieron arriba de los 35 °C. Desde el punto de vista nutrimental es muy importante el K generando una alta producción de azúcares, fibras y otros compuestos especializados que a su vez producen mayor rendimiento de materia seca en las plantas como se observó en el presente experimento.

De acuerdo con los resultados obtenidos, a mayor tamaño de partícula se mejoró la extracción de: P, Ca y Mg en el T4 (2-3mm) seguido del T1 (1-2mm), como se reporta en la Figura 3a. Las plantas mantenidas en el peat moss tuvieron menor extracción comparado con los tratamientos

anteriores. Este sustrato por estar a granel, presentaba gran diversidad en el tamaño de partícula, lo cual repercutió en las propiedades físicas y de alguna forma, en la nutrición del cultivo de lechuga.

El T5 (2-3mm) con dos riegos diarios extrajo mayor cantidad de fósforo y la menor con el peat moss (Figura 3-b). Estos resultados no concuerdan con los reportados por Ansermino, *et al.*, (1995), quien evaluó tres cultivos (petunia, pensamiento y miramelindo) en 5 combinaciones de corteza de pino de 12mm de tamaño de partícula mezclado con peat moss a diferentes proporciones y encontró que el contenido de fósforo (P) aumentó cuando el peat moss estuvo al 100%.

Los niveles más altos de Na en el cultivo se presentaron en la mezcla Fibra de coco-tezontle (1-2 mm) y (2-3 mm) con un riego y dos riegos diarios respectivamente (Figura 3a-b). El incremento en la extracción de macro y micronutrientes por el efecto de la homogenización tamaño de partícula se vio reflejado en un mayor desarrollo del cultivo (Figura 4b).

El tamaño de partícula tuvo una influencia en la extracción de N, P, K, Ca, Mg y Na en partículas de 2-3 mm seguidas por las de 1-2mm (Figura 5a-b) con un riego cada tercer día. La extracción de nutrientes se debe a que en partículas de mayor tamaño hay mayor retención de humedad (Pineda *et al.*, 2011), además al no ocurrir compactación, la aireación permitió mejor crecimiento radical y absorción de nutrientes repercutiendo en el crecimiento vegetativo de la planta (Figura 6b). En el caso de las plántulas que crecieron en el Pm, con las mismas frecuencias de riegos, fueron las que absorbieron la menor cantidad de los elementos, lo que repercutió en un pobre desarrollo del cultivo como se observa en la Figura 6c.

Llama la atención que la absorción de hierro fuera mayor en el peatmoss con un riego diario (Cuadro 1), y que este disminuyera en los T1 (1-2 mm) y T4 (2-3 mm) con un riego diario. Cabe señalar que el hierro es cofactor en más de 130 enzimas que catalizan reacciones bioquímicas únicas e interviene en procesos como la fotosíntesis, respiración, reducción de nitratos y sulfatos (Alcántar *et al.*, 2009).

El T8 (Pm) fue el que presentó los valores más altos de Fe, en tanto que el T2 (1-2 mm) tuvo una mayor absorción de Cu y Zn; finalmente el T5 (2-3 mm) superó a los anteriores en una mayor absorción de Mn. Estos tres tratamientos recibieron dos riegos diarios.

La absorción de B fue similar en los tres tratamientos con dos riegos diarios (Cuadro 1). En los que recibieron dos riegos diarios las diferencias en absorción no fueron muy contrastantes.

En los microelementos se apreció que no tienen una relación directa en cuanto a tamaño de partícula o frecuencia de riegos, sino que cada uno de ellos tiene preferencias específicas; así el peat moss presentó los valores más altos de Fe, las partículas de 1-2 mm la mayor absorción de Cu y Zn y las partículas de 2.-3 mm, la mayor absorción de Mn. Estos resultados podrían relacionarse con la solubilidad de los cationes y con la capacidad de retención de humedad de las partículas. De los tratamientos sometidos a un riego cada tercer día, el T6 (2-3 mm) fue el que tuvo una mejor absorción en B, Cu y Zn, seguido del T3 (1-2 mm) el cual presentó una mejor eficiencia en absorción en Fe y Mn (Cuadro 1). Este también puede ser un problema de solubilidad y capacidad de retención de humedad.

Olivares (2002) encontró concentraciones parecidas en lechuga hidropónica en los siguientes elementos: N, P, K, Ca, Mg, Mn y Cu. Excepto para el Fe y Zn que fueron mayores las concentraciones encontradas en el presente experimento.

3.2. Concentración nutrimental en plántulas de lechuga con riego saturado cada tercer día

El experimento donde se regó cada tercer día el doble de solución que en el experimento anterior, se utilizaron solamente los tratamientos T3 (1-2 mm) y T6 (2-3 mm) con una proporción de 75:25 v/v en cada uno y como testigo se utilizó el T9 (Pm).

La Figura 7 muestra como las plántulas mantenidas en la mezcla fibra de coco-tezontle y con un tamaño de particular de 2-3mm (T6) extrajo mayor cantidad de N y K seguido del T3 (1-2 mm); finalmente las plantas correspondientes al T9 (Pm), fueron ineficientes para la extracción de estos dos elementos. El efecto que tuvo la homogenización en el tamaño de partícula en la mayor extracción de N y K estuvo influenciada por la mayor capacidad de la mezcla (Fc-Tz) en

sus dos tamaños de partícula de retener más cantidad de agua (hasta 12 kpa) y por más tiempo 57 horas después del riego (Pineda *et al.*, 2011; Capítulo 4) permitiendo la absorción por las raíces mejorando así la nutrición y desarrollo del cultivo.

La mezcla fibra de coco-tezontle (T6 2-3 mm) presento valores más altos en la extracción de Ca, Mg y Na seguido T3 (1-2 mm), la extracción por parte del cultivo que creció en el peat moss fue ineficiente así como se observa en la Figura 8. Esto se debió como ya se mencionó anteriormente a la homogenización en el tamaño de partícula que incremento la retención de humedad y la conservo más tiempo por lo que el cultivo respondió mejor.

Los valores del Cuadro 2 muestran que el T9 (Pm) tuvo una mayor absorción de Fe seguido del T3 (1-2 mm) y al final estuvo el T6 (2-3 mm). El Mn presentó un comportamiento inverso ya que el T6 (2-3 mm) fue el que tuvo mayor absorción seguido del T3 (1-2 mm) y finalmente estuvo el T9 (peat moss). La absorción del B es el único que presento una tendencia ascendente en todos los tratamientos. Los valores en el contenido de Cu fueron similares en los T6 (2-3 mm) y T9 (Pm) y en Zn siguieron la misma ascendente como en el B (Cuadro 2).

3.3. Área foliar a los 30DDS en lechuga con riego saturado cada tercer día

Las plantas de mayor desarrollo (mayor longitud de raíz, mayor diámetro del tallo, más altura (Capítulo 4 Cuadro 1) y mayor concentración de N, mantuvieron la misma tendencia en las mediciones de área foliar. Nuevamente la de fibra de coco-tezontle (75:25 v/v) de 2-3 mm mantuvo la humedad mayor tiempo por lo que la plántula estuvo en mejores condiciones de crecimiento incrementando el área foliar; seguido de este tratamiento estuvo el T3 (FC-TZ 1-2 mm) (75:25 v/v) y T9 (Pm; Figura 9) el cual presento problemas en el riego debido a que se secaba completamente la superficie ocasionando que se formara una película repelente en la parte superior del cepellón evitando que el agua se infiltrara en el sustrato por lo tanto evitando la retención de la solución nutritiva. Este es uno de los principales problemas que presenta el peat moss por lo que siempre se debe mantener saturado en semillero evitando que se seque completamente lo que no pasa con la fibra de coco. Pineda *et al.*, (2011) encontró que el peat moss perdía el agua rápidamente comparado con la fibra de coco-tezontle provocando que el cultivo sufriera estrés hídrico severo.

3.4. Contenido nutrimental en jitomate (*Solanum esculentum* M. tipo *Saladet* Var. *Rio Grande*)

La Figura 10a muestra como las plántulas de jitomate del T4 (2-3 mm) extrajeron mayor N seguido del testigo (T7 Pm) con un riego diario cada uno. La extracción de K se óayormente en el T1 (1-2 mm) seguido del T4 (2-3 mm). En los almácigos donde se hicieron dos riegos diarios la extracción de nitrógeno en el tejido vegetal de jitomate fue mayor en los T2 (1-2 mm) y T5 (2-3 mm) seguido del T8 (Pm) aunque la diferencia fue mínima Figura 10b. Con respecto al K la mayor extracción fue para el cultivo que creció en el T5 (2-3 mm) y la menor en el T2 (1-2 mm) Figura 10a-b.

Los siguientes autores han reportado valores en concentración en plántulas de jitomate de los N y K de la siguiente forma: Enríquez (2000) reporta concentraciones de N de 20 g kg^{-1} de materia seca, Wilcox (1994) menciona valores de 63 g kg^{-1} de materia seca para K. Estos valores concuerdan con las concentraciones obtenidas en este trabajo. Sin embargo Muratalla (2003) encontró valores en la concentración de 4.55 g kg^{-1} de materia seca de K concluyendo que las plántulas de jitomate fueron deficientes en la extracción de este elemento, en este experimento por ejemplo se encontró para el T1 (1-2 mm) una concentración de K de 55.3 g kg^{-1} de materia seca comparable con lo que reporta Wilcox (1994) que es de 63 g kg^{-1} de materia seca.

El efecto de la homogenización del tamaño de partícula en la nutrición del cultivo de jitomate a los 35DDS fue directamente proporcional. Así la mayor extracción de P, Ca, Mg y Na se encontró en el T4 (2-3 mm) seguido del T1 (1-2 mm); el cultivo que creció en el T7 (Pm) presento una baja eficiencia en la extracción de los elementos antes mencionados. Cabe mencionar que los tres tratamientos recibieron un riego diario Figura 11a. En los tratamientos con dos riegos diarios se observó una claro incremento en la extracción de P, Ca, Mg y Na en el T5 (2-3 mm). El efecto de la homogenización en el tamaño de partícula en la nutrición de las plántulas de jitomate incremento ligeramente el crecimiento y desarrollo del cultivo como se puede apreciar en la Figura 12b.

Para corroborar que los valores obtenidos se encuentran entre los óptimos reportados para este cultivo se citan a los siguientes autores tomando en cuenta la concentración de estos micronutrientes: Lara (1998) reporta para fósforo (P) y calcio (Ca) valores de 3.1 g kg^{-1} y 23.5 g kg^{-1} de materia seca de materia seca respectivamente y Enríquez (2000) reporta 13 g kg^{-1} de materia seca para magnesio (Mg). Estos valores concuerdan con los resultados obtenidos en este experimento si se toma en cuenta solo la concentración.

Los tratamientos que recibieron un riego cada tercer día la mayor extracción de N fue para el T3 (1-2 mm) seguido del T6 (2-3 mm) y el T9 (Pm) con valores de 1.07 g kg^{-1} , 0.94 g kg^{-1} y 0.68 g kg^{-1} de materia seca respectivamente siguiendo la misma tendencia para K (Figura 13a). La mayor extracción de P, Ca y Mg la tuvo el T6 (2-3 mm) seguido del T3 (1-2 mm; Figura 13b). La capacidad que tiene un sustrato de retener más nutrientes está en función de su capacidad de intercambio catiónico (CIC) así el peat moss tiene un valor de $100\text{-}150 \text{ meq}^{-1}$ y la fibra de coco es de 50 meq^{-1} ; no obstante aunque la CIC de la fibra de coco es baja esta retiene las soluciones nutritivas por capilaridad y en consecuencia son fácilmente asimilables por las plantas. Al mismo tiempo, por su estructura tiene una elevada aireación, característica que favorece el desarrollo radicular (Bures Profesional SA, 2008).

El contenido de Fe, B y Zn fue mayor en el T7 (Pm) seguido del T4 (2-3 mm) el cual a su vez tuvo los valores más altos en Mn y Cu y finalmente con los valores más bajos de los micronutrientes antes mencionados estuvo el T1 (1-2 mm), los tres tratamientos recibieron un riego diario (Cuadro 3). El T8 (Pm) el cual recibió dos riegos diarios fue el que presentó una mejor absorción de Fe y Mn sin embargo no hubo mucha diferencia entre los valores del T5 (2-3 mm) el cual también recibió 2 riegos diarios, el T2 (1-2 mm) fue el que tuvo una menor absorción de los micronutrientes antes mencionados. Para los tratamientos con un riego cada tercer día el mejor tratamiento que tuvo una mejor absorción de los micronutrientes antes mencionados. Para los tratamientos con un riego cada tercer día el tratamiento que tuvo una mejor absorción en Mn, Cu y Zn fue el T6 (2-3 mm), seguido del T3 (1-2 mm) y finalmente estuvo el T9 (Pm) aunque absorbió mejor el Fe y B superando al T3 (1-2 mm) pero no al T6 (2-3 mm; Cuadro 3). Muratalla (2003) evaluó la concentración de Fe, Mn, B, Cu y Zn en de plántulas de jitomate utilizando como sustratos: tezontle y paja de maíz en tamaños de partícula de 0.5-

1mm y de 1-2mm respectivamente encontrando valores cercanos al presente estudio; sin embargo, en algunos tratamientos la absorción por las plántulas de jitomate en el presente trabajo fue mayor que las del autor ante citado (Cuadro 3).

4.1. Área foliar a los 35DDS en plántulas de jitomate

De acuerdo a los análisis estadísticos y con una confiabilidad del 95% el área foliar no se vio afectada en los tratamientos a base de fibra de coco-tezontle en sus dos tamaños de partícula así como el peat moss, con uno y dos riegos diarios respectivamente (Figura 14). El T7 (Pm) con un riego diario estadísticamente fue diferente a los T2 (1-2 mm) y T5 (2-3 mm) con dos riegos diarios; sin embargo los T1 (1-2 mm), y T4 (2-3 mm) fueron iguales al T8 (Pm) con dos riegos diarios (Figura 14). Los T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm) con un riego cada tercer día no presentaron diferencias estadísticas significativas, sin embargo estos tres tratamientos fueron iguales estadísticamente con el T7 (Pm) el cual recibió un riego diario. Aplicando la prueba de comparación de medias probabilidad menor o igual a 0.05: p (Tukey $p < 0.05$) para determinar los mejores riegos y mezclas en esta variable se encontró que fueron: dos riegos diarios (a), un riego diario (b) y finalmente estuvo un riego cada tercer día (c), en lo que respecta a las tres mezclas utilizadas y realizando la misma prueba se encontró que no hubo diferencias estadísticas significativas. El máximo valor en área foliar en el presente experimento fue de 28.81 cm² que correspondió al T2 (1-2mm) (75:25 v/v) el cual es cercano a lo que encontró Muratalla (2003) quien evaluó el área foliar en plántulas de jitomate utilizando como sustratos: tezontle y paja de maíz en tamaños de partícula de 0.5-1mm y de 1-2mm respectivamente, también utilizó tezontle-perlita-turba-tierra de hoja como testigo encontrando que la mayor área foliar de 29.64cm² fue para la mezcla tezontle-paja de maíz (50:50) con un tamaño de partícula de 1-2 mm. El incremento en el área foliar tiene una gran importancia fisiológica para el vegetal, debido a la mayor superficie fotosintéticamente activa de la planta, lo cual favorece la producción de carbohidratos, el cual unido al agua y los elementos minerales absorbidos influyen directamente en la síntesis de proteínas u otros compuestos orgánicos que tienen relación directa con el aumento de la producción de biomasa (peso seco) de las plantas.

4.2. Estado nutrimental en jitomate con riego saturado cada tercer día

El jitomate que creció en el T6 (2-3 mm) fue el que tuvo la mayor extracción de N así como de K seguido del T3 (1-2mm; Figura 15a). El mayor tamaño de partícula incremento la extracción de P, Ca Mg y Na por parte del cultivo que se desarrolló en el T6 (2-3mm) como se observa en la Figura 15b seguido de este tratamiento estuvo el T3 (1-2mm).

El riego saturado cada tercer día en peat moss presento los mismos problemas de saturación discutidos anteriormente. La presencia de algas en la parte superior y la compactación dificultaron el libre paso del agua y su difusión en el cepellon (Figura 16). El peat moss tiene buena capacidad de retención de agua pero es difícil remojar después que se ha secado completamente (Olson *et al.*, 2002) en contraste con las mezclas fibra de coco-tezontle en sus dos tamaños de partícula las cuales no presentaron este problema Figura 16c-d.

El T3 (1-2 mm) tuvo una mayor absorción en Mn y Zn, seguido del T9 (Pm) el cual absorbió más Fe y B, finalmente el T6 (2-3 mm) solo absorbió más Cu que el T3 (1-2 mm) y T9 (Pm) y más B que el T3 (1-2 mm; Cuadro 4).

4.3. Área foliar a los 35DDS en plántulas de jitomate con riego saturado cada tercer día

Realizando la medición del área foliar en el cultivo de jitomate a los 30DDS con riego saturado cada tercer día se encontró que el T6 (2-3 mm) fue el que presento mayor área foliar como se muestra en la Figura 17 seguido del T3 (1-2 mm), lo cual refleja que hubo cierto efecto favorable a mayor tamaño de partícula en esta variable, lo cual también se observó en el cultivo de lechuga bajo las mismas condiciones de manejo, estos tratamientos estuvieron compuestos a base de fibra de coco. El T9 (Pm) fue el que presento el valor más bajo en esta variable.

Sin embargo cabe señalar que el stress hídrico juega un papel muy importante ya que inhibe de manera general el crecimiento y desarrollo del cultivo por lo que el área foliar será menor, no obstante en este experimento se evaluó la capacidad de la mezcla para retener la humedad comparándola con el peat moss. Los resultados mostraron en este experimento como en los anteriores que a mezcla fibra de coco-tezontle y con un tamaño de partícula de 2-3mm retiene

mayor cantidad de agua por más tiempo, además de que mantiene sus propiedades físicas iniciales entre ellas buena aireación.

5. Conclusiones

- ✚ La mezcla fibra de coco con un tamaño de partícula de 2-3mm mejoro la extracción nutrimental en el cultivo de lechuga con dos riegos diarios.
- ✚ A mayor tamaño de partícula se mejoró la extracción de: P, Ca y Mg.
- ✚ El sustrato de fibra de coco-tezontle de 2-3 mm con dos riegos diarios extrajo mayor cantidad de P y Na.
- ✚ La homogenización en el tamaño de partícula de 2-3 mm de fibra de coco-tezontle y con dos riegos diarios incremento la absorción del N.
- ✚ Para las plántulas que crecieron en los tratamientos con un riego cada tercer día, el T6 (FC+TZ 2-3mm) incremento la extracción nutrimental por parte del cultivo.
- ✚ Estadísticamente no hubo diferencias significativas en los valores de área foliar en jitomate entre tratamientos que recibieron los mismos riegos.
- ✚ La mayor área foliar en el cultivo de jitomate a los 30DDS con riego saturado cada tercer el T6 (FC-TZ 2-3 mm) presento el valor más alto.

VI. Literatura citada

- Argo, W. R. y J. A. Biernbaum. 1998. A method for quantifying plant available water holding capacity and water absorption potential in container media under production conditions. *HortScience* 30(3):535-538.
- Abad B. M. y P. Noguera M. 1999. Los sustratos en los cultivos sin suelo. Pp 137-183. In. *Manual de cultivos sin suelo*. M. Urrestarazu (ed) Ediciones Mundi-Prensa. Universidad de Almería España.
- Ansermino, S.D., Holcroft, D.M. and Levin, J.B. 1995. A comparison of peat and pine bark as a medium for bedding plant pack production. *Acta Hort.* (ISHS) 401:151-160.
- Basoccu, L.; Nicola, S. 1992. Effect of nutrition and substrate water content on growth under protection of pepper seedlings and fruit production in the field. *Acta Horticulturae* 323: 121-127.
- Default, R. J. 1998. Vegetable transplant nutrition. *Hor Technology* 8(4): 515-523.
- Enríquez, M. A. 2000. Uso de miel de abeja en la producción de jitomate y chile. Tesis de Maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo de México. México.
- Garton, R. W.; Widders, I. E. 1990. Nitrogen and phosphorus preconditioning of small-plug seedlings influence processing tomato productivity. *HortScience* 25: 655-657.
- Galbattia, A. et al., 2007. "Nitrate and Sodium contents on lettuce and drained water as function of fertilizing and irrigation water quality in Brazil". *International Journal of Plant Production* 2:205-214.

- Garton, R. W.; Widders, I. E. 1990. Nitrogen and phosphorus preconditioning of small-plug seedlings influence processing tomato productivity. *HortScience* 25: 655-657.
- Galbattia, A. et al., 2007. "Nitrate and Sodium contents on lettuce and drained water as function of fertilizing and irrigation water quality in Brazil". *International Journal of Plant Production* 2:205-214.
- Alcantar G. G., Libia I. Trejo-Téllez, Leticia Fernández Pavía y Ma. De las Nieves Rodríguez Mendoza 2009. *Nutrición de Cultivos* capítulo 2. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco Edo. de México. P. 9.
- Hernández E. J. L., 2009. *Propiedades hídricas en mezclas de sustratos con diferentes proporciones y tamaños de partícula*. Master degree Thesis. Colegio de postgraduados, Campus Montecillo, Edo. De México.
- <http://www.burespro.com/2008/esp/index.php>
- Karchi, Z; Cantliffe, D. J. 1992. Growth of containerized lettuce transplanted with varying concentrations of nitrogen and phosphorus. *Acta Horticultura* 319: 365-370.
- Lara, H.A. 1998. *Soluciones nutritivas para cuatro etapas fenológicas del jitomate*. Tesis Doctor en ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo Edo. de México.
- Lara, F. O. D. (1999). Tesis: Evaluación de sustratos y biofertilizantes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) utilizando la tecnología de cepellones. Instituto nacional de ciencias agrícolas departamento de biofertilizantes y nutrición de las plantas. La habana Cuba.
- Lizet Borges-Gómez, Josué Chu-Puc, Armando Escamilla-Bencomo y Fátima Medina-Lara. 2006. Cinética de la absorción de potasio por las raíces de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*). *Agrociencia* 40: 431p.
- Martin-Prevel P., J Gagnar y P. Gautier y P. Gautier. 1987. *Plant Analysis as guide to the nutrient requirements of temperature and tropical crops*. Lavoisier publishings. Paris, France.
- Marschner, H. 2000. *Mineral nutrition of higher plants*. 2end ed. Academic Press, London.
- Melton, R. R; Dufault, R. J. 1991. Tomato seedling growth, earliness, yield, and quality following pretansplant nutritional conditioning and low temperatures. *J. Ame. Soc. Hort. Sci.* 116(3); 421-425.
- Muratalla L., S. 2003. *Paja de maiz como sustrato alternativo en la producción de plántulas de jitomate y plantas de frambuesa*. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx. 163 p.
- Nicola, S. Basoccu, L. 1994. Pretansplant nutritional conditioning effects pepper seedling growth and yield. *Acta horticulturae* 361: 519-526.
- Olson, D.L., R.D. Oetting, and M.W. Van Iersel. 2002. Effect of potting media and water management on
- OLIVARES, Elizabeth, PENA, Eder y AGUIAR, Guillermina. *Nutrición mineral y estrés oxidativo por metales en espinaca y lechuga, en comparación con dos malezas asociadas, en cultivos semi-urbanos*. *INCI*. [online]. set. 2002, vol.27, no.9 [citado 29 Julio 2011], p.454-464. Disponible en la World Wide Web: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442002000900003&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0378-1844.
- Pineda Marín¹ L., Ma. del C. Gutiérrez Castorena¹, Encarnación Lara Hernández¹, Ma., J. José Escobar Aguayo¹ y Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza¹ 2011. Tesis maestría. Efecto del tamaño de partícula y frecuencias de riego en la retención de humedad. Colegio de postgraduados, campus montecillo, edo de México.
- Sonneveld, C. and Voogt, W. 2008. Nutrient concentrations of plant tissues of greenhouse crops as affected by the EC of the external nutrient solution. *Acta Hort. (ISHS)* 779:313-320.
- Tei, F., 1999. "Nitrogen fertilization of lettuce, processing tomato and sweet pepper: yield, nitrogen uptake and risk of nitrate leaching." En *Acta Horticulturae* 506:61-67.
- Thompson, L. y A. Doerge, 1996. "Nitrogen and water interactions in subsur trickle-irrigated leaf lettuce: II. Agronomic, economic and environment outcome", en *soil Sci. Soc. Am. J.* 60:168-173.

- Voogt, W. 1988. K/Ca ratios with butterhead lettuce grown in recirculating water. ISOSC Proc. 7th Intern. Congr. Soilless Culture, p. 469-482
- Wilcox, G. E. 1999. Tomato Pp. 137-141. In: W.F. Bennett. Nutrient Deficiencies & Toxicities in crops plants. APS PRESS. Minerals, USA.
- Welch et al., 1983. 'effect of variety, nitrogen fertilizer and various agronomic factors on the nutritive value of husked and naked oats grain', en animal feed Science and Technology, vol. 113, Issue 4 pp. 169-181.

Tablas

Tabla 1. Concentración de nutrimentos en plántulas de lechuga a los 27 días después de la siembra.

Tratamientos	Fe	Mn	B (ppm)	Cu	Zn
T1(1-2mm) 1RD	579.7	651.6	101.1	12.5	244.4
T4(2-3mm) 1RD	523.9	909.1	176.9	20.7	465.6
T7 (Pm) 1RD	1336.2	232.9	214.4	14.9	470.0
T2(1-2mm) 2RD	442.4	334.3	117.6	7.9	220.1
T5(2-3mm) 2RD	359.3	368.3	115.2	3.6	109.9
T8 (Pm) 2RD	570.7	156.2	118.7	4.5	136.3
T3(1-2mm) 1RTD	617.3	735.1	130.0	10.0	266.5
T6(2-3mm) 1RTD	409.4	566.0	176.1	14.5	436.8
T9 (Pm) 1RTD	489.2	106.2	169.4	6.0	208.1

Tabla 2. Concentración de micronutrimentos en hojas de lechuga con riego saturado

Tratamientos	Fe	Mn	B (ppm)	Cu	Zn
T3 (1-2 mm) 1RTD	235.6	485.0	75.9	2.7	295.6
T6 (2-3 mm) 1RTD	107.4	558.0	91.1	9.9	323.1
T9 (Pm) 1RTD	900.8	204.0	146.9	7.4	329.2

Tabla 3. Contenido nutrimental en hojas de jitomate a los 35DDS

Tratamientos	Fe	Mn	B (ppm)	Cu	Zn
T1(1-2mm) 1RD	233.62	271.78	32.48	9.98	477.77
T4(2-3mm) 1RD	695.69	368.19	189.89	41.90	425.35
T7 (Pm) 1RD	994.00	341.39	199.26	25.47	582.76
T2(1-2mm) 2RD	168.35	74.66	67.11	27.01	127.35
T5(2-3mm) 2RD	939.32	421.72	253.61	48.31	405.47
T8 (Pm) 2RD	1202.17	450.35	203.99	37.37	371.68
T3(1-2mm) 1RTD	797.31	381.17	149.65	55.19	721.02
T6(2-3mm) 1RTD	1036.72	714.09	288.62	70.62	863.44
T9 (Pm) 1RTD	981.97	167.40	203.47	13.20	456.84

Tabla 4. Contenido nutrimental en hojas de jitomate con riego saturado

Tratamientos	Fe	Mn	B (ppm)	Cu	Zn
T3 S	751.5	599.7	105.9	35.0	2096.5
T6 S	478.3	409.0	144.3	56.7	316.9
T9 S	1436.7	538.3	161.3	38.4	1126.2

FIGURAS

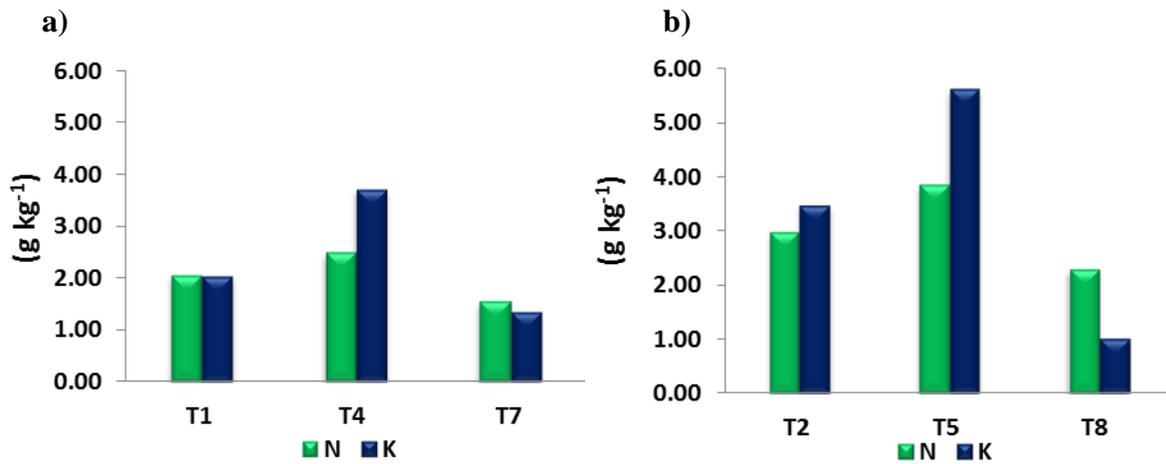


Figura 1. Extracción de Nitrógeno (N) y Potasio (K) en tejido vegetal. En: a) Tratamientos con un riego diario T1 (1-2 mm), T4 (2-3mm) y T7(Pm), b) tratamientos con dos riegos diarios: T2 (1-2 mm), T5 (2-3 mm) y T8 (Pm).

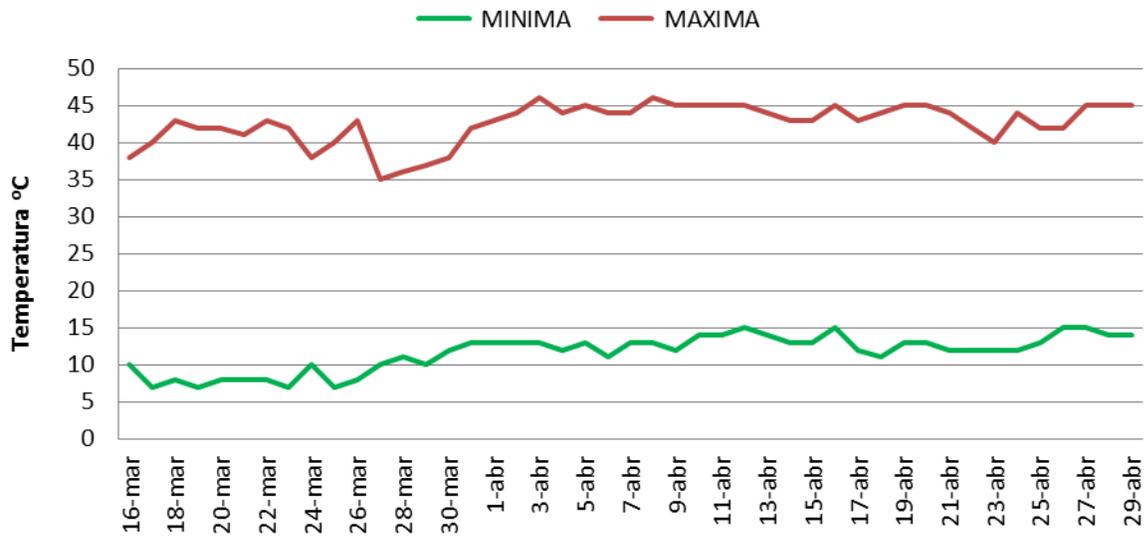


Figura 2. Temperaturas máximas y mínimas en el interior del invernadero (marzo-abril 2011).

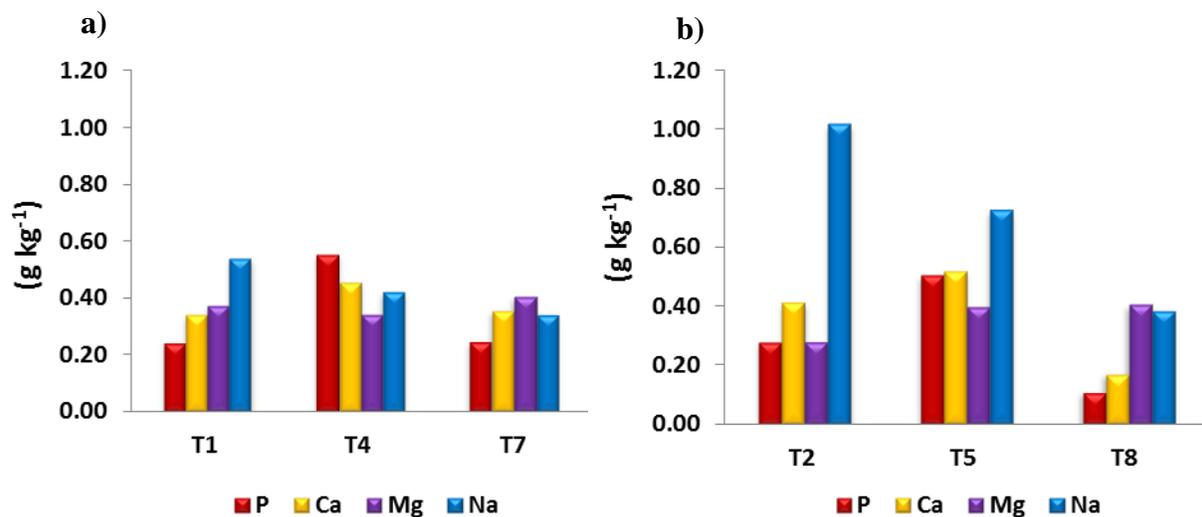


Figura 3. Extracción de P, Ca, Mg y Na en tejido vegetal. En: a) Tratamientos con un riego diario en lechuga, T1 (1-2 mm) T4 (2-3 mm) y T7 (Pm), b) tratamientos con dos riegos diarios: T2 (1-2 mm) T5 (2-3 mm) y T8 (Pm),

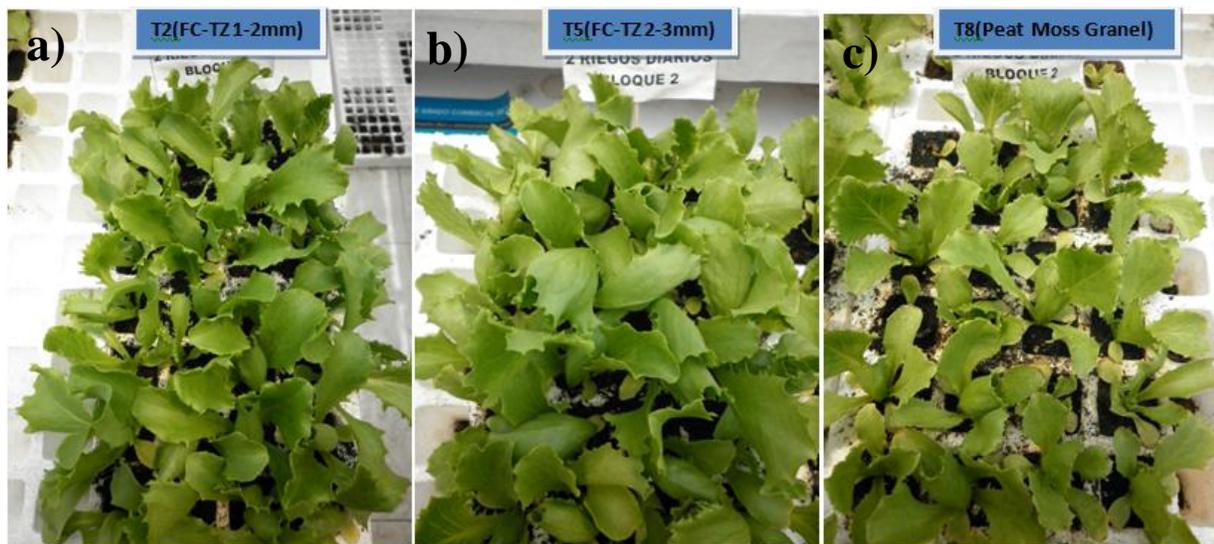


Figura 4. Efecto de la homogenización tamaño de partícula en el desarrollo de plántulas de jitomate con dos riegos diarios a los 27DDS.

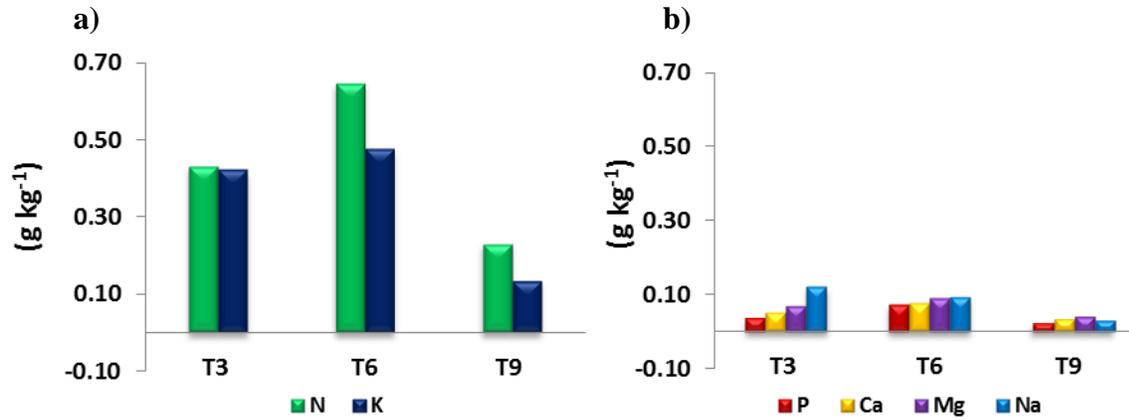


Figura 5. Extracción de Nitrógeno (N) y Potasio (K) en tejido vegetal. En: a) tratamientos con un riego cada tercer día: T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm). Extracción de P, Ca, Mg y Na en tejido vegetal en: b) tratamientos con un riego cada tercer día: T3 (1-2mm), T6 (2-3mm) y T9 (Pm).

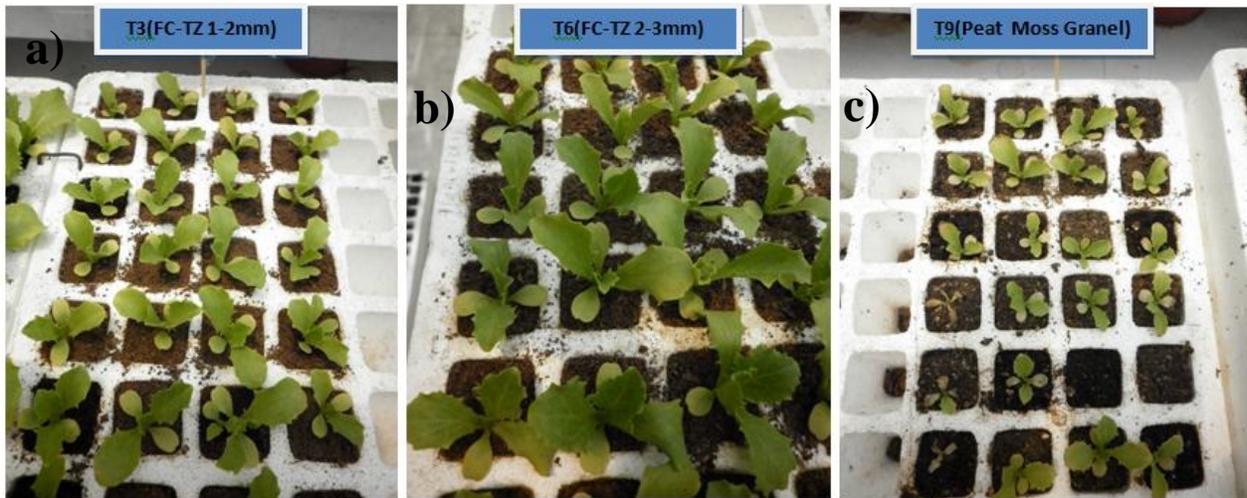


Figura 6. Efecto de la homogenización del tamaño de partícula en la retención de humedad y extracción nutrimental con un riego diario cada tercer día a los 27DDS.

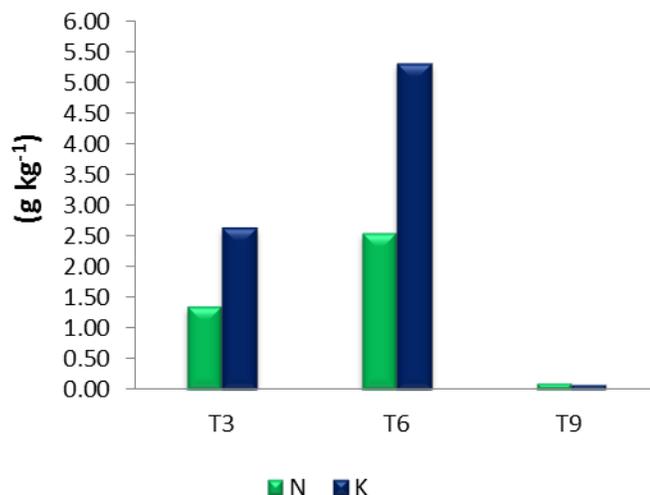


Figura 7. Extracción de Nitrógeno (N) y Potasio (K) en tejido vegetal. En tratamientos con riego saturado cada tercer día: T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm).

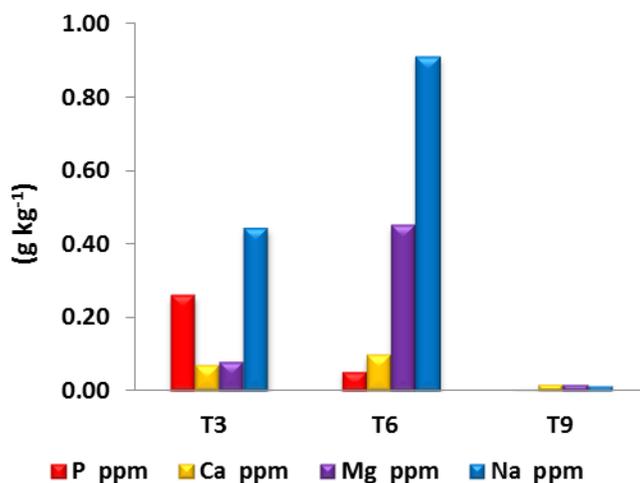


Figura 8. Extracción de P, Ca, Mg y Na en tejido vegetal en tratamientos con un riego saturado cada tercer día: T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm).

Area Foliar en Lechuga (cm²)

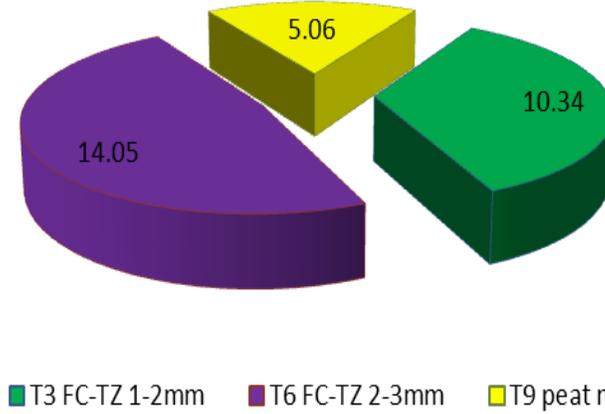


Figura 9. Área foliar en plántulas de lechuga con riego saturado cada tercer día 30DDS

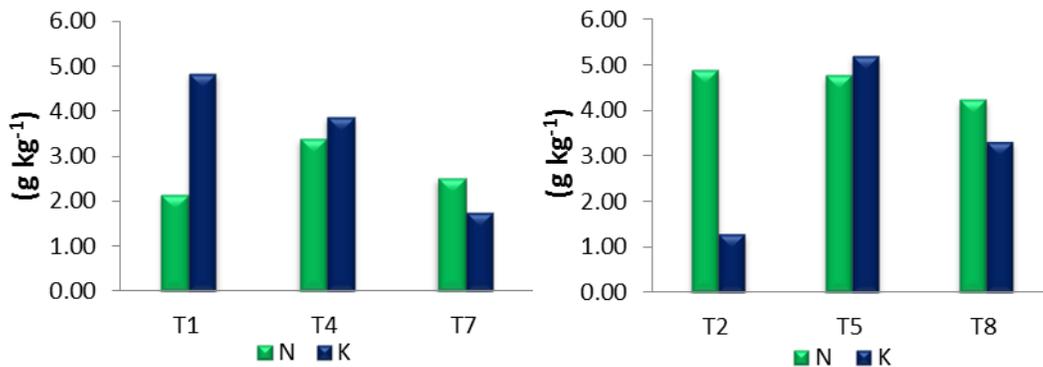


Figura 10. Extracción de Nitrógeno (N) y Potasio (K) en tejido vegetal. En: a) Tratamientos con un riego diario en jitomate, T1 (1-2 mm), T4 (2-3 mm) y T7 (Pm). b) Tratamientos con dos riegos diarios: T2 (1-2 mm), T5 (2-3 mm) y T8 (Pm).

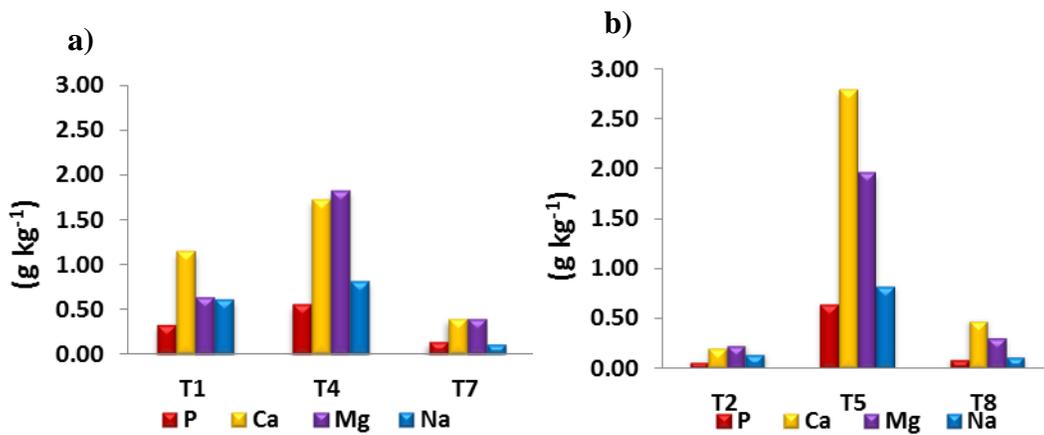


Figura 11. Extracción de P, Ca, Mg y Na en tejido vegetal. En: a) Tratamientos con un riego diario en jitomate, T1 (1-2 mm) T4 (2-3 mm) T7 (Pm) y b) tratamientos con dos riegos diarios: T2 (1-2 mm) T5 (2-3 mm) y T8 (Pm).

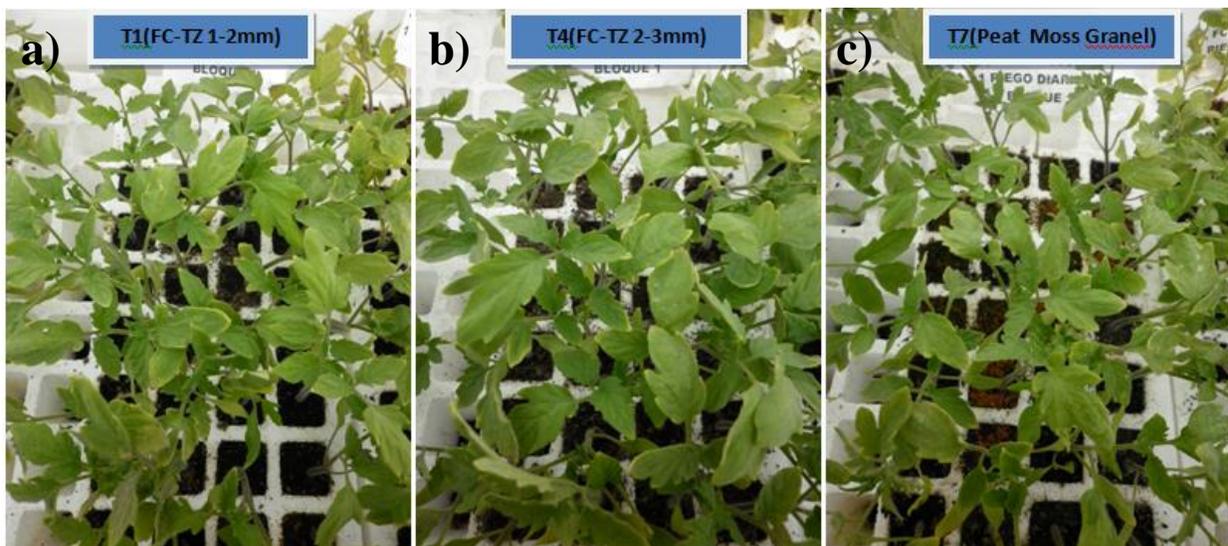


Figura 12. Efecto de la homogenización del tamaño de partícula en la extracción nutrimental en tratamientos con dos riegos diarios. 35DDS.

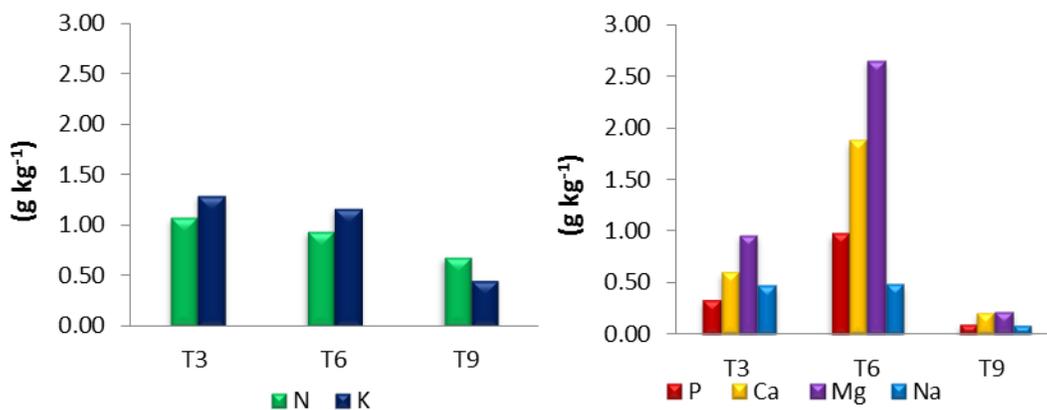


Figura 13. Extracción de Nitrógeno (N) y Potasio (K) en tejido vegetal. En: a) tratamientos con un riego cada tercer día: T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm), b) Extracción de P, Ca, Mg y Na en tejido vegetal en: b) tratamientos con un riego cada tercer día: T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm)

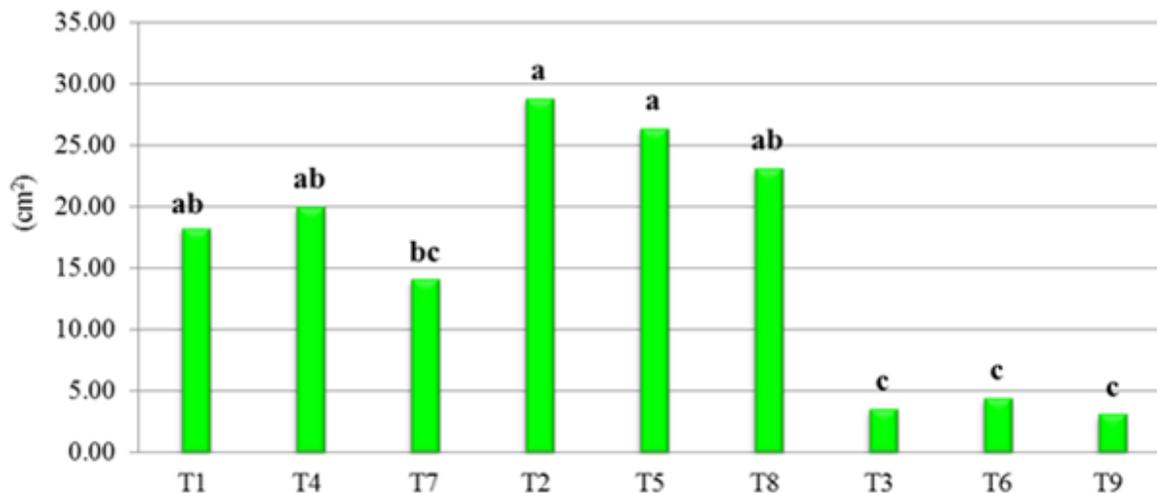


Figura 14. Área foliar en plántulas de jitomate a los 35DDS en tratamientos con un riego diario: T1 (1-2 mm), T4 (2-3 mm) y T7 (Pm). Con dos riegos diarios: T2 (1-2 mm), T5 (2-3 mm) y T8 (Pm). Con un riego cada tercer día T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm).

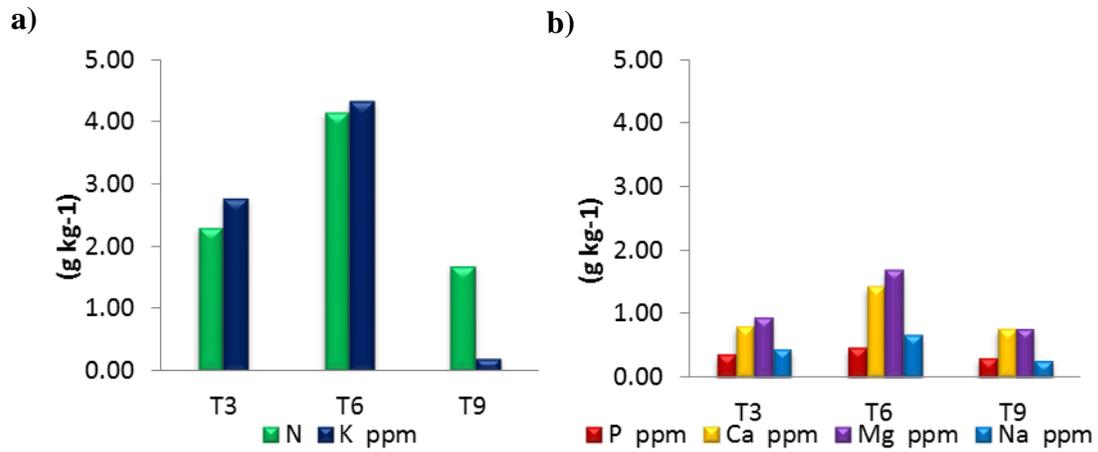


Figura 15. Extracción de Nitrógeno (N) y Potasio (K) en jitomate con riego saturado en: a) tratamientos con un riego cada tercer día: T3 (1-2 mm), T6 (2-3 mm) y T9 (Pm), b) Extracción de P, Ca, Mg y Na en: tratamientos con un riego cada tercer día: T3 (1-2 mm), T6 (2-3mm) y T9 (Pm).

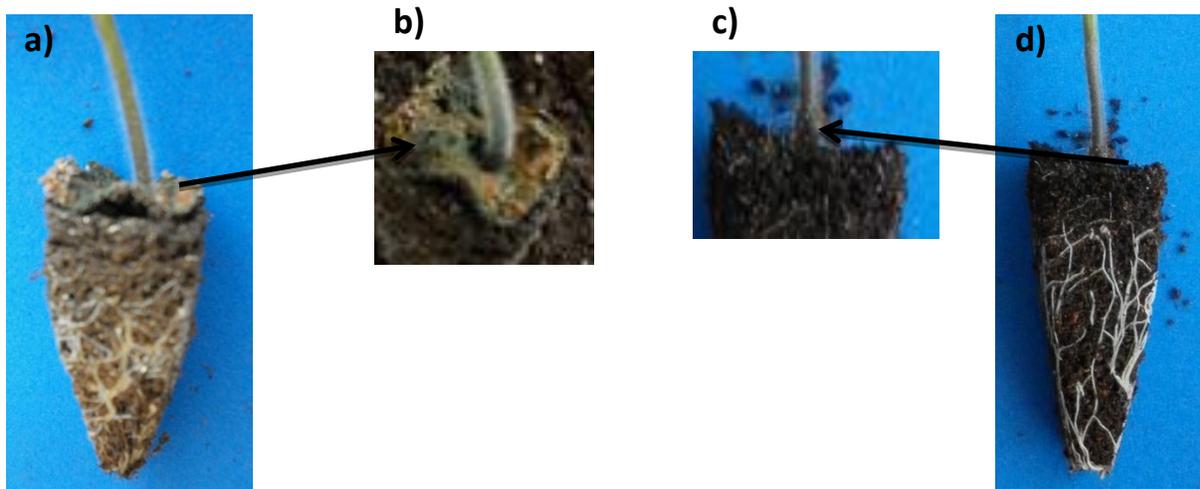
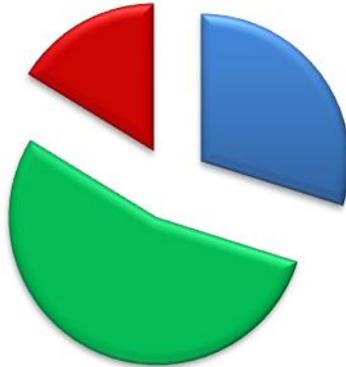


Figura 16. Descripción de cepellones con riego saturado cada tercer día. a y b) Peat moss con película impermeable, c y d) fibra de coco-tezontle sin ella.

Area foliar (cm²)



■ T3 (FC-TZ 1-2mm) ■ T6 (FC-TZ 2-3mm) ■ T9 (peat moss)

Figura 17. Área foliar en plántulas de jitomate con riego saturado a los 30DDS