



InterSedes: Revista de las Sedes Regionales

ISSN: 2215-2458

intersed@cariari.ucr.ac.cr

Universidad de Costa Rica

Costa Rica

Garbanzo – León, Gabriel; Vargas – Gutiérrez, Marlen
Determinación fisicoquímicas de diez mezclas de sustratos para producción de almácigos,
Guanacaste, Costa Rica
InterSedes: Revista de las Sedes Regionales, vol. XV, núm. 30, 2014, pp. 151-168
Universidad de Costa Rica
Ciudad Universitaria Carlos Monge Alfaro, Costa Rica

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66631279008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Determinación fisicoquímicas de diez mezclas de sustratos para producción de almácigos, Guanacaste, Costa Rica

Physicochemical determination of ten substrate mixtures of seedlings for production in Guanacaste, Costa Rica.

Gabriel Garbanzo – León¹
Marlen Vargas – Gutiérrez²

Recibido: 08.08.13

Aprobado: 02.03.14

Resumen

Se determinó el efecto fisicoquímico de diez mezclas de sustratos para la producción de almácigos hortícolas en la zona de Guanacaste. Se realizaron mezclas de 50% bocashi, compost y lombricompost con 25% de fibra coco, granza, arena y suelo solarizado. Entre las variables físicas se midieron granulometría, % retención de agua, porosidad total y densidad de masa, así mismo se realizó un análisis de extracto de pasta saturada y su efecto en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*). Se encontró que las mezclas con materiales orgánicos presentaron una relación proporcional con la porosidad y la capacidad de retención de agua, la granulometría presentó un 40% entre los diámetros 8,0 mm – 2,0 mm entre las mezclas de abonos orgánicos mientras que las mezclas de suelo presentaron un 75% entre 2,0 mm y 0,25 mm, la consistencia de adobe mostró en menor extracción en las mezclas con arena y suelo solarizado. Se concluye que las mezclas con fibra de coco y granza, brindaron la mayor porosidad en los sustratos. Por el contrario las mezclas con arena-suelo proporcionaron la menor porosidad y mayor densidad de masa. Además, los sustratos con mayor densidad de masa presentaron el menor crecimiento de raíz y una menor consistencia del adobe, el peat moss manifestó las concentraciones más bajas de nutrientes en comparación al resto de las mezclas.

Palabras claves

Almácigos; horticultura; fisicoquímicas; fibra de coco; bocashi; compost; abono orgánico; tomate.

Summary

The effect of ten physicochemical substrate mixtures was determined for the production of vegetable seedlings in the Guanacaste area. There were 50% bocashi mixtures, compost and vermicompost with 25% coconut fiber, pellets, sand and soil solarization. The variables measured were physical granulometry, % retention of water, porosity and bulk density, also was analyzed saturated paste extract and its effect on tomato (*Solanum lycopersicum*) plants. It was found that mixtures with organic materials showed a proportional relationship with the porosity and water holding capacity, particle size 40% showed diameters between 8.0 mm - 2.0 mm between the mixtures whereas manure soil mixtures showed 75% between 2.0 mm and 0.25 mm. The adobe consistency extraction was lesser in mixtures with sand and soil solarized. We concluded that mixtures with coconut husk fiber provided the higher porosity in substrates. By

¹Costarricense. Agrónomo Sede Guanacaste, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Email : jgabriel.garbanzo@gmail.com.

² Costarricense. Miembro de Consejo Universitario, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Email: marlen.vargas@ucr.ac.cr

contrast, the ground sand mixtures provided the less porosity and higher bulk density. Furthermore, substrates with higher mass density had the lowest root growth and less consistency of adobe, the peat moss showed lower concentrations of nutrients compared to other mixtures.

Keywords

Nurseries; horticulture; physicochemical; coconut fiber; bokashi; compost; mulch; tomato.

Introducción

Los almácigos son una herramienta esencial en el desarrollo de la producción hortícola, los costos y la disposición de las materias primas para su elaboración incentiva la búsqueda de alternativas que cumplan los requerimientos necesarios para el desarrollo de plántulas. Los abonos orgánicos proporcionan características físicas y químicas en los suelos, sin embargo estos tienen una relación directa con las materias primas que fueron elaborados variando en sí mismos sus concentraciones químicas y estados físicos (Quesada y Méndez 2005).

Las propiedades físicas y químicas de un sustrato deben de brindar un nivel balanceado entre sus contenidos, con el fin de tomar decisiones acertadas en lo que respecta a riego y fertilización en almácigos. Las materias primas son las responsables de brindar buenas características que permiten el crecimiento de las plántulas, guiando a una producción equilibrada y de calidad (Cabrera 1998, Quesada y Méndez 2005).

Cabrera (1998) determinó que las propiedades físicas que se deben de cuidar en el establecimiento de cultivos sin suelo son: aireación, drenaje, retención de agua, y una buena densidad aparente. Quesada y Méndez (2005) determinaron que es adecuado analizar primero sus propiedades físicas antes de analizar aspectos nutricionales y químicos. Los mismos autores mencionan que se debe evaluar porosidad total, retención de agua y densidad de masa para un buen análisis físico.

Así mismo, entre los aspectos de un análisis de porosidad total Dresboll (2008) mencionó que existen dos tipos de espacios porosos, el primero se encuentra entre las partículas y el segundo está determinado por la geometría que presenta cada partícula. La geometría de las mismas es un factor a considerar en la determinación de difusividad de gas y transporte de agua, así como la presencia de diferentes poros en cada sustrato, dadas estas circunstancias es adecuado realizar un análisis granulométrico de las mezclas.

La granulometría se define como la repartición de tamaño de las partículas que conforman un sustrato (Díaz 2004). Calderón y Villanueva (2003) mencionan que la importancia de cuantificar el tamaño de las partículas está ligada a una correlación directa con el tamaño de los poros situados en los sustratos. Además, Díaz (2004) indicó que las partículas de los sustratos no presentan un tamaño único ni es esférica, lo que establece que la porosidad

aumenta a medida que lo hace el tamaño medio de la partícula y viceversa. Adicionalmente, se ha encontrado que el porcentaje de partícula de cada intervalo de granulometría en comparación con el peso seco total, ha hecho posible identificar dos o más fenómenos simultáneos: el primero consiste en el fraccionamiento de las partículas gruesas o de grado intermedio, el segundo en la migración o pérdida de partículas finas (Orozco y Marfa 1995).

Por otro lado, Richmond (2010) encontró que la aplicación de abonos orgánicos a las mezclas de sustratos brinda un mejor desarrollo en las plántulas, ya que mejora sus propiedades químicas. Además Molina (2011) mencionó que la interpretación de las concentraciones de un análisis de extracto de pasta saturada es esencial para un plan de fertilización, debido a que estos varían de acuerdo a las prácticas de manejo y los cultivos a sembrar.

Choi et al. (2008) determinaron que los contenidos de Na^+ y K^+ en los sustratos que contienen peat moss son bajos, mientras los que tienen mayor contenido de fibra de coco presentan un aumento en la conductividad eléctrica. Hamnan (1998) y Nelson (2003) citados por Choi et al. (2008), mencionan que concentraciones mayores a $3,5 \text{ dS.m}^{-1}$, inhiben el crecimiento de las plántulas cuando se analizan contenidos nutricionales en extracto de pastas.

Debido a que no existe investigación sobre caracterizaciones fisicoquímicas en sustratos hortícolas en la zona, se realizó el presente estudio para conocer las propiedades fisicoquímicas y granulométricas en diez mezclas de sustratos para la producción de almácigos en Guanacaste, Costa Rica.

Materiales y métodos

Se seleccionó ocho materias primas comunes y utilizadas en Guanacaste (tabla 1). De estas materias primas, tres eran abonos orgánicos (Lombricompost, Compost, Bocashi), dos subproductos industriales (Fibra de coco, granza de arroz), un sustrato comercial (turba), suelo y arena desinfectada.

El 99% de las materias primas se pasaron por una malla de 8 mm con el fin de homogenizar el material, se procedió a mezclar manualmente las materias primas dentro de tinajas plásticas, de acuerdo a los tratamientos propuestos en la Tabla 1, se usaron contenedores plásticos para medir el volumen requerido del sustrato.

Tabla 1. Sustratos a utilizados en la producción de almácigos. 2012.

Sustratos	Descripción
Bocashi	Receta convencional (semolina, granza de arroz, ceniza de granza, boñiga, suelo solarizado, melaza,) en proporción 1:1 (1 saco) posteriormente se agregó microorganismos y agua hasta capacidad de retención.
Lombricompost	Abono orgánico elaborado por COOPELDOS R.L. a base de broza de café procesado por la lombriz roja (<i>Eisenia foetida</i>)
Compost	Se mezcló un compost semicomercial en proporción 1:1 con un compost que se elaboró con residuos de piña de la zona de Upala.
Granza de arroz	La granza de arroz se obtuvo de las arroceras cercanas. Se procedió a descomponer la granza durante un mes. Se suministró agua en conjunto con microorganismos.
Suelo solarizado	Se recolectó los primeros 10 cm de suelo (Typic Ustortent) solarizado durante 30 días. Se utilizó para la elaboración de Bocashi y los tratamientos (el suelo es utilizado por los productores en la zona para sustratos en almácigos).
Arena	Se utilizó arena para construcción proveniente de río Liberia, Guanacaste. Se colocó en bolsas plásticas con agua y se dejó durante 15 días al sol para su desinfección (utilizado por productores para elaboración de almácigos).
Fibra de coco	Los bloques comerciales de mesocarpio de coco (<i>Cocos nucifera</i>) fueron sumergidos en agua durante dos días con el fin de expandir sus partículas. Luego se almacenó en un saco para su secado.
Peat Most	Se adquirió en un local de insumos agrícolas. Este sustrato es producto de <i>Sphagnum</i> sp. y representó el tratamiento testigo.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2 se observan los tratamientos. Las mezclas se elaboraron de acuerdo a las proporciones establecidas; para bocashi, compost y lombricompost se usó una proporción del 50%, luego estos se mezclaron en una proporción de 25% con arena, suelo, fibra de coco y granza de arroz.

Tabla 2. Tratamientos experimentales evaluados. Guanacaste, 2012.

Mezclas	Asignatura	Tratamientos	Proporción
1	50BLG	50% B + 25% L + 25% G.	2:1:1
2	50BCF	50% B + 25% C + 25% F.	2:1:1
3	50BAS	50% B + 25% A + 25% S.	2:1:1
4	50LBG	50% L + 25% B + 25% G.	2:1:1
5	50LCF	50% L + 25% C + 25% F.	2:1:1
6	50LAS	50% L + 25% A + 25% S.	2:1:1
7	50CLG	50% C + 25% L + 25% G.	2:1:1
8	50CBF	50% C + 25% B + 25% F.	2:1:1
9	50CAS	50% C + 25% A + 25% S.	2:1:1
10	100PM	100% P M. (Testigo)	1

A: Arena; B: Bocashi; C: Compost; F: Fibra de Coco; G: Granza; L: Lombricompost; PM: Peat Moss; S: Suelo Solarizado.

Fuente: Elaboración propia

Para los análisis químicos y físicos de los sustratos, se recolectaron 2 kg de cada mezcla y se colocaron en bolsas plásticas herméticas. Los análisis físicos se evaluaron en el laboratorio de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (E.E.A.F.B.M). Las muestras químicas se evaluaron en el Laboratorio de Suelos y Foliares; las muestras microbiológicas se midieron en el Laboratorio de Microbiología Agrícola, estos dos últimos ubicados en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica.

En los análisis físicos se midió porosidad total (%), capacidad de retención de humedad (%) y densidad de masa (g.ml^{-1}). Se usó la metodología empleada por Quesada y Méndez (2005). Los sustratos se evaluaron antes de la siembra de los almácigos. La metodología utilizada para el análisis granulométrico es utilizada en la E.E.A.F.B.M.; este consistió en colocar mallas de tamiz de orden ascendente, en el siguiente orden: 10 mesh, 18 mesh, 35 mesh, y 60 mesh. Posteriormente, se pesó la mezcla seca del sustrato en el frasco recolector instalado en la última criba, sin dejar espacios vacíos. Se aplicó el 50% del material pesado en la criba 10 mesh, se instaló en la estructura mecánica todas las cribas y se agitó manualmente durante un minuto. Posteriormente, se desinstaló la criba 10 mesh y se aplicó el otro 50% del material restante, se instaló nuevamente y se agitó manualmente durante tres minutos. Seguidamente, se pesó cada residuo acumulado en los cinco contenedores y se procedió a calcular el porcentaje de partícula residual en cada criba.

Para medir los contenidos nutricionales de los tratamientos, se usó la metodología de extracto de pastas saturada, empleada por Quesada y Méndez (2005). Los extractos se evaluaron

en el Laboratorio de Suelo y Foliarles, del CIA. Se midieron: pH, CE, N-NH_4^+ , N-NO_3^- , Ca, Mg, K, P, Fe, Zn, Cu, Mn, Na y S.

Adicionalmente se realizó un ensayo en invernadero donde se midieron: longitud de tallo, este consistió en medir desde la parte inferior donde se encuentran las raíces, hasta el meristemo apical de la planta. Se evaluó a los 15, 22 y 29 dds. Longitud de raíz, comprendió en medir desde la parte inferior del tallo hasta el meristemo apical de la raíz más larga. (Para tomar este dato, el adobe se sumergió en agua durante unos minutos moviéndolo continuamente hasta que se desprendiera todo el sustrato de la raíz). Se evaluó a los 15, 22 y 29 dds.

Por otro lado, se confeccionó una escala visual que representó la cantidad y calidad de adobe completo cuando se extraía la planta de la celda. Se representó de la siguiente manera: 5 = se extrae 100% del adobe; 4 = se extrae el 90%; 3 = se extrae el 75%; 2 = se extrae el 60%; 1 = se extrae el 45% del adobe. Se midió a los 29 dds.

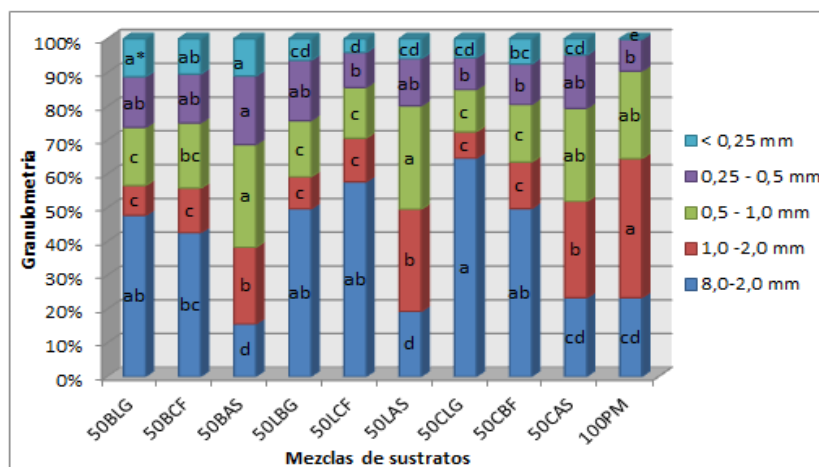
El experimento se analizó con diferencias mínimas significativas (d.m.s) $\alpha = 0,01$ y prueba de Kruskal Wallis $\alpha = 0,05$, con el fin de determinar las modalidades de un factor cualitativo. Los cálculos de separaciones entre medias se efectuaron utilizando los programas ANAWIN e INFOSTAT. El diseño experimental fue un modelo irrestricto.

Resultados y discusión

Granulometría en mezcla de sustratos

En la Figura 1, se muestran los porcentajes granulométricos obtenidos en las 10 mezclas de sustratos. La mezcla que presentó mayor porcentaje en el diámetro de 2,0 a 8,0 mm, fue la mezcla 50% Compost + Lombricompost + Granza (50CLG), con un 41% más partículas que el testigo (100%Peat Moss); mientras que los tratamientos con el menor porcentaje de diámetro fueron: 50% Bocashi + Arena + Suelo (50BAS); 50% Lombricompost + Arena + Suelo (50LAS); 50% Compost + Arena + Suelo (50CAS) y 100%Peat Moss (100PM), mostrando diferencias estadísticamente representativas.

Figura 1. Distribución porcentual granulométrica en 10 mezclas de sustratos para la producción de almácigos. Guanacaste, 2012.³



Fuente: Elaboración propia

El tamaño granulométrico de los sustratos, está definido por las materias primas (Vargas et al. 2008, Quesada 2004). Los sustratos granza de arroz y fibra de coco presentaron una granulometría entre 8,0 - 2,0 mm. El tratamiento 50% Compost + Lombricompost + Granza (50CLG) presentó un mayor porcentaje granulométrico con partículas mayores a 2,0 mm, al compararlos con los tratamientos que tenían suelo y arena. Sin embargo, éste no difiere estadísticamente de los tratamientos 50% Bocashi + Lombricompost + Granza (50BLG); 50% Lombricompost + Bocashi + Granza (50LBG); 50% Lombricompost + Compost + F. coco (50LCF) y 50% Compost + Bocashi + F. coco (50CBF); los cuales poseen en sus mezclas granza y fibra de coco.

El tratamiento testigo (100% peat moss), presentó el mayor contenido de partículas con diámetro de 1,0 - 2,0 mm. El mayor porcentaje de partículas de 0,1 - 0,5 mm, la presentaron las mezclas 50% Lombricompost + Arena + Suelo (50LAS); 50% Bocashi + Arena + Suelo (50BAS); 50% Compost + Arena + Suelo (50CAS) y 100% Peat Moss (100PM), que el resto de los tratamientos. Villalaz (2004) y Juárez (2005), demostraron que la granulometría en arenas gruesas comprenden diámetros desde los 0,25 - 2,0 mm en sus partículas. Por esta razón, las mezclas con suelo y arena, presentaron una distribución más homogénea en el diámetro de partícula que comprenden desde los 0,5 - 2,0 mm.

Las partículas con diámetro de 0,25 - 0,5 mm, se presentaron en la mezcla 50% Bocashi + Arena + Suelo (50BAS) con un 10,95% más que el testigo. Con el diámetro de partícula < 0,25 mm, se encontró que el tratamiento 50% Bocashi + Lombricompost + Granza (50BLG) y 50% Bocashi + Arena + Suelo (50BAS), mostraron el mayor porcentaje de estos. Comparativamente, la mayoría de los tratamientos concuerdan con investigaciones realizadas por Iskander (2002), el cual establece que los sustratos ideales deben de poseer menos de un

³ medias seguidas por la misma letra no se consideran distintas según prueba de d.m.s ($\alpha = 0,01$).

20% en los diámetros menores a 0,5 mm, 60% entre 2,0 – 0,5 mm y 20% 10,0 – 2,0 mm. Los sustratos 50BAS, 50LAS, 50CAS y 100PM cumplieron con la granulometría deseada.

Porosidad total, densidad de masa y capacidad de retención de humedad en mezcla de sustratos.

El sustrato 100PM fue el que presentó el mayor porcentaje de porosidad, y difiere estadísticamente de todos los demás tratamientos. Sin embargo, los tratamientos que presentaron contenidos de fibra de coco y granza en la mezcla, no presentaron diferencias significativas, mostrando porosidades que rondan entre el 67% y 77% (Tabla 3). Los resultados coinciden con Pire y Pereira (2003), donde encontraron que los sustratos de fibra de coco y granza de arroz presentaron valores altos de porosidad total (80-85%), siendo lo contrario en las mezclas de suelo y arena. La porosidad concuerda con la porosidad ideal determinada por Iskander (2002) y Quesada (2004), el cual, establecen que un sustrato hortícola debe poseer entre un 70-85% en su porosidad total.

La porosidad es proporcional a la granulometría, mostrando que las partículas entre 8,0 mm – 2,0 mm, se presentan en mayor porcentaje en las mezclas con contenidos de fibra de coco y granza (Figura 1), revelando que fueron las responsables de presentar alta porosidad en la mezclas. Los resultados concuerdan con las investigaciones realizadas por Quesada y Méndez (2005), donde establecieron que la porosidad aumenta a medida que lo hace el tamaño medio de partícula (Raviv et al. 2002).

Por otro lado, el análisis de varianza ($\alpha = 0,01$) mostró diferencias significativas en la capacidad de retención de agua, en los tratamientos 50LCF, 50BCF y 50LBG, los cuales presentaron entre un 8 y 4% más retención que el testigo, mientras que las mezclas 50LAS, 50BAS, y 50CAS, obtuvieron la menor capacidad de retención, presentando entre 15 y 9% menor capacidad que el testigo (tabla 1).

Tabla 3. Porosidad total, capacidad de retención de humedad y densidad de masa en 10 mezclas de sustratos. Guanacaste, 2012.⁴

Mezclas de sustratos	Porosidad (%)	Capacidad ret. Agua (%)	Densidad de masa (g.ml ⁻¹)
100PM	91,2 a*	55,8 b	0,10 i
50LCF	76,6 b	64,1 a	0,27 h
50CLG	74,7 b	55,6 b	0,41 fg
50LBG	73,5 b	59,5 ab	0,37 g
50BCF	68,1 bc	60,1 ab	0,47 e
50BLG	67,6 bc	56,7 b	0,54 d
50CBF	66,6 bc	54,7 b	0,44 ef
50CAS	59,9 c	46,5 c	0,89 b
50LAS	55,4 cd	40,3 c	0,69 c
50BAS	47,7 d	45,1 c	0,97 a

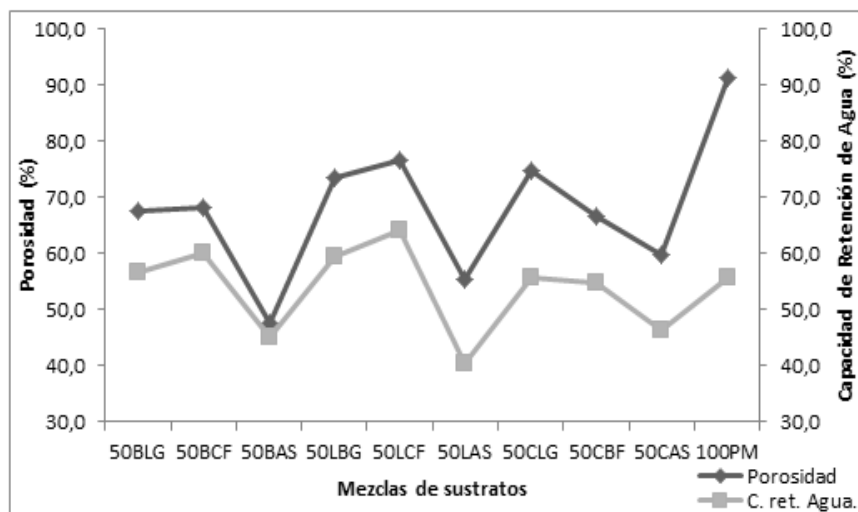
Fuente: Elaboración propia

Los sustratos con retenciones de agua superiores al 50%, se consideran adecuados para un sustrato hortícola (Guzmán 2003 citado por Quesada y Méndez 2005, Iskander 2002), la mayoría de los sustratos coinciden con los parámetros de humedad establecidos por los autores, Sin embargo, los tratamientos con arena y suelo no lo cumplieron. Se encontró que el tamaño de partícula que presentaron los tratamientos 50LAS, 50BAS y 50CAS, se distribuyeron entre los 0,25 mm – 2,0 mm, proporcionando una baja porosidad (< 60%).

De la misma manera, los porcentajes de retención de humedad coinciden con la baja porosidad, determinando que a mayor porosidad en sustratos orgánicos hay una mayor retención de agua (coe. 0,71). Sin embargo, esta norma no cumple con mezclas con suelo y arena (Figura 2). Esto coincide con Raviv et al. (2002) y Gutiérrez et al. (2011), donde determinaron que la porosidad y el tamaño medio de partícula (3,0 – 2,0 mm) en sustratos orgánicos, se encuentra directamente proporcional con la retención de agua.

⁴ medias seguidas por la misma letra no se consideran distintas según prueba de d.m.s ($\alpha = 0,01$).

Figura 2. Correlación del porcentaje de porosidad y capacidad de retención de humedad en 10 mezclas de sustratos para almácigos. Guanacaste, 2012.

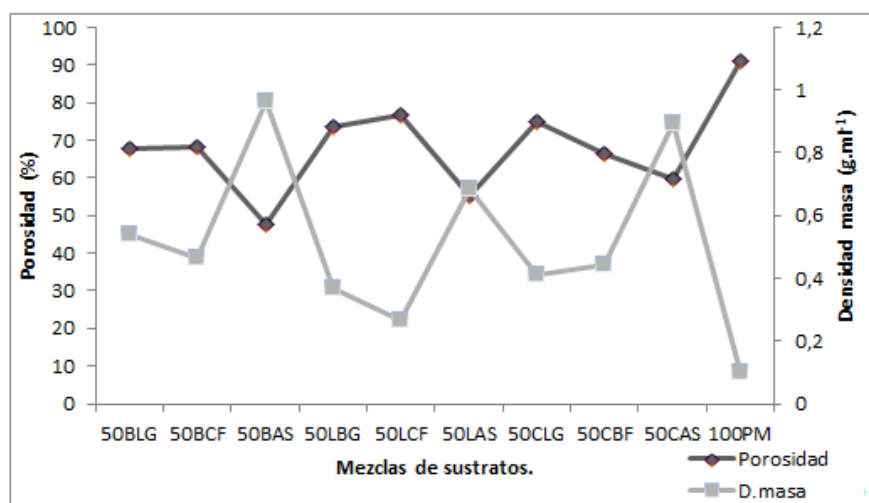


Fuente: Elaboración propia

La densidad de masa o densidad aparente (por los mismos principios de medición en sustratos hortícolas) mostró en las mezclas 50BAS, 50CAS y 50LAS con un 89, 88% y 85% mayor respectivamente al compararlo con el testigo. Quesada (2012) citado por Garbanzo (2013), indicó que en mezclas de sustratos para almácigos es ideal que posea baja densidad de masa, ya que permite menos deformaciones en las bandejas y una mejor manipulación.

En la Figura 3, se encontró una correlación inversa (coe. -0,94) entre la porosidad y la densidad de masa. La mayoría de las mezclas presentaron que a una mayor porosidad total mostró una menor densidad de masa, a excepción de mezclas que presentan contenidos de arena y suelo.

Figura 3. Correlación del porcentaje de porosidad y densidad de masa en 10 mezclas de sustratos para almácigos. Guanacaste, 2012.



Fuente: Elaboración propia

Variables químicas en mezclas de sustratos

En la tabla 4, se muestra los resultados de los análisis químicos de las mezclas de sustratos evaluados. En relación con la Conductividad Eléctrica (CE), se encontró que el tratamiento 50CAS y 100PM poseen rangos óptimos ($1,2 - 3,5 \text{ dS.m}^{-1}$), mientras que el resto de los tratamientos mostraron rangos muy altos. Los contenidos superiores a $3,5 \text{ dS.m}^{-1}$ no son convenientes para el desarrollo de almácigos (Molina 2011, Quesada 2004), ya que pueden tener efectos vegetativos en el crecimiento de raíces y desarrollo de las plántulas. El Bocashi y el Lombricompost son los responsables de la alta CE (Pérez et al. 2008), por eso los tratamientos que tenían en la mezcla 50% Bocashi y 50% Lombricompost, fueron las que presentaron los rangos más altos ($4,0-10,8 \text{ dS.m}^{-1}$).

Con referencia al pH, se encontró que el tratamiento 50LAS, 50LBG, 50LCF, 50CLG y 50CBF mostraron pH mayores a 6,5, mientras que el resto de los tratamientos presentaron pH óptimos entre 6,0 y 6,5. Los pH altos podrían afectar la absorción de micronutrientes (Molina 2011, Bertsch 1998), las altas concentraciones posiblemente son producto del Lombricompost y compost, ya que estos abonos orgánicos fueron elaborados a base de broza de café y boñiga. Esto coincide con investigaciones realizadas por Durán y Henríquez (2009) y Munroe (2005), donde encontraron en análisis químicos en diferentes Lombricompost, valores de pH superiores a 6,9. Bollo (1999) citado por Cruz (2010), determinó que la lombriz (*E. foetida*) secreta carbonato de calcio por una glándula especializada, produciendo una digestión alcalina, ocasionando niveles alcalinos en los sustratos.

Tabla 4. Análisis químico en 10 mezclas de sustratos. Guanacaste, 2012.

Mezclas	pH	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Ca	Mg	K	P	Fe	Zn	Cu	Mn	Na	S	CE
		mg.l ⁻¹												dS.m ⁻¹
Óptimos	5,3-6,5	0-20	80 -200	>100	>50	100 - 300	5,0 - 20	0,3- 3,0	0,3- 3,0	0,01- 5,0	0,02- 3,0	-	-	1,2 - 3,5
50BLG	6,3	212,7	2,8	613	180	2746	61,7	19,7	1,3	1,4	5,3	245	564	10,8
50BCF	6,5	211,1	2,1	146	111	1423	7,1	5,4	0,6	0,8	2,6	242	290	7,2
50BAS	6,5	370,1	2,6	264	139	1308	5,6	13,5	4,3	0,9	4,7	241	328	7,8
50LBG	7,2	130,5	0,9	77	30	1382	24,7	4,2	1,9	1,5	0,1	78	154	5,2
50LCF	6,9	1,4	363,9	82	44	1348	1,6	0,6	2,2	0,2	0,1	92	83	5,7
50LAS	7,5	ND	621,1	158	54	1382	0,1	0,3	7,7	0,1	0,0	39	31	5,8
50CLG	6,9	25,3	177,8	97	65	786	0,2	0,2	1,7	0,2	1,0	31	123	4,0
50CBF	6,8	135,0	0,1	144	122	1019	1,0	0,8	0,8	0,4	5,3	202	224	6,1
50CAS	6,5	23,7	359,8	157	98	256	ND	ND	0,5	0,1	3,3	40	81	3,1
100PM	6,0	1,5	1,1	86	96	64	0,7	2,0	0,8	0,2	0,8	29	175	1,3

Fuente: Laboratorio de suelos y foliares, Centro de investigaciones agronómicas (CIA-UCR). N° DE REPORTE: 43564. CE: Conductividad eléctrica.

En relación con N-NH_4^+ las mezclas 50LCF, 50LAS y 100PM presentaron condiciones óptimas entre 0 y 20 mg.l^{-1} (Tabla 4), el resto de los tratamientos mostraron condiciones altas superiores a 20 mg.l^{-1} . Así mismo, en las concentraciones de N-NO_3^- , se encontró en los tratamientos 50LAS, 50LCF y 50CAS presentaron concentraciones altas ($> 200 \text{ mg.l}^{-1}$), siendo el tratamiento 50CLG el que presentó condiciones óptimas entre 100- 200 mg.l^{-1} , el resto de los tratamientos presentaron concentraciones bajas ($< 100 \text{ mg.l}^{-1}$). Las mayores concentraciones de N-NH_4^+ se encontraron en las mezclas con presencia de Bocashi, mientras que las mayores concentraciones de N-NO_3^- se presentaron en la mezclas con Lombricompost y compost.

El Ca^+ presentó concentraciones óptimas ($> 100 \text{ mg.l}^{-1}$) en los tratamientos 50BLG, 50BCF, 50BAS, 50LAS, 50CBF y 50CAS, mientras que el resto de los tratamientos presentaron concentraciones bajas, menores a 100 mg.l^{-1} . Por otro lado, el Mg^+ presentó condiciones bajas ($< 60 \text{ mg.l}^{-1}$) en los tratamientos 50LBG, 50LCF y 50LAS, mientras que los demás tratamientos presentaron condiciones óptimas superiores a 60 mg.l^{-1} .

El K^+ , presentó niveles muy altos ($> 300 \text{ mg.l}^{-1}$) en la mayoría de los tratamientos, excepto para las mezclas 50CAS, el cual presentó concentraciones óptimas (100 - 300 mg.l^{-1}). Además, el tratamiento 100PM, mostró condiciones bajas ($< 100 \text{ mg.l}^{-1}$) de K^+ . Estas concentraciones brindan respuesta a los contenidos altos ($> 6,5$) de pH (Bertsch 1998), sin embargo, el K^+ puede ocasionar desbalances en los demás elementos catiónicos. Molina (2011), menciona que el exceso de K^+ y N-NH_4^+ puede favorecer deficiencias de Ca y Mg. Las altas concentraciones de los elementos anteriores, posiblemente causen problemas en el desarrollo de las plantas, debido al efecto antagonista ejercido entre los mismos.

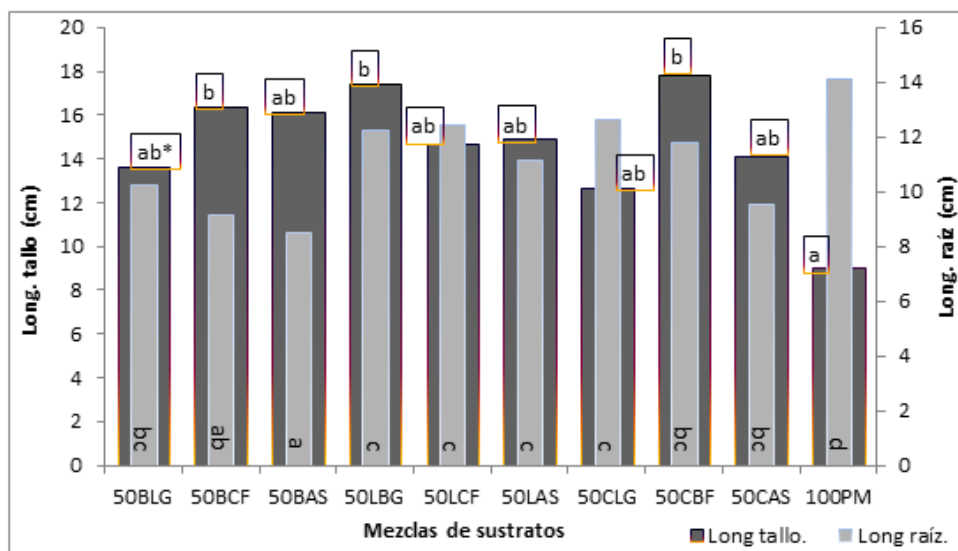
Por otro lado, el P presentó concentraciones muy altas ($> 20 \text{ mg.l}^{-1}$) en los tratamientos 50BLG, 50LBG; los tratamientos 50BCF y 50BAS mostraron concentraciones óptimas (5 - 20 mg.l^{-1}), mientras que el resto de los tratamientos presentaron concentraciones bajas ($< 5 \text{ mg.l}^{-1}$). Estas concentraciones de P son debidamente a las presencia de bocashi en las mezclas. Larco (2004), encontró bajas concentraciones de P en compost y lombricompost a base de café y estiércol de ganado. Además en la mayoría de los suelos tropicales la concentración de P en los suelos es baja (Bertsch 1998), posiblemente la presencia de suelo y arena en las mezclas aporte cantidades no significativas.

Los microelementos Zn, Cu, presentaron concentraciones óptimas (0,3 – 3 mg.l^{-1} en Zn y 0.01- 5 mg.l^{-1} en Cu) en todos los tratamientos. El Fe presentó condiciones muy altas ($> 3 \text{ mg.l}^{-1}$) en los tratamientos 50BLG, 50BCF, 50BAS, 50LBG, mientras que el resto de las mezclas presentaron condiciones óptimas (0,3 - 3 mg.l^{-1}).

Longitud de tallo y longitud de raíz en plántulas de tomate

Los tratamientos que presentaron la mayor longitud en las plantas de tomate fueron: 50CBF, 50LBG y 50BCF con un 49%, 48% y 44% más que el testigo (100PM) respectivamente. Los demás tratamientos no mostraron diferencias mínimas significativas ($\alpha = 0,01$) (Figura 5).

Figura 5. Longitud de tallo y raíz en plántulas de tomate en 10 mezclas de sustratos. Guanacaste, 2012⁵



Fuente: Elaboración propia

Las condiciones físicas de los sustratos no fueron limitantes en el crecimiento de las plántulas. Sin embargo en las condiciones químicas la CE fue alta en la mayoría de las mezclas. Sin embargo, el Peat Moss mostró poca longitud de tallo en comparación con las demás tratamientos, el único factor a considerar fue el nivel nutricional mencionado anteriormente, esto coincide con Richmond (2010) quien encontró respuesta a planta en distintas mezclas orgánicas en almácigos de tomate.

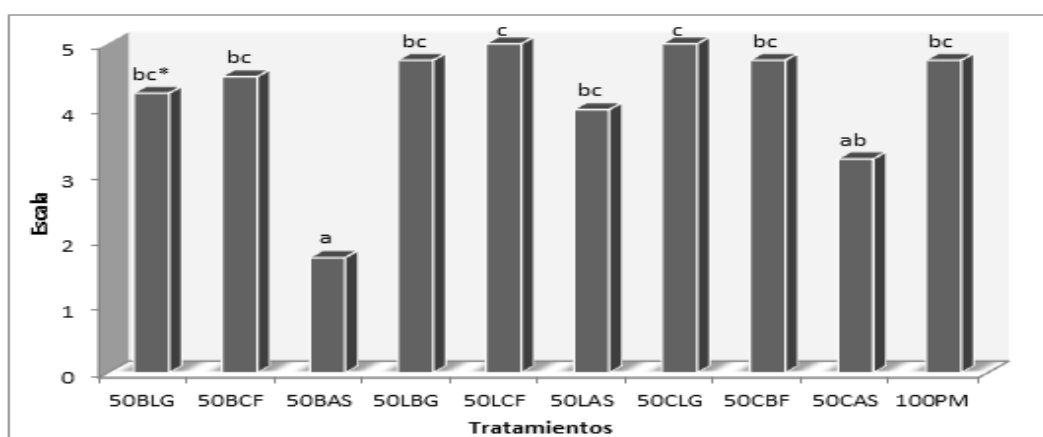
La mezcla que mostró el menor desarrollo de raíz fue 50BAS, con 40% de crecimiento menor al testigo. Contrariamente, el tratamiento Peat Moss presentó la mayor longitud de raíz debido posiblemente a las propiedades físicas, ya que la porosidad de este tratamiento, fue de 91%, con una densidad de masa baja ($0,10 \text{ g.ml}^{-1}$) lo que facilitó el desarrollo de la raíz. El resto de las mezclas presentaron por debajo de 77% de porosidad y densidades de masa superiores a 27 g.ml^{-1} . Este análisis coincide con lo encontrado por Quesada (2004), donde la porosidad total y densidad de masa, establecen una correlación con el crecimiento de la raíz en el adobe, mostrando una uniformidad y mayor crecimiento.

⁵ medias seguidas por la misma letra no se consideran distintas según prueba de d.m.s ($\alpha = 0,01$)

Consistencia de adobe

Para la consistencia de adobe, se encontró que los sustratos 50LCF y 50CLG presentaron la mayor integridad del adobe. El sustrato que presentó la integridad más baja fue la mezcla 50BAS con un 60% (Figura 6). El tamaño de las partículas fueron las responsables de la baja integridad del adobe, ya que las mezclas con arena y suelo mostraron una mayor cantidad de partículas con diámetro 0,25 mm y 2,0 mm. Cuando el tamaño de las partículas son mayores a los 2 mm, se presentan un mayor crecimiento de la raíz lo que ayudó a una mayor integridad (Vargas et al. 2008, Baixauli y Aguilar 2002, Cabrera 2002).

Figura 6 . Escala de adobe en plántulas de trasplante en almácigos, en 10 mezclas de sustratos. Guanacaste, 2012.⁶



Fuente: Elaboración propia

Los análisis físicos demostraron que las mezclas que tenían mayor densidad de masa, fueron las que presentaron menor consistencia. Debido posiblemente al mayor peso del adobe, lo cual afectó la integridad de este, además la manipulación de las bandejas en la extracción de las plántulas causó un desprendimiento del sustrato, lo que ocasiono daños en las raíces (Figura 7).

Quesada (2004), encontró que la densidad de los sustratos y el poco espacio poroso, no permitieron que las raíces crecieran y presentaran deficiencias en la extracción del adobe. Así mismo, la capacidad de retención de humedad probablemente beneficia el crecimiento de raíces y por consiguiente su relación en la integridad del adobe (Gutiérrez et al. 2011, Quesada y Méndez 2005).

⁶ medias seguidas por la misma letra no se consideran distintas según prueba de Kruskal Wallis ($\alpha = 0.05$)

Figura 7. Consistencia de adobe en plántulas de tomate a los 29 dds. Guanacaste, 2012.



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La granulometría presentó una relación proporcional con la porosidad en las mezclas. Las partículas entre 2,0 mm – 8,0 mm fueron responsables del mayor crecimiento de la raíz y mostró mayor integridad del adobe.

Las mezclas con materiales orgánicos presentaron una relación proporcional con la porosidad y la capacidad de retención de agua, sin embargo, en las mezclas con suelo-arena se presentó una relación inversa.

Las mezclas con fibra de coco y granza, brindaron la mayor porosidad en los sustratos. Por el contrario las mezclas con arena-suelo proporcionaron la menor porosidad y mayor densidad de masa. Además, los sustratos con mayor densidad de masa presentaron el menor crecimiento de raíz y una menor consistencia del adobe.

Mezclas con Bocashi y Lombricompost presentaron rangos muy altos de CE, siendo las mezclas con Bocashi las que presentaron las concentraciones más altas de N-NH_4^+ . Por otro lado, las mezclas de Lombricompost presentaron el pH más alto. Además, se encontró que el Peat Moss presentó las concentraciones más bajas de nutrientes en comparación al resto de las mezclas.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a los proyectos “Evaluación de mezclas de sustratos orgánicos para la producción de almácigos en Guanacaste.” N. 520-B1-046, y “Desarrollo de un modelo de diversificación agrícola para la seguridad alimentaria nutricional

de asentamientos campesinos de los cantones Carrillo y Santa Cruz.” ED-2835, quienes en conjunto brindaron los recursos a lo largo de la investigación.

Bibliografía

- Baixauli C., Aguilar J. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas: Aspectos prácticos y experiencias. Geberalitat Valenciana. Consellería de agricultura, pesca y alimentación. Valencia, España. 110 p.
- Bertsch F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia de Suelo (ACCS). San José, Costa Rica. 157 p.
- Cabrera R. 1998. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivos para la producción de plantas en macetas. Revista Chapingo Serie Horticultura 5(1):5-11.
- Calderon A., Villanueva R. 2003. Elaboración de sustratos y enmiendas agrícolas a partir de desechos de la agroindustria azucarera y la industria del jabón. Trabajo de graduación para el grado de licenciatura. Universidad EARTH. Guácimo, Costa Rica. 85 p.
- Choi J., Kang C., Ahn J. 2008. Effect of root substrate formulations on the growth of grafted tomato plug seedlings. Acta Horticulture 782. IVth IS on see, transplant and stand establishment of horticulture. Crops. pp. 351-358.
- Cruz E. 2010. Mezclas de Vermicompost y Tezontle, diseñadas mediante un programa de optimización en SAS, para el cultivo de tomate bajo invernadero e hidroponía. Tesis de Doctorado. Colegio de Posgraduados. México. 98 p.
- Díaz F. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. Memorias del IV simposio nacional de Horticultura. Invernaderos: diseño, manejo y producción (en línea). Torreón, México. Consultado 19 agost. 2012. Disponible en: <http://los-invernaderos.blogspot.com/2009/12/seleccion-de-sustratos-para-la.html>
- Dresboll D. 2008. Structural quality of composted plant residues to be used as an organic growing medium. Acta Horticulture 779. International Society for Horticultural Science. pp. 329-332.
- Durán L., Henríquez C. 2009. Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. Agronomía Costarricense 32(2): 275-281.

- Garbanzo G. 2013. Evaluación de mezclas de sustratos para la producción de almácigos en Guanacaste. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. 96 p.
- Gutiérrez M., Hernández E., Ortiz C., Anicua R., Hernández E. 2011. Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. Rev. Chapingo-Horticultura 17(3):183-196.
- Iskander R. 2002. Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta. Department of Horticultural Sciences. Texas University. Texas, USA. 9 p.
- Juarez E. 2005. Mecánica de suelos 1. Fundamentos de la mecánica de suelos. Limusa. México. 644 p.
- Larco E. 2004. Desarrollo y evaluación de lixiviados de compost y Lombricompost para el manejo de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* M.), en plátano. Tesis de Magister Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 77 p.
- Molina E. 2011. Análisis de sustratos agrícolas e interpretación de resultados. Centro de investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 10 p.
- Munroe G. 2010. Manual of on-farm vermicomposting and vermiculture (en línea). Organic Agriculture centre of Canadá. Consultado el 30 de jun 2011. Disponible en: http://oacc.info/DOCs/Vermiculture_FarmersManual_gm.pdf.
- Orozco R., Marfa O. 1995. Granulometric alteration, air-entry potential and hydraulic conductivity in perlites used in soilless cultures. Rev. ISHS. Acta Horticulturae 408(1):147-161
- Pérez A., Céspedes C., NÚÑEZ P. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en república dominicana. Revista de la ciencia de suelo y nutrición vegetal 8(3):10-29.
- Pire R., Pereira A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. BIOAGRO 15(1):55-64.
- Quesada G. 2004. Caracterización físico química de materias primas y sustratos y su efecto sobre el desarrollo de plantas de almácigos de hortalizas en ambiente protegido. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 95 p.

- Quesada G., Méndez C. 2005. Análisis fisicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial en almácigos de hortalizas. *Agronomía tropical (CR)* 35(1):01-13.
- Raviv M., Wallach R., Silber A., Bar-tal A. 2002. Substrates and their analysis (en línea). EEUU, FAO. Consultado el 10 de oct. de 2012. Disponible en <http://www.fao.org/hortivar/scis/doc/publ/8.pdf>.
- Richmond F. 2010. Evaluación de distintas materias primas para la producción de almácigo de tomate (Nota Técnica). *Agronomía Costarricense (CR)* 34(1):85-91.
- Vargas P., Catellanos J., Sánchez P., Tijerina L., López R., Ojodeagua J. 2008. Caracterización física química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 31(4):375-381.
- Villalaz C. 2004. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 5 ed. Limusa. México 650 p.