

Caracterización química y física de sustratos enriquecidos con minerales y composta

Chemical and physical characterization of substrates enriched with minerals and compost

Víctor Manuel Montoya-Jasso¹ , Víctor Manuel Ordaz-Chaparro^{1‡} ,
Gerardo Sergio Benedicto-Valdés¹ , Alejandrina Ruiz-Bello¹  y Jesús Manuel Arreola-Tostado² 

¹ Posgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56230 Texcoco, Estado de México, México.

² Consultor agrícola privado internacional. Apaseo el grande núm. 114, colonia Guanajuato. 38010 Celaya, Guanajuato, México.

[‡] Autor para correspondencia (ordaz@colpos.mx)

RESUMEN

Los sustratos representan un componente importante en los sistemas hidropónicos. El objetivo del estudio fue evaluar la adición de composta y mezcla mineral de zeolita-dolomita que permitieran mejorar las características químicas y físicas de los sustratos utilizados para la producción de *Capsicum pubescens*. Se utilizaron dos sustratos: 1) tezontle y aserrín (1:2) y 2) tezontle, aserrín y composta (1:2:2), dos concentraciones de K en Solución Steiner (50 y 100%) y tres niveles de mezcla mineral (0, 40 y 80 cm³ L⁻¹) generando 12 tratamientos (2×2×3) establecidos en parcelas subdivididas: la parcela grande correspondió a la concentración de K, la parcela mediana comprendió los dos sustratos y la parcela chica se conformó con los aportes de mezcla mineral. Se evaluó el efecto en las propiedades de densidad aparente, humedad, diámetro de partículas, porosidades, pH, CE, contenido de MO y CO, relación C/N, CIC y contenido nutrimental foliar. La densidad aparente, humedad y porosidades no se vieron afectadas significativamente. La granulometría, aunque hubo diferencias entre tratamientos, los diámetros se ajustaron a los establecidos (<2.50 mm). El pH no fue afectado por los tratamientos, la CE incrementó significativamente (1 dS m⁻¹) por la composta; el contenido de MO fue <30% en los sustratos con la mezcla mineral. La relación C/N de los sustratos con composta fue <19 debido a la descomposición y liberación de N. La CIC

fue >8 en los tratamientos con composta, favoreciendo la retención de nutrientes en el sustrato y el incremento de los mismos en el tejido vegetal. Los resultados señalan que, en sustratos sin composta, la CE y la Dap fueron menores cuando se aplicó el 50% de K, sin embargo, las propiedades físicas se asemejaron a las óptimas, siendo el tratamiento testigo el que menor calidad presentó. La adición de composta aumentó el contenido de N, P, Ca y la CIC en los sustratos.

Palabras clave: absorción nutrimental, *Capsicum pubescens*, dolomita, mineralización, zeolita.

SUMMARY

Substrates are an important component in hydroponic systems, and hence, the objective of our study was to evaluate the addition of compost and mineral mixture of zeolite-dolomite to improve the chemical and physical characteristics of substrates required to produce *Capsicum pubescens*. Two substrate combinations were used (tezontle and sawdust, and tezontle, sawdust and compost), as well as two concentrations of K in Steiner Solution (50 and 100%), and three levels of mineral mixture (0, 40 and 80 cm³ L⁻¹), generating a set of 12 treatments in subdivided plots: the large plot corresponded to the concentration of K, the median plot comprised the two substrate combination and the small plot comprised the mineral blending inputs. The effect of the different

Cita recomendada:

Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ruiz-Bello, A. y Arreola-Tostado, J. M. (2021). Caracterización química y física de sustratos enriquecidos con minerales y composta. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-10. e601. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.601>

Recibido: 12 de noviembre de 2019. Aceptado: 01 de junio de 2021.
Artículo. Volumen 39, julio de 2021.

treatments on the properties of bulk density, humidity, particle diameter, porosities, pH, EC, OM and OC content, C/N ratio, CEC and foliar nutrition content was assessed. Bulk density, humidity and porosities were not significantly affected. In regard to granulometry, although there were differences between treatments, diameters were fitted to <2.50 mm. The pH was not affected by treatments, while EC increased significantly (1 dS m⁻¹) by the compost; and OM content was <30% on the substrates with the mineral mixture. The C/N ratio of substrates to compost was <19% due to N degradation and release. CEC was >8 in treatments with compost, favoring nutrient retention in the substrate and their increase in plant tissue. Our results indicate that in substrates without compost, EC and bulk density decreased when 50% K was applied, however, the physical properties resembled the optimal, where the control treatment showed the lowest quality. The addition of compost increased the content of N, P, Ca and CEC in the substrates.

Index words: *nutritional absorption, Capsicum pubescens, dolomite, mineralization, zeolite.*

INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años las ciencias están experimentando cambios y avances importantes en el campo agrícola. Paralelamente a todos estos cambios se encuentra la sustitución del cultivo en suelo por el cultivo en sustratos (Abad y Noguera, 1998), en México se estiman más de 25 mil hectáreas en producción bajo sustrato (Bastida, 2017¹). Distintas razones han provocado esta sustitución, destacando la presencia de factores limitantes para la producción de cultivos intensivos en suelo lo que ha obligado a adoptar técnicas alternativas de producción.

La producción de cultivos bajo sustrato presenta diferencias sustanciales respecto del cultivo de plantas en suelo (Abad, 1993), así, el desarrollo de sustratos tiene su origen en el cultivo en contenedor (Burés-Pastor, 1997); al cultivar bajo contenedor las características del sustrato resultan decisivas en el correcto crecimiento y desarrollo de las plantas, observándose una interacción entre las características del contenedor y del sustrato con la planta.

La producción en sustratos bajo invernadero mejora las características morfológicas y rendimiento de las plantas, según han reportado (Berenguer, Escobar y Cuartero, 2003; Incrocci, Pardossi, Campiotti, Balducci y Giunchi, 2003), es decir, cultivar en sustratos evita contratiempos ambientales y daños por contaminación del suelo, se hace más eficiente el uso del agua, se garantizan frutos de mejor calidad durante todo el ciclo y aumento de la relación beneficio-coste debido a una producción aproximadamente 49% mayor (Moreno, Aguilar y Luévano, 2011) con relación a la productividad en campo abierto.

El estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la adición de mezcla mineral y composta a sustratos que permitan mejorar las características químicas y físicas de los mismos para la producción de *Capsicum pubescens*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en el Colegio de Postgraduados, Montecillo. Se utilizaron dos mezclas de sustratos: 1) tezontle y aserrín (1:2), y 2) tezontle, aserrín y composta de estiércol vacuno, cachaza y pulpa de café (1:2:2), ambos con distintos contenidos (0, 40 y 80 cm³ L⁻¹) de mezcla mineral de zeolita y dolomita y dos concentraciones de potasio (50 y 100%) teniendo como referencia la Solución Universal de Steiner. Los sustratos fueron analizados a los 5 meses después del trasplante de chile manzano. Los parámetros medidos fueron pH y conductividad eléctrica (Ansorena, 1994); proporción de materia orgánica (Nelson y Sommers, 1996), la proporción de carbono orgánico se calculó con base en los resultados de materia orgánica mediante el factor 0.58 (Walkley y Black, 1947); granulometría menor a 20 mm y siguiendo la metodología propuesta por Burés-Pastor (1997); porosidad y densidad aparente (Landis, Tinus, McDonald y Barnett, 1990); el nitrógeno total se obtuvo por la metodología de Kjeldahl (NOM-021-SEMARNAT-2000, 2002), la relación C/N fue obtenida con base a los resultados de carbono orgánico y nitrógeno total (Horneck y Miller, 1998); fósforo mediante colorimetría por método de Bray (Fernández *et al.*, 2006), potasio, calcio y magnesio por espectrometría de absorción atómica (Page, 1982) y la CIC por medio de solución extractante de NH₄Ac propuesto por (Fassbender, 1987).

¹ Bastida T., A. (2017). *Evolución y situación actual de la agricultura protegida en México*. En Memorias del sexto Congreso Internacional de Investigaciones en Ciencias Básicas y Agronómicas (pp. 281-294). Chapingo, Edo. de México: Universidad Autónoma Chapingo.

Las variables se analizaron mediante un diseño de parcelas subdivididas utilizando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el análisis de las medias en el programa estadístico SAS 9.3 (SAS, 2011). Los tratamientos evaluados se describen en el Cuadro 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización Química y Física de los Sustratos

pH. Los valores de pH de los tratamientos evaluados se encontraron dentro de un rango ligeramente alcalino (7.08 a 7.39) y solamente un tratamiento presentó un valor ligeramente ácido (6.85) producto de la nula presencia de material dolomítico cuyo principal efecto es la reducción de la acidez (Ortiz-Araya, 2008²), sin embargo, no se encontraron diferencias significativas por efecto de tratamiento. Abad, Noguera y Burés (2001) mencionan que el rango deseable de pH para la producción en sustratos va 5.3 a 6.5; los tratamientos no tuvieron efectos significativos en el pH de

los sustratos evaluados ya que todos se encontraron sobre el límite superior al recomendado y siguieron un comportamiento similar.

Conductividad eléctrica (CE). Se observó una tendencia a incrementar la CE por efectos de los tratamientos con composta, no obstante, los datos obtenidos permanecieron en el rango de 0.76 a 2.5 dS m⁻¹, propuesto por Cavins *et al.* (2000). Los tratamientos 8 y 9 presentaron los valores más altos con 2.60 y 2.43 dS m⁻¹ (Cuadro 2). A pesar de la doble concentración de mezcla mineral en el tratamiento 9, la CE fue menor en el tratamiento 8 concordando con López, Díaz, Martínez y Valdez (2001) y Salazar, Trejo, Vázquez y López (2007) quienes mencionan que al aplicar abonos ricos en materiales orgánicos se incrementa ligeramente la CE por la presencia de sales solubles.

Granulometría (Gr). El análisis de los datos reveló diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos para la variable Gr reportada en milímetros de diámetro medio ponderado (Cuadro 2). El tratamiento 6 presentó el mayor porcentaje de partículas con 2.72 mm, los sustratos con alto contenido de aserrín y sin composta fueron materiales bioestables por lo cual, de acuerdo con Lemaire (1997), conservan características físicas como la Gr durante varios meses. El menor porcentaje de partículas menores a 1.90 mm lo obtuvieron los tratamientos 9 y 12 (Cuadro 2), este valor bajo causó repercusiones en el porcentaje de porosidad de aireación el cual fue menor de 14.5% para ambos tratamientos, sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en el porcentaje de porosidad de aireación. Tratamientos sin composta y con 80 cm³ L⁻¹ de mezcla mineral generaron un incremento en el contenido de partículas mayores a 2.43 mm provocando un porcentaje de retención de humedad mayor, siendo estadísticamente iguales.

Porosidad total (PT). El valor máximo de PT corresponde al tratamiento 5 con 83% debido a la presencia de 40 cm³ L⁻¹ de mezcla mineral que causó alteraciones en la granulometría obteniendo un DMP de las partículas de 2.56 mm, aunque estadísticamente es igual al resto de los tratamientos. Abad (1995) y Cabrera (1998) reportan que el rango ideal de PT es de 70 a 85% (Cuadro 2). Con base en lo anterior, los porcentajes de PT obtenidos por el efecto de los tratamientos se encuentran en el rango óptimo.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en el cultivo de *Capsicum pubescens*.

Table 1. Treatments evaluated in *Capsicum pubescens* culture.

Tratamiento	Sustrato		Factores	
	T:A	SN	C	MM
		K%	v:v	cm ³ L ⁻¹
1	1:2	100	0	0.0
2	1:2	100	0	40.0
3	1:2	100	0	80.0
4	1:2	50	0	0.0
5	1:2	50	0	40.0
6	1:2	50	0	80.0
7	1:2	100	2	0.0
8	1:2	100	2	40.0
9	1:2	100	2	80.0
10	1:2	50	2	0.0
11	1:2	50	2	40.0
12	1:2	50	2	80.0

T = tezontle; A = aserrín; SN = solución nutritiva; C = composta; MM = mezcla mineral.

T = tezontle; A = sawdust; SN = nutrient solution; C = compost; MM = mineral mixture.

² Ortiz-Araya, E. F. (2008). *Evaluación del efecto de la cal dolomita sobre algunas características químicas del suelo y la absorción de nutrientes en el cultivo de piña (Ananas comosus L.) Merr. híbrido MD-2 en finca ganadera La Flor S.A. En Río Cuarto, Grecia, Costa Rica.* Proyecto de graduación (Bachillerato en Agronomía). Instituto Tecnológico de Costa Rica, sede regional San Carlos. Escuela Ingeniería en Agronomía. San Carlos, Costa Rica.

Cuadro 2. Prueba de medias para los tratamientos de estudio y el efecto en las variables de respuesta en los sustratos.
Table 2. Test of means for the study treatments and the effect on the response variables in the substrates.

Tratamiento	pH	CE	Gr	PT	PA	PRH	Dap	MO	CO	C/N
		dS m ⁻¹	mm	----- % -----			Mg m ⁻³	----- % -----		
1	7.37 a	1.37 b	2.26 e	81.5 a	26.5 a	55.0 a	0.42 a	35.0 a	17.20 a	290.07 a
2	7.29 a	1.10 b	2.07 g	70.5 a	16.0 a	54.0 a	0.36 a	24.5 b	12.75 c	244.40 b
3	7.37 a	1.66 a	2.43 c	73.5 a	21.0 a	52.5 a	0.36 a	27.0 b	13.25 c	254.85 b
4	7.24 a	1.13 b	2.29 d	65.5 a	15.0 a	50.5 a	0.31 a	31.5 a	14.25 b	314.04 a
5	7.30 a	1.41 b	2.56 b	83.0 a	19.0 a	64.0 a	0.42 a	24.5 b	12.25 c	244.54 b
6	7.14 a	1.12 b	2.72 a	74.0 a	27.5 a	46.5 a	0.37 a	26.0 b	13.25 c	265.16 b
7	7.08 a	1.88 a	1.97 h	80.0 a	19.0 a	60.5 a	0.42 a	37.0 a	17.75 a	18.13 c
8	7.21 a	2.60 a	2.07 g	79.5 a	23.0 a	56.5 a	0.41 a	25.5 b	13.25 c	12.41 c
9	7.39 a	2.43 a	1.90 i	75.5 a	14.0 a	61.0 a	0.36 a	24.0 b	12.50 c	15.30 c
10	6.85 b	1.54 a	2.12 f	72.0 a	24.5 a	47.5 a	0.37 a	37.0 a	17.25 a	19.05 c
11	7.16 a	1.63 a	2.41 c	71.0 a	19.5 a	51.5 a	0.37 a	25.5 b	12.50 c	12.41 c
12	7.24 a	1.47 b	1.42 j	77.0 a	14.5 a	63.5 a	0.37 a	23.5 b	11.25 d	15.69 c
DMS ($P \leq 0.05$)	0.34	1.13	0.05	25.00	19.30	26.10	0.22	8.18	1.40	40.70

pH = potencial hidronio; CE = conductividad eléctrica; Gr = granulometría; PT = porosidad total; PA = porosidad de aireación; PRH = porosidad de retención de humedad; Dap = densidad aparente; MO = materia orgánica; CO = carbono orgánico; C/N = relación carbono/nitrógeno. DMS ($P \leq 0.05$) = diferencia mínima significativa. Tratamientos con letras distintas presentan significancia estadística diferente ($P \leq 0.05$).

pH = hydronium potential; CE = electrical conductivity; Gr = granulometry; PT = total porosity; PA = aeration porosity; PRH = moisture retention porosity; Dap = apparent density; MO = organic matter; CO = organic carbon; C / N = carbon / nitrogen ratio. DMS ($P \leq 0.05$) = minimum significant difference. Treatments with different letters present different statistical significance ($P \leq 0.05$).

Porosidad de aireación (PA). No se presentaron diferencias estadísticas significativamente por los tratamientos en el parámetro de PA. El tratamiento que obtuvo el mayor porcentaje de PA fue el tratamiento 6 y el menor fue el tratamiento 9 (Cuadro 2) siendo opuesto a lo que mencionan Melgar y Pascual (2010) que al contener un 40% de material orgánico se presenta un incremento en el contenido de poros de aireación; sin embargo, los valores obtenidos se sitúan dentro del rango adecuado propuesto por De Boodt, Verdonck y Cappaert (1974), donde se menciona que un porcentaje de PA de 10 a 30% no afecta el contenido gaseoso del sustrato.

Porosidad de retención de humedad (PRH). Con respecto a la PRH el tratamiento 5 presentó el mayor porcentaje con 64%, los tratamientos 3 y 6 presentaron una PRH menor (52.5 y 46.5%) (Cuadro 2) al contener un mayor contenido de mezcla mineral (80 cm³ L⁻¹) ya que, como menciona Gutiérrez-Castorena, Hernández, Ortiz, Anicua y Hernández (2011), la PRH disminuye cuando en el sustrato se encuentran partículas de 1 a

2 mm de diámetro. Handreck y Black (1994) indican que un mínimo de 55% de PRH.

Densidad aparente (Dap). No se encontraron diferencias estadísticas significativas por efectos de los tratamientos debido al uso de la fracción orgánica (Pire y Pereira, 2003). Se obtuvieron valores de 0.31 a 0.42 Mg m⁻³ (Cuadro 2) los cuales son, generalmente, menores a los reportados por Coss y Leon Monterde *et al.* (2015) en vermicompost de estiércol bovino (0.56 Mg m⁻³) pero se ubican dentro de los valores mencionados por Handreck y Blanck (1994) y Ansorena (1994), donde se proponen valores menores a 0.60 Mg m⁻³ de Dap para el uso de sustratos.

Materia orgánica (MO). Los tratamientos sin mezcla mineral (1, 4, 7 y 10) presentaron el mayor contenido de MO (Cuadro 2) cuyos valores fluctuaron entre 31.5 y 37% y estadísticamente fueron iguales entre sí, pero significativamente diferentes al resto de los tratamientos con mezcla mineral que obtuvieron valores entre 23.5 y 27%; lo que se debe, de acuerdo con (Rodríguez *et al.*, 2010), a la presencia de materiales no oxidables que

permite considerarlos como materiales bioestables (Durán y Henríquez, 2007).

Carbono orgánico (CO). El Cuadro 2 muestra diferencias estadísticas significativas por efectos de los tratamientos sin adición de mezcla mineral. La proporción de CO obtenida fue mayor a los encontrados por Morales-Mungía, Fernández, Montiel y Peralta (2009) en sustratos con aplicación de estiércol de caballo (14.18 a 14.47%). De igual manera, la presencia de la mezcla mineral causó disminución del CO, de acuerdo con Gallardo (2001), por el aumento en el contenido de materiales de difícil combustión.

Relación C/N. La mayor relación C/N se presentó en los tratamientos que no contenían composta (1 a 6) debido al menor contenido de N por el alto contenido de aserrín y a su alto contenido de fibras lentamente degradables (Rodríguez *et al.*, 2010), sin embargo, Abad y Noguera (1998) indican que una relación C/N mayor a 30 es la adecuada para cultivar bajo sustrato por la estabilidad del material, siendo estos tratamientos recomendables para ciclos de cultivo más prolongados. Los tratamientos 7 a 12 fueron más propensos, por su baja relación C/N, a la mineralización por contener material orgánico poco estable (Sánchez-Hernández,

Ordaz, Benedicto, Palma y Sánchez, 2007), sin embargo, durante la descomposición de la MO los nutrientes se transforman en formas inorgánicas (Guerrero-Ortiz, Quintero, Espinoza, Benedicto y Sánchez, 2012) los cuales presentan mayor disponibilidad para las plantas producto de una mayor CIC de los sustratos (Cuadro 3).

Análisis Nutricional de los Sustratos y Tejido Vegetal

Nitrógeno total (NT). El NT presentó el contenido más elevado en los tratamientos 8 y 11 con 1.19%, siendo estadísticamente diferente a los demás tratamientos (Cuadro 3). Castillo, Quarín y Iglesias (2000) mencionan que cuando se agrega estiércol vacuno a los sustratos se incrementa entre 0.53 y 1.25% el contenido de N. Los tratamientos que no contenían composta no presentaron valores estadísticamente significativos obteniendo porcentajes menores a 0.058% de NT en el sustrato (Cuadro 3) y un mayor contenido del elemento en tejido vegetal (Cuadro 4) propiciado por la absorción del N por la planta obteniendo contenidos superiores (>5%) al valor crítico mencionado por Hernández, Arozarena y Chailloux (2009) que es de 3.6%.

Cuadro 3. Prueba de medias para los tratamientos de estudio y el efecto en las variables de respuesta químicas en los sustratos. Table 3. Test of means for the study treatments and the effect on the chemical response variables in the substrates.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	CIC
	%	----- mg kg ⁻¹ -----				cmole kg ⁻¹
1	0.051 c	34.06 c	1641.78 f	1508.63 a	319.54 e	3.67 a
2	0.056 c	49.24 b	1950.59 c	773.35 g	306.18 e	3.13 a
3	0.058 c	26.94 d	1794.23 d	633.10 j	295.24 e	4.89 a
4	0.051 c	32.82 c	750.52 j	689.20 i	358.42 d	3.27 a
5	0.054 c	34.37 c	992.88 i	711.24 h	211.41 g	2.49 a
6	0.050 c	34.37 c	727.07 k	432.75 k	230.85 f	4.91 a
7	0.152 c	68.44 a	1418.96 g	979.71 f	403.38 c	11.43 a
8	1.198 a	52.02 b	1977.95 b	1288.25 c	335.34 d	11.21 a
9	0.957 b	39.95 c	2443.12 a	1220.13 e	464.13 b	12.53 a
10	1.043 b	41.19 c	750.52 j	1246.17 d	483.57 b	8.07 a
11	1.195 a	42.73 b	1192.24 h	617.07 j	184.68 g	10.33 a
12	0.979 b	44.28 b	1727.77 e	1290.42 b	516.37 a	11.29 a
DMS (<i>P</i> ≤ 0.05)	0.154	16.40	465.17	218.20	32.80	11.36

N = nitrógeno total; P = fósforo; K = potasio; Ca = calcio; Mg = magnesio; CIC = capacidad de intercambio catiónico. DMS (*P* ≤ 0.05) = diferencia mínima significativa. Tratamientos con letras distintas presentan significancia estadística diferente (*P* ≤ 0.05).
 N = total nitrogen; P = phosphorus; K = potassium; Ca = calcium; Mg = magnesium; CEC = cation exchange capacity. DMS (*P* ≤ 0.05) = minimum significant difference. Treatments with different letters present different statistical significance (*P* ≤ 0.05).

Fósforo (P). Ansorena (1994) menciona que la concentración óptima de P en sustratos es de 10 mg kg⁻¹, de acuerdo con lo anterior todas las concentraciones de P en todos los tratamientos son altas (>26 mg kg⁻¹) (Cuadro 3) ya que, de acuerdo con Lindsay (1979), a valores de pH entre 6.5 y 7.5, rango dentro de los que se encuentran los pH obtenidos (Cuadro 2), el P se encuentra en mayor disponibilidad para su absorción por la planta. Los tratamientos con 40 cm³ L⁻¹ de mezcla mineral mostraron un incremento en el contenido foliar de P (Cuadro 4) debido al sinergismo que presenta con el Mg (Fassbender, 1969) presente en la dolomita.

Potasio (K). La concentración de K en el sustrato vario de 727.07 mg kg⁻¹ en el tratamiento 6 a 2443.12 mg kg⁻¹ en el tratamiento 9 (Cuadro 3), la disminución en las concentraciones del elemento se atribuye a un proceso de lixiviación, arrastre por la permeabilidad del sustrato y a la ausencia de arcillas 2:1 para su fijación en el medio (Bekker, Hue y Chase, 1994), la concentración de K aplicado vía solución nutritiva en el tratamiento 6 (50% K) limitó su concentración en

el sustrato con respecto al suministro del 100% de K aplicado al tratamiento 9, en promedio los tratamientos con el aporte del 100% de K aplicado presentaron más K disponible. La mayor concentración de K en tejido vegetal se presentó en la etapa de floración (González-Eguiarte, Alcalde, Ortiz y Castillo, 1991) originado por el fenómeno conocido como consumo superfluo, es decir, la absorción de K por la planta originado a las altas concentraciones de K en la solución nutritiva.

Calcio (Ca). El mayor valor de Ca en el sustrato se presentó en el tratamiento 1 con 1508.63 mg kg⁻¹ debido al mayor contenido de tezontle y a la capacidad que éste presenta para formar concreciones de CaCO₃ (Allaway, 1945) sin presentar deficiencias del elemento para la planta. Los contenidos de Ca en la planta (Cuadro 4) superaron en más del 300% la concentración de 5000 mg kg⁻¹ considerada por Salisbury y Roos (1994) como óptima y se debe a la adición de dolomita que al intemperizarse libera el Ca (Fassbender, 1975) y, a valores neutros de pH, ejerce un efecto sinérgico con el K propiciando la absorción del Ca (Alcántar, Trejo y Gómez, 2016).

Cuadro 4. Prueba de medias para los tratamientos de estudio y el efecto en las variables de respuesta de contenido nutrimental en el tejido vegetal.

Table 4. Test of means for the study treatments and the effect on the response variables of nutritional content in plant tissue.

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg
	%	----- mg kg ⁻¹ -----			
1	6.26 d	3873 j	34788 j	21231 b	9305 j
2	8.19 a	4281 d	38865 d	19428 d	8769 l
3	6.56 c	4426 a	38448 e	19659 d	8803 k
4	5.84 d	3904 i	34542 k	18192 f	10585 b
5	5.74 d	4355 b	36526 h	19512 d	10294 d
6	6.70 c	4262 e	36883 g	17702 g	10900 a
7	5.81 d	4305 c	46037 a	21573 b	9481 h
8	7.42 b	4127 g	42201 b	20413 c	9400 i
9	5.79 d	3761 k	37543 f	24143 a	9818 f
10	6.63 c	4234 f	31521 l	23953 a	10066 e
11	6.52 c	4024 h	35714 i	19619 d	10545 c
12	6.66 c	4253 e	39616 c	19073 e	9494 g
DMS ($P \leq 0.05$)	0,57	69	3834	548	313

N = nitrógeno total; P = fósforo; K = potasio; Ca = calcio; Mg = magnesio. DMS ($P \leq 0.05$) = diferencia mínima significativa. Tratamientos con letras distintas presentan significancia estadística diferente ($P \leq 0.05$).

N = total nitrogen; P = phosphorus; K = potassium; Ca = calcium; Mg = magnesium. DMS ($P \leq 0.05$) = minimum significant difference. Treatments with different letters present different statistical significance ($P \leq 0.05$).

Magnesio (Mg). El tratamiento 12 obtuvo el mayor valor de Mg en el sustrato con $516.37 \text{ mg kg}^{-1}$ debido a la presencia de composta y a la mayor concentración de mezcla mineral ($80 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}$) (Cuadro 3) principalmente por el aporte de la dolomita, de acuerdo con Farnham, Hasek y Paul (1985) el Mg es retenido por el sustrato y no es fácilmente lixiviable, lo que provocará que quede disponible para la planta por periodos largos. El contenido vegetal de Mg fue de 8803 mg kg^{-1} en el tratamiento 3 hasta $10\ 899 \text{ mg kg}^{-1}$ en el tratamiento 6 (Cuadro 4), valores que son superiores a los considerados como apropiados (2000 mg kg^{-1}) por Salisbury y Ross (1994) y propiciados por la presencia del material dolomítico y la intemperización del Mg de su composición.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC). La mayor CIC en los tratamientos 7 a 12 (Cuadro 3) obedeció al contenido de composta y a la liberación de nutrientes que favorecieron un incremento en la CIC (Rubio, 1997) junto con la actividad química propiciada por la zeolita y la intemperización del Ca de la dolomita de la mezcla mineral. La cantidad de Mg y Ca presentes en los sitios de intercambio se rige por la acidez del medio de crecimiento y de su CIC (Ernani, Steckling y Bayer, 2001). En cuanto al K, los bajos contenidos en el sustrato se asocian a la lixiviación y a la absorción y translocación por parte del cultivo (Durán y Henríquez, 2007). Ansorena (1994) recomienda que cuando se utilice solución nutritiva se cuenten con sustratos de baja CIC ($<20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), bajo este enfoque, los sustratos con tratamiento de composta son los más apropiados para evitar pérdidas nutrimentales por efecto de lixiviado.

CONCLUSIONES

Los sustratos que contenían composta presentaron una baja relación C/N y una concentración mayor de K lo que propició una mayor concentración de K en la parte vegetal.

Los sustratos con composta y mayor contenido de mezcla mineral ($80 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}$) presentaron un incremento en el Mg y Ca por la presencia de la dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], aumentando la disponibilidad de estos elementos en el sustrato y su concentración en la planta.

El uso de composta provocó un aumento en la CIC de los sustratos, en conjunto con la acción de la zeolita de la mezcla mineral, provocando incrementos en la concentración vegetal de Ca.

Los sustratos que no contenían composta y mezcla mineral presentaron niveles bajos de Ca, Mg, P y N.

La disminución del tamaño en las partículas de los sustratos se vio afectado por el mayor contenido de partículas pequeñas de la mezcla mineral (0.1 a 0.8 mm) provocando una disminución en la porosidad de aireación y aumentando la porosidad de retención de humedad.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

El manuscrito no reporta estudios que involucran humanos ni animales. Por lo que la consideración “no aplica” en la sección correspondiente.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

El manuscrito no contiene datos que pertenecen a otras personas. Por lo que la consideración “no aplica” en la sección correspondiente.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos originales presentados en el manuscrito se encuentran en la tesis de Maestría en Ciencias del autor principal, misma que puede consultarse en el Centro de Documentación del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tiene intereses en competencia en esta sección.

FONDOS

Los fondos utilizados para el desarrollo y seguimiento experimental de campo y laboratorio fueron proporcionados por el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

El trabajo experimental de laboratorio y campo, así como el análisis de los datos fue realizado por el autor principal, V.M.M.J., así como el generador de la idea principal del trabajo en conjunto con el autor de correspondencia, el Dr. V.M.O.Ch. quien

también coordinó el seguimiento del experimento y de la redacción del manuscrito. La M.C. A.R.B. y el Dr. G.S.B.V. coordinaron la parte experimental en el laboratorio y con la revisión del manuscrito, el Dr. J.M.A.T. asesoró en la parte del diseño experimental y análisis estadísticos.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el financiamiento de la Beca de estudios de Maestría en Ciencias del autor principal.

LITERATURA CITADA

- Abad B., M. (1993). Sustratos. Características y propiedades. En F. Cánovas, & J. R. Díaz. (Eds.). *Cultivo sin suelo. Curso superior de especialización* (pp. 47-62). Almería, España: Instituto de Estudios Almerienses. FIAPA.
- Abad B., M. (1995). Sustratos para el cultivo sin suelo. En F. Nuez (Ed.). *El cultivo del tomate* (pp. 131-166). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Abad B., M., & Noguera, P. (1998). Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En C. Cadahia López (Ed.). *Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales* (pp. 282-342). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Abad B., M., Noguera, P., & Burés, S. (2001). National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology*, 77(2), 197-200. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00152-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00152-8)
- Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L. I., & Gómez-Merino, F. C. (2016). *Nutrición de cultivos* (2ª ed.). México: Bba (Biblioteca Básica de Agricultura). ISBN: 9786077153245.
- Allaway, W. H. (1945). Availability of replaceable calcium from different types of colloids as affected by degree of calcium saturation. *Soil Science*, 59(3), 207-218.
- Ansorena Miner, J. (1994). *Sustratos. Propiedades y caracterización*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Bekker, A. W., Hue, N. V., & Chase, R. G. (1994). Effects of liming, K fertilization and leaching on K retention, nutrient uptake and dry matter production of maize grown on a Samoan Oxic Inceptisol. *Fertilizer Research*, 38, 123-130.
- Berenguer, J. J., Escobar, I., & Cuartero, J. (2003). Gastos de cultivos de tomate tipo cereza en invernadero. *Actas de Horticultura*, 39, 47-48.
- Burés-Pastor, S. (1997). *Sustratos*. Madrid, España: Ed. Agrotécnicas S. L.
- Cabrera, R. I. (1998). Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5(1), 5-11. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.1998.03.025>
- Castillo, A. E., Quarín, S. H., & Iglesias, M. C. (2000). Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura Técnica*, 60(1), 74-79. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072000000100008>
- Cavins, T. J., Whipker, B. E., Fonteno, W. C., Harden, B., McCall, I., & Gibson, J. L. (2000). *Monitoring and managing pH and EC using the pourthru extraction method* [Horticulture information leaflet 590]. North Carolina State University.
- Coss y Leon Monterde, H. J., del Campo Moreno, C. I. M., Loza LLamas, J. A., Durand Moreno, L. C., Monteros Curiel, E., & Lopez Alcoser, E. (2015). Tratamiento de sustrato de bovino y producción de biogás en un biodigestor continuo con lombricomposta. *e-Gnosis*, 13, 1-16.
- De Boodt, M., Verdonck O., & Cappaert, I. (1974). Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. *Acta Horticulturae*, 37, 2054-2063. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1974.37.20>
- Durán, L., & Henríquez, C. (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 31(1), 41-51.
- Ernani, P.R., Steckling, C., & Bayer, C. (2001). Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25(4), 939-946. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000400017>
- Farnham, D. S., Hasek, R. F., & Paul, J. L. (1985). *Water quality. Its effects on ornamental plants* [Cooperative Extension Leaflet No. 2995]. University of California, USA.
- Fassbender, H. W. (1969). Retención y transformación de fosfatos en 8 latosoles de la Amazonia del Brasil. *Fitotecnia Latinoamericana*, 6(1), 1-10.
- Fassbender, H. W. (1975). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina* (1ra. ed.). San José, Costa Rica: Talleres gráficos de Trejos Hnos. Sucs., S. A.
- Fassbender, H. W., & Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina* (2da ed.). San José, Costa Rica: Talleres gráficos de Trejos Hnos. Sucs., S. A.
- Fernández L., L. C., Rojas A., N. G., Roldán C., T. G., Ramírez I., M. E., Zegarra M., H. G., UribeH., R., ... Arce O., J. M. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. México: SEMARNAT-INEC-IMP. ISBN: 968-489-039-7.
- Gallardo-Lancho, J. F. (2001). *Mineralización y humificación de la materia orgánica del suelo: Consecuencias sobre la contaminación*. En Memorias del X Congreso de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Uso de microorganismos en la agricultura: materia orgánica, mito o realidad? (pp. 141-153). Medellín, Colombia: SCCS.
- González-Eguiarte, D. R., Alcalde B., S., Ortíz C., J., & Castillo M., A. (1991). Análisis de la dinámica de producción de materia seca y extracción de nitrógeno fósforo y potasio en trigo cultivado bajo diferentes ambientes. *Agrociencia*, 2, 81-95.
- Guerrero-Ortiz, P. L., Quintero-Lizaola, R., Espinoza-Hernández, V., Benedicto-Valdés, G. S., & Sánchez-Colín, M. J. (2012). Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de *Lupinus*. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 355-362.
- Gutiérrez-Castorena, M. C., Hernández-Escobar, J., Ortiz-Solorio, C. A., Anicua-Sánchez, R., & Hernández-Lara, M. E. (2011). Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(3), 183-196. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.17.029>

- Handreck, K. A., & Black, N. D. (1994). Growing media ornamental plants and turf. Sydney, Australia: University of New South Wales Press.
- Hernández, I. M., Arozarena, N. J., & Chailloux, M. (2009). Rango crítico de nitrógeno y potasio en hojas indicadoras para dos épocas de plantación en el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido HA-3019. *Cultivos Tropicales*, 30(4), 79-86.
- Horneck, D. A., & Miller, R. O. (1998) Determination of total nitrogen in plant tissue. In Y. P. Kalra (Eds.). *Handbook of reference methods for plant analysis, soil and plant analysis council, Inc.* (pp. 75-83). Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- Incrocci, L., Pardossi, A., Campiotti, C. A., Balducci, R., & Giunchi, L. (2003). Energy, water and fertilizer requirement of a closed loop soilless culture of greenhouse cherry tomato in Sicily. *Acta Horticulturae*, 614(26), 189-192. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.614.26>
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (1990). The container tree nursery manual. *Vol. II Containers and growing media. Agric. Handbook. 674*. Washington, DC, USA: USDA, Forest Service.
- Lemaire, F. (1997). The problem of biostability in organic substrates. *Acta Horticulturae*, 450, 63-69. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.450.6>
- Lindsay, W. L. (1979). *Chemical equilibria in soils*. New York, NY, USA: Wiley.
- López M., J. D., Díaz E., A., Martínez R., E., & Valdez C., R. D. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz. *Terra*, 19(4), 293-299.
- Melgar-Ramírez, R., & Pascual-Alex, M. I. (2010). Characterization and use of a vegetable waste vermicompost as an alternative component in substrates for horticultural seedbeds. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(4), 1174-1182. <https://doi.org/10.5424/sjar/2010084-1407>
- Morales-Mungía, J. C., Fernández-Ramírez, M. V., Montiel-Cota, A., & Peralta-Beltrán, B. C. 2009. Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *BIOtecnica*, 11(1), 19-26. <https://doi.org/10.18633/bt.v11i1.49>
- Moreno R., A., Aguilar D., J., & Luévano G., A. (2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 29, 763-774.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, & M. E. Sumner (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 3 Chemical methods*, 5.3. (pp. 961-1010). Madison, WI, USA: SSSA Book Series, John Wiley & Sons.
- NOM-021-SEMARNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). (2002). Antes NOM-021-RECNAT- 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. D. F., México: SEGOB.
- Page, A. L. (1982). *Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties* (2nd ed.). Madiso, WI, USA: ASA-SSSA. ISBN: 0-89118-072-9.
- 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, 55-63.
- Rodríguez Macías, R., Alcantar González, E. G., Iñiguez Covarrubias, G., Zamora Natera, F., García López, P. M., Ruiz López, M. A., & Salcedo Pérez, E. (2010). Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia*, 35(7), 515-520.
- Rubio M., D. (1977). La utilización del estiércol en la agricultura y su uso potencial en la Comarca Lagunera. *INIFAP-CIANO. Seminarios Técnicos*, 4(5), 22.
- Salazar-Sosa, E., Trejo-Escareño, H. I., Vázquez-Vázquez, C., & López-Martínez, J. D. (2007). Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. *Phyton*, 76, 169-185.
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1994). *Fisiología vegetal*. México: Grupo Editorial Iberoamericano S.A. de C.V.
- Sánchez-Hernández, R., Ordaz Ch., V. M., Benedicto V., G. S., Palma L., D. J., & Sánchez B., J. (2007). Chemical characteristics of several vermicompost in México. *Compost Science & Utilization*, 15(1), 47-52. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2007.10702310>
- SAS Institute. (2011). *SAS for windows. Release STAT 9.3*. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1947). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>