

EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN MEZCLAS DE TEZONTLE CON ASERRÍN NUEVO Y RECICLADO

Juan Manuel Vargas-Canales¹; Ana María Castillo-González¹;
Joel Pineda-Pineda^{2*}; José Armando Ramírez-Arias³; Edilberto Avitia-García¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, Instituto de Horticultura. km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, MÉXICO. C. P. 56230.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, MÉXICO. C. P. 56230.

Correo-e: pinedaj Joel@yahoo.com.mx (*Autor para correspondencia).

³Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Preparatoria Agrícola. km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, MÉXICO. C. P. 56230.

RESUMEN

Los sistemas de producción en condiciones de invernadero e hidroponía permiten realizar una fertilización diaria, en función del ciclo de cultivo, del sustrato y del agua de riego. Actualmente se está utilizando el aserrín de pino como sustrato en la producción de cultivos en estas condiciones de forma exitosa, razón por la cual se evaluó el efecto de mezclas (v/v) de tezontle con aserrín nuevo y reciclado en la producción y extracción nutrimental de jitomate. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos: T1, tezontle; T2, tezontle/aserrín reciclado (20/80); T3, tezontle/aserrín reciclado (30:70); T4, tezontle/aserrín nuevo (20:80), y T5, tezontle/aserrín nuevo (30:70). Las tasas máximas de absorción se presentaron entre los 60 y los 136 días después del trasplante (ddt), con una tendencia similar en la dinámica de extracción, superior al 70 % para todos los nutrientes en orden decreciente $K > N > Ca > P > Mg$. Los resultados indican que las mezclas de tezontle/aserrín reciclado producen el mismo rendimiento de fruto y eficiencia en la absorción de nutrientes que el tezontle y mezclas de tezontle/aserrín nuevo. Esto demuestra que el reciclaje del sustrato es una alternativa viable que con el manejo adecuado se pueden mantener rendimientos óptimos durante varios ciclos de cultivo.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Sustrato, reutilización, eficiencia nutrimental, nutrición mineral.

NUTRIENT EXTRACTION OF TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) IN MIXTURES OF VOLCANIC ROCK WITH FRESH AND RECYCLED SAWDUST

ABSTRACT

Hydroponic or greenhouse production systems allow daily fertilization of vegetable crops, depending on its life cycle, substrate and available water. Sawdust is currently being used successfully as substrate in crop production and for this reason we evaluate the effect of mixtures (v/v) of volcanic rock with fresh and recycled sawdust in production and nutrient extraction of tomato. A completely randomized design was used with five different treatments, T1: volcanic rock, T2: volcanic rock/recycled sawdust (20/80), T3: volcanic rock/recycled sawdust (30/70), T4: volcanic rock/fresh sawdust (20/80) and T5: volcanic rock/fresh sawdust (30/70). The maximum absorption rate occurred between 60 and 136 days after transplanting (DAT), with a similar pattern in the extraction dynamics, higher than 70 % in all treatments in a decreasing order $K > N > Ca > P > Mg$. The results indicate that mixtures of volcanic rock/recycled sawdust produce an equal fruit yield and efficiency of nutrient uptake than volcanic rock and mixtures of volcanic rock/fresh sawdust. This indicates that recycling the growing media is a viable alternative and may provide higher yields during several crops cycles if management is appropriate.

ADDITIONAL KEYWORDS: Growing media, reuse, nutrient efficiency, mineral nutrition.

INTRODUCCIÓN

En México se están extendiendo rápidamente los sistemas de producción de hortalizas en condiciones de invernadero e hidroponía (Pineda *et al.*, 2012). Estos sistemas de producción permiten realizar una fertilización diaria, en función del ciclo del cultivo, del sustrato y del agua de riego. Además, permiten el reciclaje de la solución nutritiva y ajustar la composición nutrimental, la conductividad eléctrica y el pH. En algunos casos también se incorporan sustancias para evitar enfermedades radicales (Resh, 1998; Marfá, 2000). Sin embargo, en ciertas zonas el uso excesivo de fertilizantes ha generado graves problemas de contaminación (Urrestarazu, 2004). Esta situación ha obligado a buscar alternativas que reduzcan la emisión de contaminantes, tanto en los lixiviados como en los materiales desechados después de que finalizan los ciclos de cultivo. La meta actual de alcanzar y mantener una agricultura sostenible se basa en el conocimiento total de estos sistemas. Por ello, es importante realizar investigaciones precisas sobre estrategias de manejo que permitan el reciclaje de la solución nutritiva y la reutilización de sustratos para reducir el uso de agroquímicos y aumentar la eficiencia de utilización de nutrimentos y agua, así como optimizar la formulación, utilización y manejo de los sustratos de cultivo. En este sentido, los esfuerzos dirigidos al uso de sustratos alternativos procedentes de recursos renovables (por ejemplo: subproductos agrícolas y forestales como aserrines, cortezas, fibras vegetales, y también recursos mineros de alta disponibilidad como materiales volcánicos porosos que no requieran algún procesamiento artificial) contribuirán a una mayor sostenibilidad de los sistemas de cultivo sin suelo (Marfá, 2000).

El aserrín es un subproducto de la industria aserradora que se ha utilizado como sustrato de cultivo durante los últimos 25 años, debido a que con un buen manejo puede competir con otros sustratos, que comparativamente tienen disponibilidad limitada (Handreck y Black, 2005; Raviv y Lieth, 2008). Normalmente los subproductos de la madera requieren de un proceso de compostaje o de maduración (envejecimiento) previo a su uso como sustrato hortícola (Maher *et al.*, 2008). Sin embargo, esto incrementa su costo y disminuye los volúmenes que pueden ser utilizados en las mezclas de materiales que conforman al sustrato. Considerando lo anterior, se estudió la dinámica de absorción de nutrimentos en jitomate cultivado en hidroponía con diferentes mezclas de sustratos formados con tezontle y aserrín nuevo y reciclado, después de usarse como sustrato durante dos ciclos de cultivo con jitomate, de ocho meses cada uno.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en un invernadero con cubierta de polietileno con una transmitancia de radiación solar del 90 %, con un diseño tipo sierra ubicado en la Universidad Autónoma Chapingo, localizada en las coordenadas 19° 20' latitud norte, 98° 53' longitud oeste, a 2240 msnm. Se utilizó

INTRODUCTION

Vegetable production systems under hydroponic and greenhouse conditions are rapidly expanding in Mexico (Pineda *et al.*, 2012). These systems allow daily production fertilization of vegetable crops, depending on life cycle, substrate and available water. These systems also allow recycling the nutrient solution to adjust nutritional composition, electrical conductivity and pH. In some cases, chemical and organic substances are also incorporated to avoid root diseases (Resh, 1998; Marfá, 2000). However, in certain areas, the excessive use of fertilizers has caused serious pollution problems (Urrestarazu, 2004). This situation has forced to seek alternatives to reduce the emission of pollutants, both leachates and waste materials after ending crop cycles. The current goal of achieving and maintaining a sustainable agriculture is based on the full knowledge of these systems. Therefore, it is important to perform accurate research on management strategies for recycling nutrient solution and reusing substrates to reduce the use of agrochemicals and increase the use of nutrients and water as well as optimizing design, use and management of growing media. In this sense, efforts directed to the use of alternative substrates from renewable resources (e.g. agricultural and forestry products such as sawdust, bark, plant fibers, and mineral resources of high availability such as porous volcanic materials that do not require any artificial processing) will contribute to more sustainable soilless culture systems (Marfá, 2000).

Sawdust is a byproduct, from the sawmill industry, which has been used as a growing media for the past 25 years, because with good management, it can compete with other substrates that have comparatively limited availability (Handreck and Black, 2005; Raviv and Lieth, 2008). Wood byproducts usually require composting or maturing (aging) process prior to use as a horticultural substrate (Maher *et al.*, 2008). However, this increases the cost and reduces the volume that can be used in mixtures of materials that form the substrate. Considering the above, we study the dynamics of nutrient uptake in tomato grown under hydroponic conditions with different substrate mixtures formed with volcanic rock and fresh sawdust and recycled sawdust after being used as a substrate for two crop cycles with tomato (eight months each).

MATERIALS AND METHODS

This research was conducted in a greenhouse with polyethylene cover with solar radiation transmittance of 90 %, with a mountain design located at the Universidad Autónoma Chapingo, coordinates 19° 20' N, 98° 53' W, and altitude of 2240 m. The hybrid tomato Rafaello type saladette was used in this study, sowing took place on April 13, 2010 using polystyrene trays with 200 cavities, which were disinfected with sodium hypochlorite at 5 %. A mixture of previously moistened *Kekkila was used as substrate. We

el híbrido de jitomate Rafaello tipo saladette, la siembra se llevó a cabo el día 13 de abril de 2010, en charolas de poliestireno de 200 cavidades, que fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 5 %. Como sustrato se utilizó una mezcla de la marca comercial *Kekkila previamente humedecido. Se colocó una semilla por cavidad y se dio un riego de saturación. El trasplante se realizó 32 días después de la siembra, en bolsas de polietileno con 15 litros de la mezcla de sustrato correspondiente a cada tratamiento. Se trasplantaron dos plantas en cada bolsa, con una densidad de 4 plantas·m⁻², en un sistema hidropónico abierto.

Se formaron diferentes mezclas de tezontle con aserrín (v/v) para evaluar los siguientes tratamientos: T1, tezontle; T2, tezontle/aserrín reciclado (20/80); T3, tezontle/aserrín reciclado (30/70); T4, tezontle/aserrín nuevo (20/80), y T5, tezontle/aserrín nuevo (30/70). Para todas las mezclas se utilizó tezontle nuevo con un tamaño de partícula < 6 mm. En el Cuadro 1 se presentan las características físicas obtenidas en laboratorio de las mezclas de aserrín nuevo y aserrín reciclado de dos periodos de cultivo de jitomate.

Las soluciones nutritivas se prepararon de acuerdo con los requerimientos medios del cultivo reportados por Urrestarazu (2004) y Steiner (1984). La primera (Cuadro 2) se aplicó durante los primeros 60 ddt, y la segunda (Cuadro 3), a partir del día 61 ddt hasta los 136 ddt (cuando finalizó el experimento). La concentración (mg·litro⁻¹) de micro nutrientes en la solución nutritiva utilizada durante todo el ciclo de cultivo fue la siguiente: Fe, 3; Mn, 0.5; Cu, 0.1; Zn, 0.1; B, 0.6.

placed one seed per cavity and provided saturation irrigation. The transplant was performed 32 days after sowing using polybags containing 15 liters of the substrate mixture corresponding to each treatment. Two plants were transplanted into each bag, with a density of 4 plants·m⁻² in an open hydroponic system.

Different mixtures of volcanic rock with sawdust (v/v) were prepared to evaluate the following treatments: T1: volcanic rock, T2: volcanic rock/recycled sawdust (20/80), T3: volcanic rock/recycled sawdust (30/70), T4: volcanic rock/fresh sawdust (20/80) and T5: volcanic rock/fresh sawdust (30/70). All mixtures had fresh volcanic rock with a particle size < 6 mm. Table 1 shows the physical characteristics obtained in the laboratory from mixtures of fresh and recycled sawdust of two tomato growing seasons of eight months each.

Nutrient solutions were prepared according to the mean requirements of the crop reported by Urrestarazu (2004) and Steiner (1984). The first (Table 2) was applied during the first 60 DAT, and the second (Table 3) from day 61 DAT to 136 DAT (when the experiment ended). The concentration (mg·liter⁻¹) of micro nutrients in the nutrient solution used throughout the crop cycle was as follows: Fe, 3; Mn, 0.5; Cu, 0.1; Zn, 0.1; B, 0.6.

We used a completely randomized experimental design with three replications; the experimental unit was a pot with two plants. Five destructive sampling with intervals of 25 to 30 days were performed. At each sampling, three plants

CUADRO 1. Características físicas de las mezclas de tezontle con aserrín nuevo y aserrín reciclado utilizadas en la producción de jitomate.

TABLE 1. Physical properties of mixtures of volcanic rock with fresh and recycled sawdust used in the production of tomatoes.

Relación / Ratio T/A	CA / AC (%)	CRH / MHC (%)	EPT / TPS (%)	DA / BD (g·cm ⁻³)
Tezontle / Volcanic rock	8.8	37.8	46.6	1.2
20/80 R	7.7	70.7	78.3	0.3
30/70 R	5.1	68.4	73.5	0.5
20/80 N	10.8	49.7	60.5	0.1
30/70 N	12.0	47.9	59.9	0.2
Sustrato ideal ^z / Ideal substrate ^z	10-12	55-70	70-85	1.0-1.5
Sustrato ideal ^y / Ideal substrate ^y	15-30	55-70	> 85	<0.4
Sustrato ideal ^x / Ideal substrate ^x	10-20	16-55	50-95	0.09-1.5

^zCabrera (1999); ^yAbad *et al.* (2004); ^xBunt (1988). A: aserrín, T: tezontle, R: reciclado, N: nuevo, CA: capacidad de aireación, CRH: capacidad de retención de humedad, EPT: espacio poroso total, DA: densidad aparente.

^zCabrera (1999); ^yAbad *et al.* (2004); ^xBunt (1988). A: sawdust, T: volcanic rock, R: recycled, N: fresh, AC: aeration capacity, MHC: moisture holding capacity, TPS: total pore space, BD: bulk density.

CUADRO 2. Solución nutritiva de macronutrientes utilizada durante los primeros 60 días de cultivo de jitomate en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y aserrín reciclado.

TABLE 2. Macronutrient nutrient solution used during the first 60 days of tomato grown in mixtures of volcanic rock with fresh and recycled sawdust.

Fertilizante / Fertilizer	Cationes (meq·litro ⁻¹) / Cations (meq·liter ⁻¹)					Aniones (meq·litro ⁻¹) / Anions (meq·liter ⁻¹)		
	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	H ⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O		6				6		
NH ₄ H ₂ PO ₄				0.5			0.5	
KNO ₃	4					4		
K ₂ SO ₄	1							1
MgSO ₄ ·7H ₂ O			3					3
H ₃ PO ₄					0.5		0.5	
H ₂ SO ₄					1.0			1
Subtotal	5	6	3	0.5	1.5	10	1	5
Total aniones-cationes / Total anions-cations			16				16	

CUADRO 3. Solución nutritiva de macro nutrientes utilizada a partir de los 61 días después del trasplante de jitomate cultivado en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y aserrín reciclado.

TABLE 3. Macronutrient nutrient solution used starting the 61 day after transplanting tomato grown in mixtures of volcanic rock with fresh and recycled sawdust.

Fertilizante / Fertilizer	Cationes (meq·litro ⁻¹) / Cations (meq·liter ⁻¹)					Aniones (meq·litro ⁻¹) / Anions (meq·liter ⁻¹)		
	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	H ⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O		8				8		
NH ₄ H ₂ PO ₄				1			1.0	
KNO ₃	4					4		
K ₂ SO ₄	2							2
MgSO ₄ ·7H ₂ O			4					4
H ₃ PO ₄					0.5		0.5	
H ₂ SO ₄					1.0			1
Subtotal	6	8	4	1	1.5	12	1.5	7
Total aniones-cationes / Total anions-cations			20.5				20.5	

Se usó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, donde la unidad experimental fue una maceta con dos plantas. Se realizaron cinco muestreos destructivos con intervalos de 25 a 30 días. En cada muestreo se extrajeron tres plantas por tratamiento, se colocaron en una bolsa de papel e inmediatamente se llevaron al laboratorio, donde se lavaron y se separaron en tallo, hojas, flores y frutos para determinar peso fresco (g). Se colocaron en bolsas identificadas y se colocaron en la estufa de secado con aire circulante forzado a una temperatura promedio de 70 °C durante 72 horas o hasta obtener peso seco constante (g) (Alcántar y Sandoval, 1999). Se molieron por separado en un molino de acero inoxidable tipo Willey con malla de 1 mm, se colocaron las muestras en sobres etiquetados y posteriormente se determinó la concentración (%) de nutrimentos (N, P, K, Ca y Mg).

Determinación de nutrimentos

La determinación de nutrimentos se realizó en tallo, hojas, flores y frutos. Se usaron 0.5 g de materia seca, que se sometieron a una digestión húmeda con una mezcla de solución diácida (ácido sulfúrico y ácido perclórico en relación 4:1) y 2 ml de peróxido de hidrógeno al 30 %. Después de la digestión se aforó a 50 ml con agua deionizada. La determinación de la concentración de nitrógeno se hizo por el método de microkjeldahl (Chapman y Pratt, 1973). La concentración de P se determinó por el método de molibdovanadato amarillo (Chapman y Pratt, 1973) leyendo la absorbancia a 470 nm en un espectrofotómetro Thermo Spectronic modelo Genesys 10 UV. Las concentraciones de K, Ca y Mg se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, en un espectrofotómetro modelo SpectrAA 220 de Varian (Australia).

Análisis de datos

Los gráficos se realizaron con el paquete computacional Microsoft Office Excel 2010 y Sigma Plot versión 10.0, y los análisis de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), con el paquete estadístico SAS versión 9.1.3 (Anónimo, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acumulación de materia seca

De acuerdo con la fenología del cultivo la acumulación y distribución de materia seca por órgano en los cinco tratamientos evaluados, presentaron una tendencia similar entre sí a lo largo del ciclo de cultivo (Figura 1) sin presentar diferencias significativas entre tratamientos, mostrando una mayor acumulación a partir de los 61 ddt, lo que coincidió con el desarrollo de los frutos. En términos generales, la acumulación de materia seca describe el comportamiento típico de cualquier organismo biológico (Nobel, 2009) indicando que el estado nutrimental, las condiciones ambientales y el manejo fueron similares, pero sobre todo que los tratamientos no afectaron la acumulación de biomasa.

per treatment were removed and placed in a paper bag and immediately brought to the laboratory, where plants were washed and separated into stem, leaves, flowers and fruits to determine fresh weight (g). Samples were placed in bags and placed in the drying oven with forced air circulation at an average temperature of 70 °C for 72 hours or until constant dry weight (g) (Alcántar and Sandoval, 1999). Samples were ground separately using a stainless steel mill type Willey with mesh of 1 mm, the samples were placed in labeled envelopes and the concentration (%) of nutrients (N, P, K, Ca y Mg) was determined.

Determining nutrients

Nutrients were determined on stem, leaves, flowers and fruits. A total of 0.5 g dry matter were submitted to a wet digestion with a mixture of diacidic solution (sulfuric acid and perchloric acid in a 4:1 ratio) and 2 ml of hydrogen peroxide at 30 %. After digestion the sample was gauged to 50 ml with deionized water. Nitrogen concentration was determined by the Micro-Kjeldahl method (Chapman and Pratt, 1973). P concentration was determined by the method of yellow molybdovanadate (Chapman and Pratt, 1973) reading the absorbance at 470 nm using a Thermo Spectronic model Genesys 10 UV. K, Ca and Mg concentrations were determined by atomic absorption spectrophotometry using a spectrophotometer model SpectrAA 220 of Varian (Australia).

Data analysis

The graphics were performed using the software Microsoft Office Excel 2010 and Sigma Plot version 10.0, and mean comparison tests of Tukey ($P \leq 0.05$) were performed using the statistical software SAS version 9.1.3 (Anonymous, 2006).

RESULTS AND DISCUSSION

Dry matter accumulation

Accumulation and distribution of dry matter per organ in the five treatments evaluated, according to crop phenology, showed a similar trend to each other along the crop cycle (Figure 1), without significant differences between treatments, showing a greater accumulation from 61 DAT, which coincided with the development of the fruits. In general, dry matter accumulation describes the typical behavior of any biological organism (Nobel, 2009) indicating that nutritional status, environmental conditions and management were similar, but especially the treatments did not affect biomass accumulation.

Stem and leaves showed the greatest accumulation of dry matter; then a dominant accumulation in flowers and fruits, which accounted for more than 60 % in all treatments, 30 % in the case of leaves and less than 10 % for stem (Figure 2).

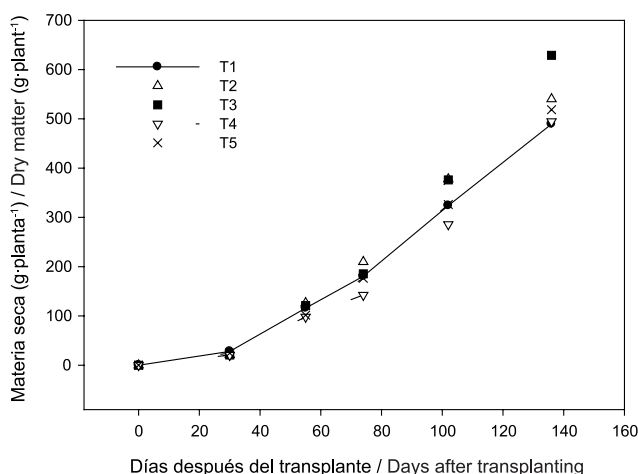


FIGURA 1. Acumulación de materia seca en jitomate cultivado en mezclas (v/v) de tezontle con aserrín nuevo y aserrín reciclado. Tezontle (T1), 20/80 tezontle/aserrín reciclado (T2), 30/70 tezontle/aserrín reciclado (T3), 20/80 tezontle/aserrín nuevo (T4) y 30/70 tezontle/aserrín nuevo (T5).

FIGURE 1. Dry matter accumulation in tomato grown in mixtures (v/v) of volcanic rock with fresh and recycled sawdust. Volcanic rock (T1), 20/80 volcanic rock/recycled sawdust (T2), 30/70 volcanic rock/recycled sawdust (T3), 20/80 volcanic rock/fresh sawdust (T4) and 30/70 volcanic rock/fresh sawdust (T5).

La mayor acumulación de materia seca la presentaron el tallo y las hojas; posteriormente inició una acumulación dominante en flores y frutos, que representó en todos los tratamientos más de 60 %, un 30 % para el caso de hoja y menos de 10 % para tallo (Figura 2).

Concentración de nutrimentos en hojas

Las plantas no presentaron síntomas visibles de deficiencia nutricional y los valores de concentración coinciden con los óptimos para jitomate reportados por Jones (1999) (Cuadro 4), por lo tanto se considera que las concentraciones obtenidas de cada nutrimento en las hojas se encuentran en los intervalos suficientes, indicando un buen abastecimiento nutricional.

Extracción de nutrimentos

La extracción de macronutrimentos en orden decreciente fue: $K > N > Ca > P > Mg$ (Cuadro 5). Las comparaciones de medias del contenido de N, P, K y Mg no presentaron diferencias significativas debido a efecto de tratamientos, salvo en el caso del Ca, el cual presentó los valores mayores de extracción nutricional en la mezcla tezontle/aserrín reciclado (30/70, v/v) y los valores menores en tezontle y mezcla tezontle/aserrín nuevo (30/70), como se observa en el Cuadro 5.

Nutrient concentration in leaves

Plants showed no visible symptoms of nutrient deficiency and concentration values are consistent with the optimal values for tomato reported by Jones (1999) (Table 4), therefore, it is considered that the obtained concentrations of each nutrient in leaves are in the suitable intervals, indicating a good nutritional supply.

Extraction of nutrients

The extraction of macronutrients in descending order was: $K > N > Ca > P > Mg$ (Table 5). Mean comparisons of the content of N, P, K and Mg showed no significant differences due to treatment effect except for Ca, which presented the highest values of nutrient removal for volcanic rock/recycled sawdust (30/70, v/v) mixture and the lowest values for volcanic rock and volcanic rock/fresh sawdust (30/70) mixture, as shown in Table 5.

These results are consistent with those reported by Urrestarazu (2004), who pointed out that there is an accumulation of Ca, Mg and S in the substrates as they are reused as substrate. This behavior, coupled with the optimal balance in the physical properties (Abad *et al.*, 2004; Cabrera, 1999) total pore space (TPS) and moisture holding (MHC) (Table 2) favored nutrient absorption in mixtures of volcanic rock with recycling sawdust.

Nitrogen

Figure 3 shows the dynamic of extraction of N in the different treatments. We can see that the extraction curve of this nutrient had a similar trend in all treatments until 60 DAT, keeping a steady increase. In the period between 61 and 136 DAT a differential behavior (Figure 3f) was observed, indicating that plants with higher recovery of N grow in mixtures (v/v) 20/80 and 30/70 of volcanic rock/recycled sawdust and in the mixture 20/80 of volcanic rock/fresh sawdust. Figure 3f shows a low demand for N in the first 60 DAT corresponding to the vegetative stage, because during the 61-136 DAT more than 70 % of the total N was extracted by the plant. This period corresponded to the simultaneous growth and development of foliage, inflorescences and fruits, when the demands of N are high (Nuez, 1995). This behavior agrees with that indicated by Pineda *et al.* (2011), who report a low nutrient demand in tomato during the first 40 DAT, resulting in a significant loss of nutrients through leaching. But after this date plants recovered more than 90 % of N supplied with the nutrient solution. Although no significant differences were observed, in general, nitrogen removal had higher numerical values in mixtures of volcanic rock with recycled sawdust, while the lowest values were consistently observed in the treatment with volcanic rock and volcanic rock/fresh sawdust mixtures (Table 5).

Phosphorus

Figure 4 shows that in general the dynamic of accumulation of P in the plant tissue was similar for the different treat-

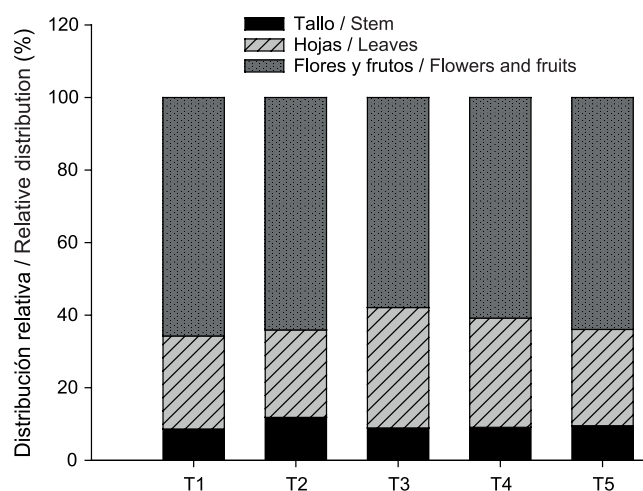


FIGURA 2. Distribución relativa de la materia seca total por órgano en jitomate cultivado en mezclas (v/v) de tezontle con aserrín nuevo y aserrín reciclado. Tezontle (T1), 20/80 tezontle/aserrín reciclado (T2), 30/70 tezontle/aserrín reciclado (T3), 20/80 tezontle/aserrín nuevo (T4) y 30/70 tezontle/aserrín nuevo (T5).

FIGURE 2. Relative distribution of total dry matter per organ in tomato grown in mixtures (v/v) of volcanic rock with fresh and recycled sawdust. Volcanic rock (T1), 20/80 volcanic rock/recycled sawdust (T2), 30/70 volcanic rock/recycled sawdust (T3), 20/80 volcanic rock/fresh sawdust (T4) and 30/70 volcanic rock/fresh sawdust (T5).

ments. It is observed that the nutritional demand increased from 40 DAT, which coincided with the development of flowers and fruits, because it is an essential nutrient for cell division during flowering and fertilization in the reproductive stage (Marschner, 2012; Mengel and Kirkby, 2001). It is observed that over 80 % of the total absorption of P occurred after 60 DAT in the five treatments. Although there were no significant differences among treatments (Table 5), mixtures (v/v) 30/70 volcanic rock/recycled sawdust, 20/80 volcanic rock/fresh sawdust and 20/80 volcanic rock/recycled sawdust showed the highest values in demand of P, in contrast, volcanic rock and the mixture 30/70 volcanic rock/fresh sawdust had the lowest demand.

Potassium

Figure 5 shows that the dynamic of extraction of K was similar in all treatments. Greater extraction is shown from the 80 DAT, stage that coincided with the development of fruit and moment in which over 70 % of total absorbed K was extracted. It is well documented that K is decisive for growth and development of tomato fruit (Jones, 1999; Nuez, 1995; Marschner, 2012).

Like in the case of N and P from the 61 DAT, a differential trend among treatments (Figure 5j) was observed, where the mixtures 20/80 and 30/70 of volcanic rock/recycled sawdust showed increased efficiency in the recovery of K, suggesting a greater availability of nutrients compared to treatments of volcanic rock and mixtures 20/80 and 30/70 of volcanic

CUADRO 4. Valores de concentración de macronutrientes en materia seca de hojas de jitomate.

TABLE 4. Macronutrient concentration values in dry matter of tomato leaves.

Nutrimiento / Nutrient	^y Intervalo normal / ^y Normal interval (%)	^z Valores encontrados / ^z Values obtained (%)
Nitrógeno / Nitrogen	2.8 – 6.0	3.3
Fósforo / Phosphorus	0.3 – 0.9	0.7
Potasio / Potassium	2.5 – 6.0	3.5
Magnesio / Magnesium	0.4 – 1.3	0.8
Calcio / Calcium	0.9 – 7.2	3.6

^yJones (1999).

^zPromedio general de la concentración nutrimental en hojas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) de todos los tratamientos.

^yJones (1999).

^zOverall average of the nutrient concentration in leaves of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in all treatments.

CUADRO 5. Comparación de medias del contenido de macro nutrientes en jitomate cultivado en mezclas (v/v) de tezontle con aserrín nuevo y aserrín reciclado.

TABLE 5. Comparison of means of macro nutrient content of tomato grown in mixtures (v/v) of volcanic rock with fresh and recycled sawdust.

Tratamiento / Treatment	Nitrógeno / Nitrogen	Fósforo / Phosphorus	Potasio / Potassium	Calcio / Calcium	Magnesio / Magnesium
Mezcla / Mixture T/A	----- gramos por planta / grams per plant -----				
Tezontle / Volcanic rock	7.4 a	2.6 a	15.4 a	6.3 b	1.4 a ^z
20/80 R	9.1 a	3.6 a	19.2 a	6.9 ab	1.4 a
30/70 R	10.0 a	4.2 a	22.5 a	9.5 a	1.3 a
20/80 N	10.3 a	3.2 a	17.6 a	8.0 ab	1.1 a
30/70 N	8.5 a	2.8 a	15.2 a	6.3 b	1.1 a

^zMedias con las mismas letras no difieren de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). T: tezontle, A: aserrín, R: reciclado, N: nuevo.

^zMeans with the same letters do not differ according to Tukey test ($P \leq 0.05$). T: volcanic rock, A: sawdust, R: recycled, N: fresh.

Estos resultados son congruentes con lo reportado por Urrestarazu (2004), quien indica que existe una acumulación de Ca, Mg y S en los sustratos a medida que se reutilizan como medios de crecimiento. Este comportamiento, aunado al balance óptimo en las propiedades físicas (Abad *et al.*, 2004; Cabrera, 1999) espacio poroso total (EPT) y retención de humedad (CRH) (Cuadro 2) favorecieron la absorción nutrimental en las mezclas de tezontle con aserrín reciclado.

Nitrógeno

En la Figura 3 se presenta la dinámica de extracción de N en los distintos tratamientos. Se observa que la curva de extracción de este nutriente tuvo una tendencia similar en todos los tratamientos hasta los 60 ddt, manteniéndose un incremento constante. En el periodo comprendido entre los 61 y los 136 ddt se presentó un comportamiento diferencial (Figura 3f) lo cual indica que las plantas con mayor recuperación de N crecieron en las mezclas (v/v) 20/80 y 30/70 de tezontle/aserrín reciclado y la mezcla 20/80 de tezontle/aserrín nuevo. Se observa (Figura 3f) una baja demanda de N en los primeros 60 ddt que corresponden a la etapa vegetativa, ya que durante los 61 a 136 ddt se extrajo más de 70 % del N total demandado por la planta. Este periodo correspondió al crecimiento y desarrollo simultáneo de follaje, inflorescencias y frutos, cuando las exigencias de N son altas (Nuez, 1995). Este comportamiento coincide con lo indicado por Pineda *et al.* (2011), quienes reportan una baja demanda nutrimental en jitomate durante los primeros 40 ddt, lo que resulta en una pérdida importante de nutrientes por lixiviación. Pero después de esta fecha las plantas recuperaron más del 90 % del N suministrado con la solución nutritiva. Aunque no existieron diferencias significativas, en general la extracción de nitrógeno presentó valores numéricos mayores en las mezclas de tezontle con aserrín reciclado, mientras que los valores menores se observaron consistentemente en el tratamiento con tezontle y las mezclas tezontle/aserrín nuevo (Cuadro 5).

rock/fresh sawdust, which showed the lowest values in the extraction of K (Figure 5).

Calcium

Figures 6 shows the dynamic of extracting Ca, which generally was similar in all treatments until 60 DAT, but from 61 to 136 DAT a differential trend (Figura 6f) was observed, where mixtures 20/80 and 30/70 volcanic rock/recycle sawdust were the treatments with greater efficiency recovering Ca. This behavior is similar to that of N, P and K, suggesting a greater availability of nutrients in these mixtures. The opposite happened in volcanic rock and mixture 30/70 of volcanic rock/sawdust, which had the lowest values. The increase in total content of Ca over time shows that from 61 to 136 DAT more than 80 % of Ca was accumulated by the plant, which coincided with flowering, growth, development and harvest of fruits. These results describe the normal behavior of Ca in most plants: low requirements are observed in the initial stage, but as the plant develops demand is higher, and the highest concentrations are reached at the end of the crop cycle (Marschner, 2012; Barker and Pilbeam, 2007). It is important to note that, contrary to what is observed in other nutrients (N, P, K, Mg), Ca had significant differences among treatments. The greatest efficiency in the extraction of Ca is observed in the mixture 30/70 of volcanic rock/recycled sawdust and the lowest in volcanic rock and the mixture 30/70 of volcanic rock/fresh sawdust. This situation corresponds to the highest total pore space and moisture holding capacity in the mixture 70/30 of volcanic rock/recycled sawdust, and contrasts with the lowest values of these characteristics in the case of the mixture of volcanic rock and the mixture 70/30 of volcanic rock/fresh sawdust (Table 1). In this regard, Morard *et al.* (2000) show that when the availability of moisture is adequate and the calcium concentration in the nutritive solution is high (> 5 mM), absorption is given by a passive process coupled with the absorption of water during the day and root pressure overnight.

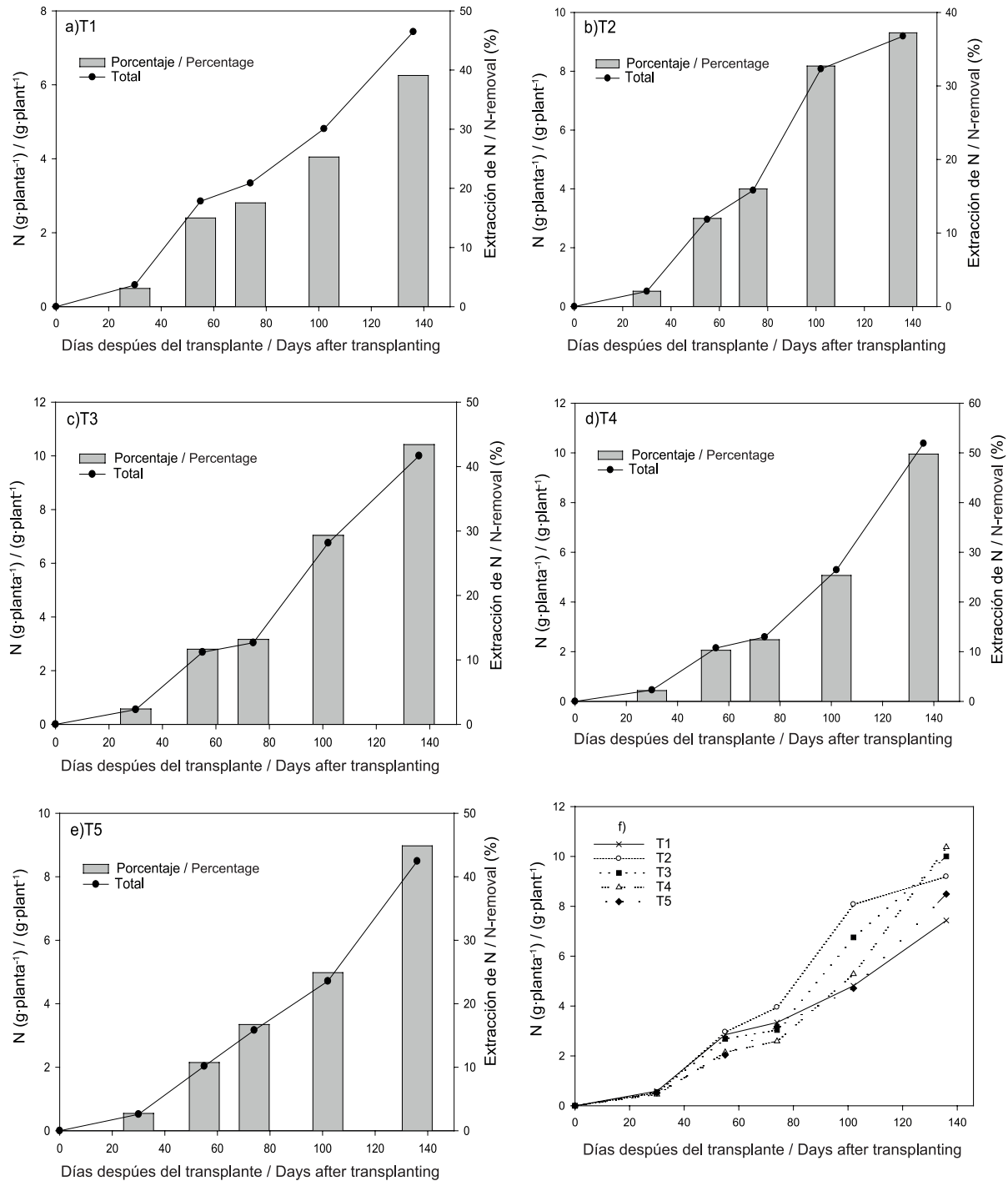


FIGURA 3. Extracción total y porcentaje de N en jitomate cultivado en mezclas (v/v) de tezontle con aserrín nuevo y aserrín reciclado. Tezontle (T1), 20/80 tezontle/aserrín reciclado (T2), 30/70 tezontle/aserrín reciclado (T3), 20/80 tezontle/aserrín nuevo (T4), 30/70 tezontle/aserrín nuevo (T5).

FIGURE 3. Total removal and percentage of N in tomato grown in mixtures (v/v) of volcanic rock with fresh and recycled sawdust. Volcanic rock (T1), 20/80 volcanic rock/recycled sawdust (T2), 30/70 volcanic rock/recycled sawdust (T3), 20/80 volcanic rock/fresh sawdust (T4) and 30/70 volcanic rock/fresh sawdust (T5).

Fósforo

La Figura 4 muestra que en general la dinámica de acumulación de P en el tejido vegetal fue similar en los diferentes tratamientos. Se observa que la demanda nutrimental se incrementó a partir de los 40 ddt, lo que coincidió con el desarrollo de flores y frutos, ya que es un nutrimento indispensable para la división celular durante la floración y fecundación en la etapa reproductiva (Marschner, 2012; Mengel y Kirkby, 2001). Se observa que más del 80 % de la absorción total de P se dio después de 60 ddt en los cinco tratamientos. Aunque no hubo diferencias significativa entre tratamientos (Cuadro 5), las mezclas (v/v) 30/70 de tezontle/serrín reciclado, 20/80 tezontle/aserrín nuevo y 20/80 tezontle/aserrín reciclado presentaron los valores mayores en la demanda de P; en contraste, tezontle y la mezcla 30/70 de tezontle/aserrín nuevo fueron los que mostraron menor demanda.

Potasio

La Figura 5 muestra que la dinámica de extracción de K fue similar en todos los tratamientos. Se observa una mayor extracción a partir de los 80 ddt, etapa que coincidió con el desarrollo de frutos y en la que se extrajo más de 70 % del K total absorbido. Está bien documentado que el K es determinante para el crecimiento y desarrollo de fruto de jitomate (Jones, 1999; Nuez, 1995; Marschner, 2012).

De manera similar a N y P, a partir de los 61 ddt se observó una tendencia diferencial entre tratamientos (Figura 5j), donde las mezclas 20/80 y 30/70 de tezontle/aserrín reciclado, mostraron mayor eficiencia en la recuperación de K, lo que sugiere una mayor disponibilidad de nutrimentos en comparación a los tratamientos de tezontle y las mezclas 20/80 y 30/70 de tezontle/aserrín nuevo, que mostraron los valores más bajos en la extracción de K (Figura 5).

Calcio

En la Figura 6 se presenta la dinámica de extracción de Ca, que en general fue similar en todos los tratamientos hasta los 60 ddt, pero de 61 a 136 ddt se observó una tendencia diferencial (Figura 6 f), donde los tratamientos con mayor eficiencia en recuperación de Ca fueron las mezclas 20/80 y 30/70 de tezontle/aserrín reciclado. Este comportamiento es similar al de N, P y K, lo que sugiere una mayor disponibilidad de nutrimentos en estas mezclas. Lo contrario sucedió en los tratamientos de tezontle y la mezcla 30/70 tezontle/aserrín, que presentaron los valores más bajos. En el incremento del contenido total de Ca a través del tiempo, se observa que del 61 a los 136 ddt se acumuló más de 80 % del Ca demandado por la planta, lo cual coincidió con la floración, crecimiento, desarrollo y cosecha de frutos. Estos resultados describen el comportamiento normal del Ca en la mayoría de las plantas: se observan bajos requerimientos en la etapa inicial, pero a medida que la planta se desarrolla la demanda

Magnesium

Figure 7 shows the dynamic of extraction of Mg. The trend observed is similar in all treatments until 60 DAT, and according to the statistical analysis no statistical difference were observed among treatments in the total extraction of this nutrient (Table 5). In the period between 61 and 136 DAT differential behavior was showed among treatments (Figure 7j). Greater efficiency is observed in the absorption of Mg in the mixtures 30/70 and 20/80 of volcanic rock/recycled sawdust and volcanic rock, while the mixtures 20/80 and 30/70 of volcanic rock/fresh sawdust had the lowest contents of Mg. During this stage, which coincided with the development of leaves, flowers and fruit, more than 80 % of the total Mg was absorbed. This behavior is similar to that of Ca in relation to the requirements for the development of plants (Marschner, 2012). A decrease in the absorption of Mg was observed in most treatments between 60 and 100 DAT. This could be related to an antagonistic effect with the cations K and Ca (Marschner, 2012; Barker and Pilbeam, 2007), which had high accumulation rates in this period (Figure 5 and 6).

The trends in the extraction of N, P, K, Ca and Mg indicate that the mixtures volcanic rock/recycled sawdust favored the use of these nutrients, but only in the case of Ca we observed significant differences. Figures 3, 4, 5, 6 and 7 show the moments of higher and lower absorption during the crop cycle, which will help to set the fertilization program to provide nutrients at the right time, considering the dynamics of each one (Bertsch, 2009).

Fruit yield

Fruit weight and total fresh biomass did no show significant differences in the mean comparison test (Table 6); however, the mixtures 30/70 and 20/80 had the largest numeric value of fruit yield. This is related to the highest values in the absorption of nutrients from the nutrient solution, which is attributed to the better balance in the physical characteristics of the mixture (Table 1). These results are superior to those obtained by Ortega *et al.* (2010), 4 kg per plant in treatments with mixtures of sawdust and compost, which could be attributed to higher nutrient content provided by the nutrient solution. Although it is necessary to note that a substrate can give different results depending on the type, shape and size of the container, plant species, management or climatic conditions (Burés, 1997). In this study, the only difference in handling was the substrate mixture, highlighting the importance of substrate to ensure a successful crop.

The effect of the substrate

As previously described, the substrates did not produce significant differences in most of the evaluated variables. However, a strong tendency was observed for most vari-

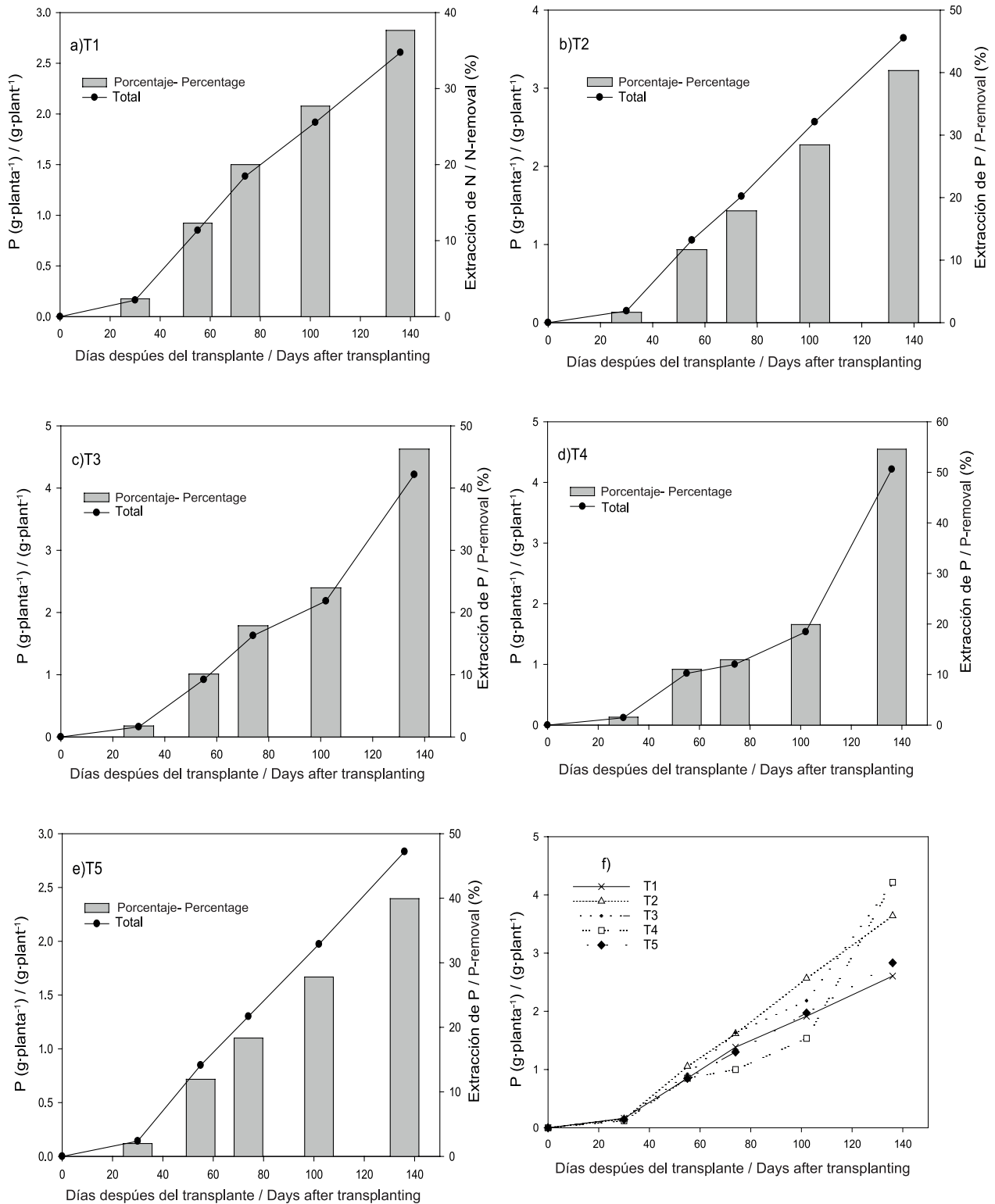


FIGURA 4. Extracción total y porcentaje de P en jitomate cultivado en mezclas (v/v) de tezontle con aserrín nuevo y aserrín reciclado. Tezontle (T1), 20/80 tezontle/aserrín reciclado (T2), 30/70 tezontle/aserrín reciclado (T3), 20/80 tezontle/aserrín nuevo (T4), 30/70 tezontle/aserrín nuevo (T5).

FIGURE 4. Total removal and percentage of P in tomato grown in mixtures (v/v) of volcanic rock with fresh and recycled sawdust. Volcanic rock (T1), 20/80 volcanic rock/recycled sawdust (T2), 30/70 volcanic rock/recycled sawdust (T3), 20/80 volcanic rock/fresh sawdust (T4) and 30/70 volcanic rock/fresh sawdust (T5).

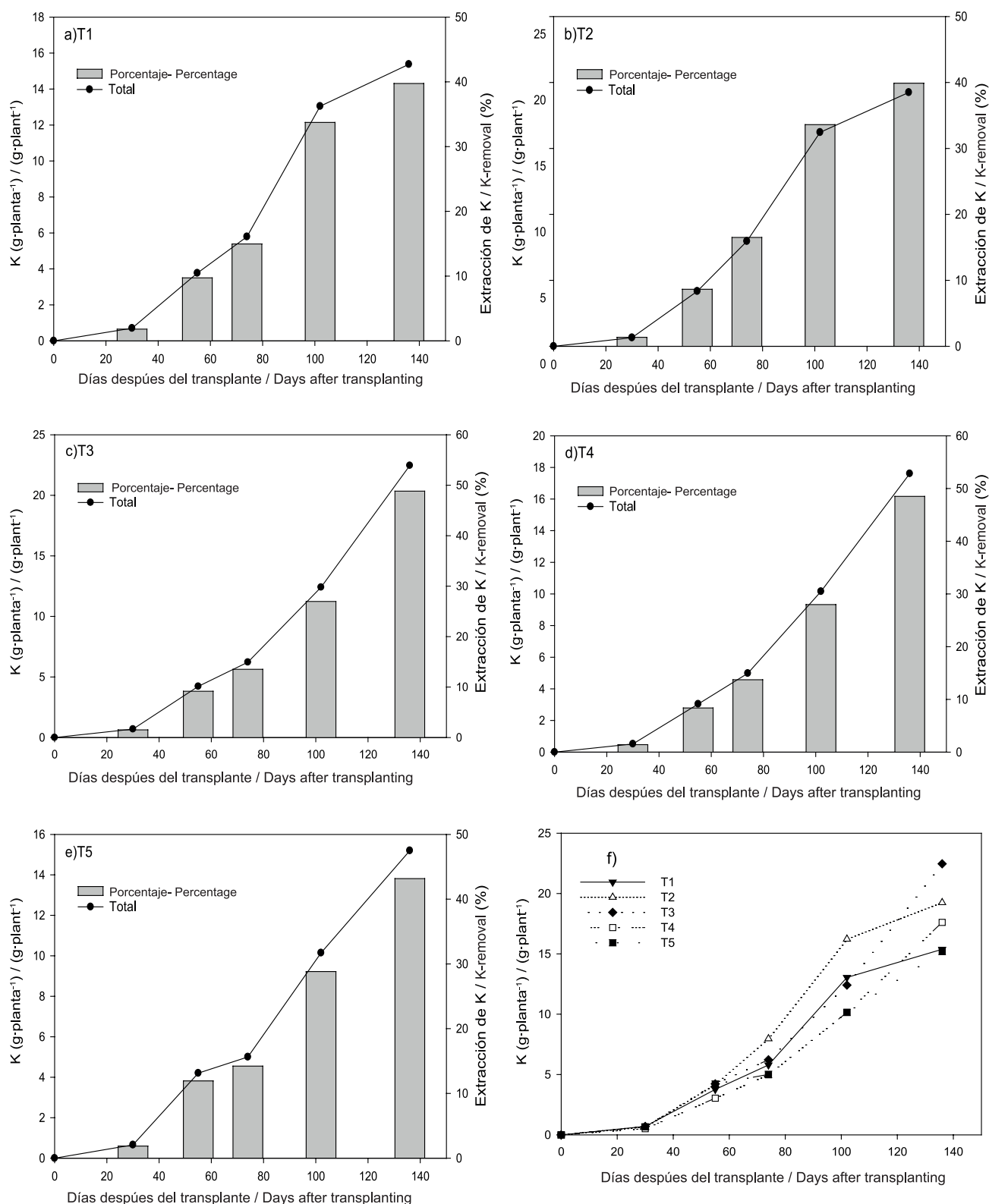


FIGURA 5. Extracción total y porcentaje de K en jitomate cultivado en mezclas (v/v) de tezontle con aserrín nuevo y aserrín reciclado. Tezontle (T1), 20/80 tezontle/aserrín reciclado (T2), 30/70 tezontle/aserrín reciclado (T3), 20/80 tezontle/aserrín nuevo (T4), 30/70 tezontle/aserrín nuevo (T5).

FIGURE 5. Total removal and percentage of K in tomato grown in mixtures (v/v) of volcanic rock with fresh and recycled sawdust. Volcanic rock (T1), 20/80 volcanic rock/recycled sawdust (T2), 30/70 volcanic rock/recycled sawdust (T3), 20/80 volcanic rock/fresh sawdust (T4) and 30/70 volcanic rock/fresh sawdust (T5).

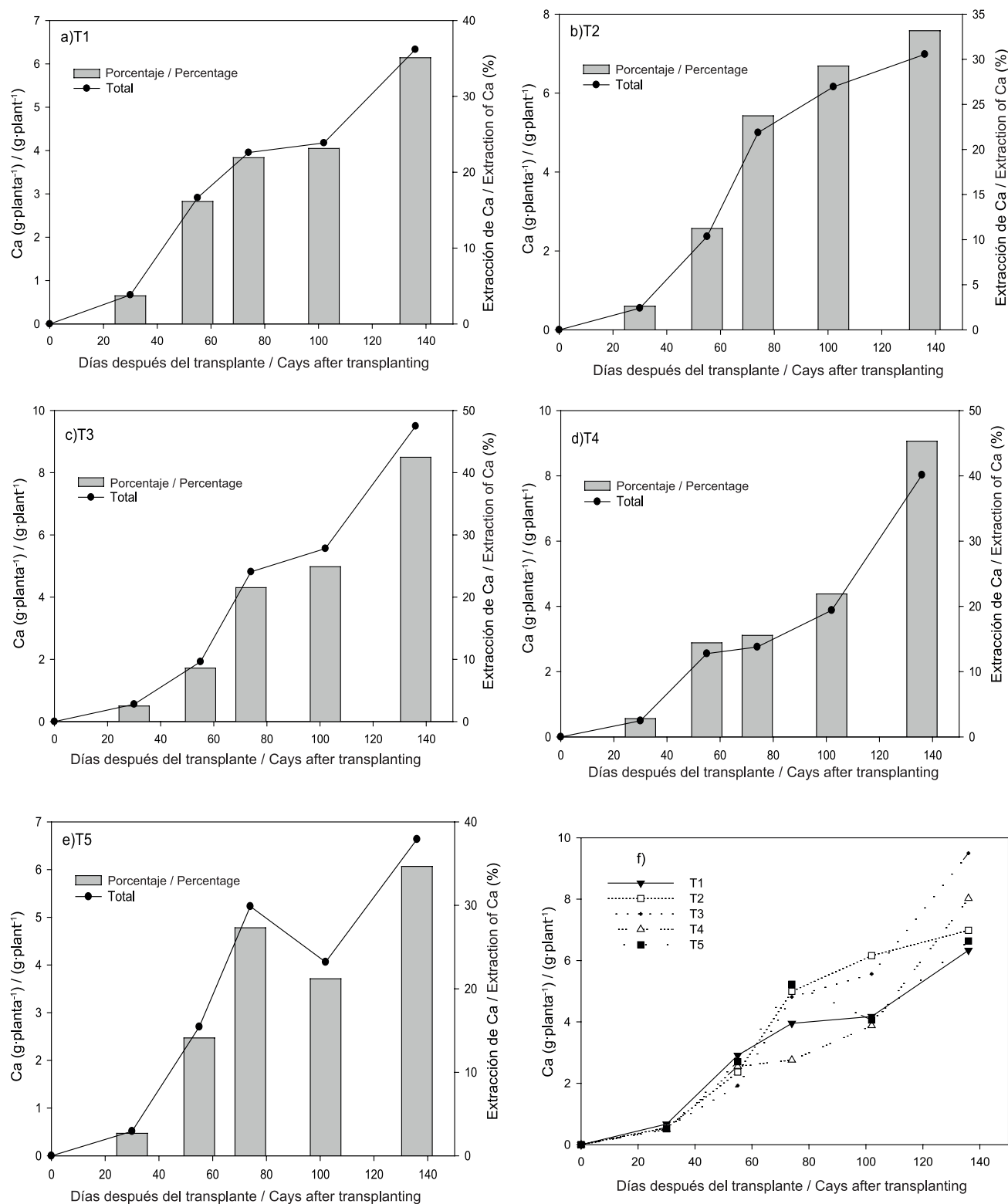


FIGURA 6. Extracción total y porcentaje de Ca en jitomate cultivado en mezclas (v/v) de tezontle con aserrín nuevo y aserrín reciclado. Tezontle (T1), 20/80 tezontle/aserrín reciclado (T2), 30/70 tezontle/aserrín reciclado (T3), 20/80 tezontle/aserrín nuevo (T4), 30/70 tezontle/aserrín nuevo (T5).

FIGURE 6. Total removal and percentage of Ca in tomato grown in mixtures (v/v) of volcanic rock with fresh and recycled sawdust. Volcanic rock (T1), 20/80 volcanic rock/recycled sawdust (T2), 30/70 volcanic rock/recycled sawdust (T3), 20/80 volcanic rock/fresh sawdust (T4) and 30/70 volcanic rock/fresh sawdust (T5).

es mayor, y se alcanzan las concentraciones más altas al final del ciclo de cultivo (Marschner, 2012; Barker y Pilbeam, 2007). Es importante notar que, contrario a lo observado en los demás nutrimentos (N, P, K, Mg), para el caso del Ca sí se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. La mayor eficiencia en la extracción de Ca se observa en la mezcla 30/70 de tezontle/aserrín reciclado, y las menores, en tezontle y mezcla 30/70 de tezontle/aserrín nuevo. Esta situación corresponde con el mayor espacio poroso total y capacidad de retención de humedad en la mezcla 70/30 tezontle/aserrín reciclado, y contrasta con los valores menores de dichas características en tezontle y mezcla 70/30 de tezontle/aserrín nuevo (Cuadro 1). Al respecto, Morard *et al.* (2000) indican que cuando la disponibilidad de humedad es adecuada y la concentración de calcio en la solución nutritiva es alta (> 5 mM), la absorción se da por un proceso pasivo acoplado a la absorción de agua durante el día y presión de raíz durante la noche.

Magnesio

En la Figura 7 se observa la dinámica de extracción de Mg. La tendencia que se observa es similar en todos los tratamientos hasta los 60 ddt, y de acuerdo al análisis estadístico no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos en la extracción total de este nutrimento (Cuadro 5). En el periodo comprendido entre los 61 y 136 ddt se presentó un comportamiento diferencial entre tratamientos (Figura 7j). Se observa mayor eficiencia en la absorción de Mg en las mezclas 30/70 y 20/80 de tezontle/aserrín reciclado y en el tezontle, mientras que las mezclas 20/80 y 30/70 de tezontle/aserrín nuevo se observaron los contenidos más bajos de Mg. Durante esta etapa, que coincidió con el desarrollo de hojas, flores y frutos, se absorbió más del 80 % del Mg total. Este comportamiento es similar al del Ca en relación a los requerimientos durante el desarrollo de las plantas (Marschner, 2012). Entre los 60 y 100 ddt se presentó, en la mayoría de los tratamientos, una disminución en la absorción de Mg. Esta situación podría estar relacionada con un efecto antagónico con los cationes K y Ca (Marschner, 2012; Barker y Pilbeam, 2007), los cuales presentaron altas tasas de acumulación en este periodo (Figuras 5 y 6).

Las tendencias en la extracción de N, P, K, Ca y Mg indican que las mezclas tezontle/aserrín reciclado favorecieron el aprovechamiento de estos nutrimentos, aunque solo para el Ca hubo diferencias significativas. En las Figuras 3, 4, 5, 6 y 7 se muestran los momentos de mayor y menor absorción durante el ciclo del cultivo, lo que ayudará a ajustar el programa de fertilización para proporcionar los nutrimentos en el momento oportuno, considerando la dinámica de cada uno de ellos (Bertsch, 2009).

Rendimiento de fruto

En las variables peso de fruto y biomasa fresca total no hubo diferencias significativas en la prueba de comparación de

ables, where treatments composed of the mixtures 30/70 and 20/80 of volcanic rock/recycled sawdust consistently showed the highest values (Table 5 and 6, Figures 3, 4, 5, 6 and 7). Also, Mateo *et al.* (2011) reported the highest production values of *Cedrela odorata* L. in mixtures where sawdust was the major component (70 and 80 %).

Since the environmental control (lighting, temperature, radiation, relative humidity) and the nutrient solution supplied during the crop cycle was similar for all treatments, the observed response is related to the physical properties of the substrates, because in these treatments more favorable characteristics were obtained for crop development such as total porosity, moisture retention and bulk density (Table 1) with values within the ranges considered as optimal (Abad *et al.*, 2004; Bunt, 1988). With respect to aeration capacity, mixtures of volcanic rock/recycled sawdust had lower values (5.1 to 7.7 %) (Table 1) than those recommended by Cabrera (1999), Abad *et al.* (2004) and Bunt (1988), but this did not mean a reduction in biomass production and fruit (Table 6). With respect to total pore space, according to Cabrera (1999) and Bunt (1988), all mixtures of volcanic rock/sawdust had adequate levels (73.5 to 78.3%), except for the volcanic rock treatment, which had the lowest values. However, these factors did not affect the optimal development of the plant, indicating that tomato can grow without any drawback with large variations in physical properties in connection with the ideal substrate. This supports the idea that if a substrate is handled according to its characteristics, it may be appropriate, especially if it is low cost and available (Abad *et al.*, 2004).

Generally, substrates that differ significantly in particle size have a higher bulk density, as occur in the mixtures (Pokorny *et al.*, 1986) and, in the same way, have greater total pore space, higher moisture retention and greater air capacity than substrates with similar particle sizes (Raviv and Lieth, 2008). Mixtures of substrates used in this experiment have these features. Marked trends and differences found regarding to the nutrient absorption suggest that there are important differences in the availability of water and nutrients.

It is important to note that the intense activity of protected agriculture is creating problems of pollution, such as vegetable waste, plastics, agrochemical containers, fertilizers, wires, and substrates, among others, which have lost their commercial value in terms of time and place where they were obtained (Urrestarazu *et al.*, 2005). The average volume of substrate waste generated by a greenhouse with hydroponic production systems varies from 6 to 10 t·ha⁻¹·year⁻¹ (Cara and Ribera, 1998). However, there are studies (Marfá, 2000; Pineda *et al.*, 2012) that show that the environmental impact can be reduced extending the life of the substrates, where recycling is a viable alternative, as has been shown in this study, where mixtures of volcanic rock with recycled sawdust produced similar yields compared to fresh substrates of volcanic rock and mixtures of volcanic rock with sawdust.

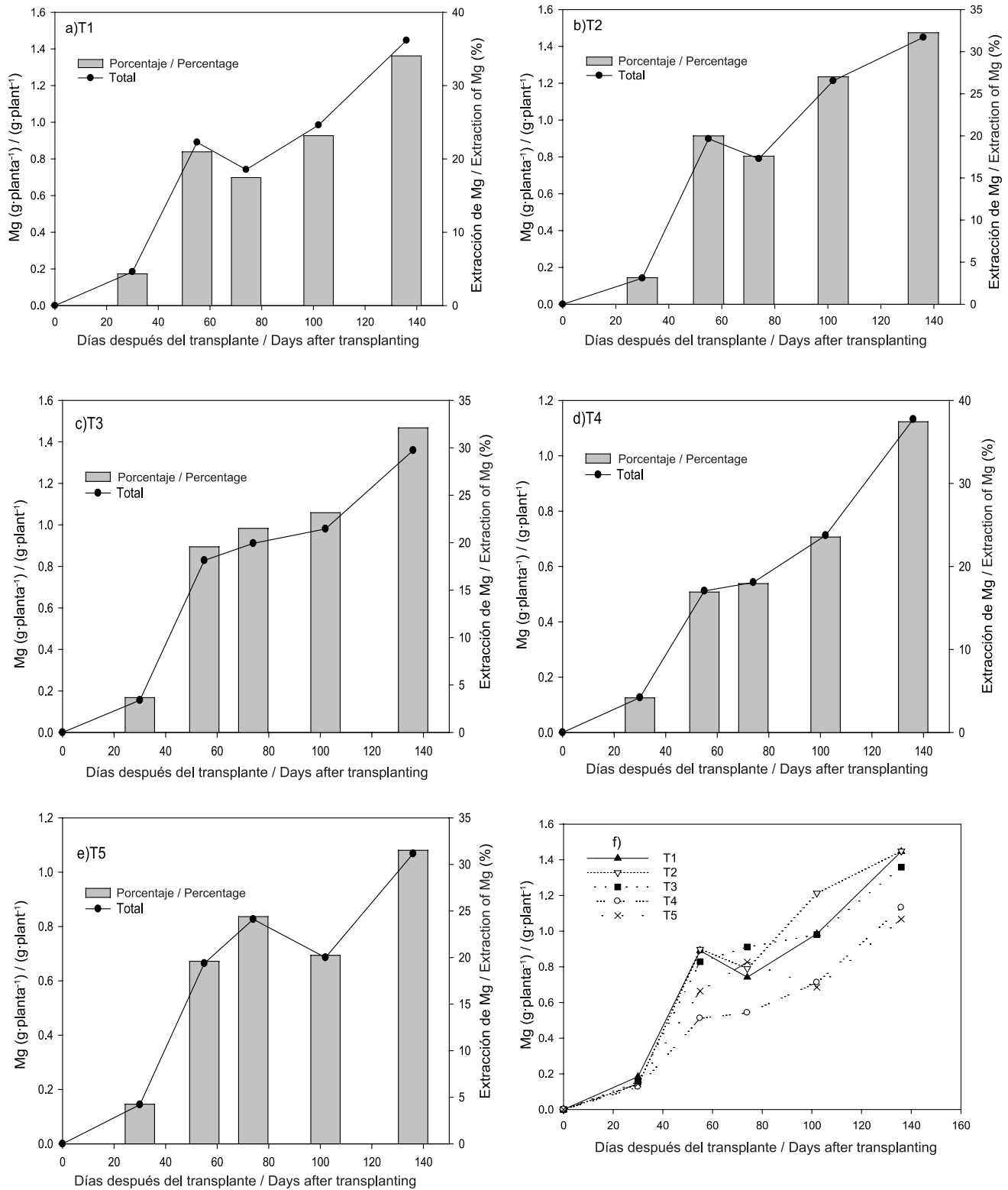


FIGURA 7. Extracción total y porcentaje de Mg en jitomate cultivado en mezclas (v/v) de tezontle con aserrín nuevo y aserrín reciclado. Tezontle (T1), 20/80 tezontle/aserrín reciclado (T2), 30/70 tezontle/aserrín reciclado (T3), 20/80 tezontle/aserrín nuevo (T4), 30/70 tezontle/aserrín nuevo (T5).

FIGURE 7. Total removal and percentage of Mg in tomato grown in mixtures (v/v) of volcanic rock with fresh and recycled sawdust. Volcanic rock (T1), 20/80 volcanic rock/recycled sawdust (T2), 30/70 volcanic rock/recycled sawdust (T3), 20/80 volcanic rock/fresh sawdust (T4) and 30/70 volcanic rock/fresh sawdust (T5).

CUADRO 6. Comparación de medias de biomasa fresca total y rendimiento de fruto de jitomate cultivado en mezclas (v/v) de tezontle con aserrín nuevo y aserrín reciclado.

TABLE 6. Mean comparison of total fresh biomass and fruit yield of tomato grown in mixtures (v/v) of volcanic rock with sawdust and recycled sawdust.

Tratamientos / Treatments	Biomasa fresca total / Total fresh biomass	Rendimiento de frutos / Fruit yield
	----- gramos por planta / grams per plant -----	
Tezontle/aserrín reciclado / Volcanic rock/ recycled sawdust (30/70)	9413 a	7406 a ^z
Tezontle/aserrín reciclado / Volcanic rock/ recycled sawdust (20/80)	8901 a	6951 a
Tezontle/aserrín nuevo / Volcanic rock/ fresh sawdust (30/70)	7218 a	5848 a
Tezontle/aserrín nuevo / Volcanic rock/ fresh sawdust (20/80)	6632 a	5361 a
Tezontle / Volcanic rock	6433 a	5218 a

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

^zMeans with the same letter within columns are not significantly different (Tukey, $P \leq 0.05$).

medias (Cuadro 6), pero las mezclas 30/70 y 20/80 presentaron el valor numérico mayor de rendimiento de fruto. Esto tiene relación con los valores más altos en la absorción de nutrientes de la solución nutritiva, lo que se atribuye al mejor balance en las características físicas de la mezcla (Cuadro 1). Estos resultados son superiores a los obtenidos por Ortega *et al.* (2010) de 4 kg por planta en tratamientos con mezclas de aserrín y composta, lo que podría atribuirse al mayor contenido nutrimental aportado por la solución nutritiva. Aunque es necesario tener en cuenta que un medio de cultivo puede dar resultados distintos según el tipo, forma y tamaño del contenedor, especie vegetal, manejo o condiciones climáticas (Burés, 1997). En el presente trabajo de investigación la única diferencia en manejo que se tuvo fue la mezcla de sustrato, lo que destaca la importancia que tiene el medio de crecimiento para garantizar el éxito de un cultivo.

Efecto del sustrato

Como se describió previamente, los sustratos no produjeron diferencias significativas en la mayoría de las variables evaluadas. Sin embargo, se observó una tendencia muy marcada para la mayoría de ellas, donde los tratamientos formados por las mezclas 30/70 y 20/80 de tezontle/aserrín reciclado presentaron consistentemente los valores mayores (Cuadro 5 y 6, Figuras 3, 4, 5, 6 y 7). También, Mateo *et al.* (2011) reportan los valores más altos en producción de *Cedrela odorata* L. en mezclas donde el aserrín fue el componente principal (70 y 80 %).

CONCLUSIONS

Volcanic rock and mixtures of volcanic rock with fresh sawdust and volcanic with recycled sawdust had a very similar dynamic of accumulation of biomass and nutrient removal, the decreasing order was $K > N > Ca > P > Mg$.

Mixtures of volcanic rock with recycled sawdust (30/70 and 20/80, v/v) produced very similar fruit yield and nutrient absorption compared to the volcanic rock treatment and mixtures of volcanic rock with fresh sawdust (20/80 and 30/70, v/v).

The maximum rates of dry matter accumulation and extraction of N, P, K, Ca and Mg occurred during flowering and fruiting, between 61 and 136 days after transplanting, a period in which over 70 % of nutrients were accumulated.

Mixtures of volcanic rock with recycled sawdust (20/80 and 30/70, v/v) maintained a proper balance in the physical properties and allow adequate development of tomato plants, representing a viable alternative to reduce costs and decrease the amount of polluting waste in hydroponic systems.

End of English Version

Dado que el control ambiental (luz, temperatura, radiación, humedad relativa) y la solución nutritiva suministrada durante el cultivo fue igual para todos los tratamientos, la respuesta observada se relaciona con las propiedades físicas de los sustratos, ya que en estos tratamientos se tuvieron características más favorables para el desarrollo del cultivo como son la porosidad total, la retención de humedad y la densidad aparente (Cuadro 1) que presentaron valores dentro de los intervalos considerados como óptimos (Abad *et al.*, 2004; Bunt, 1988). En relación a la capacidad de aireación, las mezclas de tezontle/aserrín reciclado presentaron valores (5.1 a 7.7 %) (Cuadro 1), que son inferiores a los recomendados por Cabrera (1999), Abad *et al.* (2004) y Bunt (1988), pero esto no significó una reducción en producción de biomasa y fruto (Cuadro 6). En cuanto a espacio poroso total, de acuerdo con Cabrera (1999) y Bunt (1988), todas las mezclas de tezontle/aserrín tuvieron los niveles adecuados (73.5 a 78.3 %), con excepción del tezontle que presentó valores más bajos. Sin embargo, estos factores no afectaron el óptimo desarrollo de la planta, lo que indica que el jitomate puede desarrollarse sin ningún inconveniente con variaciones importantes en las propiedades físicas en relación con el sustrato ideal. Esto apoya la idea que si un sustrato se maneja de acuerdo a sus características, puede resultar adecuado, sobre todo si es de bajo costo y se tiene disponible (Abad *et al.*, 2004).

En general, sustratos que difieren significativamente en tamaños de partícula presentan mayor densidad aparente, como ocurre en las mezclas (Pokorny *et al.*, 1986) y del mismo modo tienen mayor espacio poroso total, mayor retención de humedad y mayor capacidad de aireación que los sustratos con partículas de tamaños similares (Raviv y Lieth, 2008). Las mezclas de sustratos utilizadas en el presente experimento cuentan con estas características. Las marcadas tendencias y diferencias encontradas en cuanto a absorción nutricional sugieren que hay diferencias importantes en la disponibilidad de agua y nutrientes.

Es importante destacar que la intensa actividad de la agricultura protegida está generando problemas de contaminación ambiental, tales como desechos vegetales, plásticos, envases de agroquímicos, fertilizantes, alambres, sustratos, entre otros, que han perdido su valor comercial en las condiciones de tiempo y lugar en que se han obtenido (Urrestarazu *et al.*, 2005). El volumen medio de residuos de sustratos que genera un invernadero con sistemas de producción hidropónica varía de 6 a 10 t·ha⁻¹·año⁻¹ (Cara y Ribera, 1998). Sin embargo, existen investigaciones (Marfá, 2000; Pineda *et al.*, 2012) que demuestran que se puede disminuir el impacto ambiental prolongando la vida útil de los sustratos, donde el reciclaje es una alternativa viable, tal como se ha observado en esta investigación, donde las mezclas de tezontle con aserrín reciclado produjeron rendimientos similares a los sustratos nuevos de tezontle y mezclas de tezontle con aserrín.

CONCLUSIONES

El tezontle y las mezclas de tezontle con aserrín nuevo y tezontle con aserrín reciclado presentaron una dinámica de acumulación de biomasa y de extracción nutricional muy similar, el orden decreciente fue K > N > Ca > P > Mg.

Las mezclas de tezontle con aserrín reciclado (30:70 y 20/80, v/v) produjeron un rendimiento de fruto y absorción nutricional muy similares al tezontle y mezclas de tezontle con aserrín nuevo (20/80 y 30/70, v/v).

Las tasas máximas de acumulación de materia seca y de extracción de N, P, K, Ca y Mg se presentaron durante la floración y fructificación, entre los 61 y los 136 días después del trasplante, periodo en el que se acumuló más del 70 % de los nutrientes.

Las mezclas de tezontle con aserrín reciclado (20/80 y 30/70, v/v) mantuvieron un balance adecuado en las propiedades físicas y permitieron un adecuado desarrollo de las plantas de jitomate, representando una alternativa viable para reducir costos y disminuir la cantidad de desechos contaminantes en sistemas hidropónicos.

LITERATURA CITADA

- ABAD, B. M.; NOGUERA, M. P., CARRIÓN, B. C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo, pp. 113-158. *In*: Tratado de Cultivo sin Suelo. URRESTARAZU, G. M. (ed.). Mundi-Prensa, Madrid, España. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=860892>
- ALCÁNTAR G., G.; SANDOVAL M., V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 155 p.
- ANÓNIMO. 2006. Base SAS 9.1.3 Procedures Guide. Second Edition, Volumes 1, 2, 3, and 4. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. 2007. Handbook of Plant Nutrition. CRC. 605 p.
- BERTSCH, F. 2009. Absorción de Nutrientes por los Cultivos. Ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 308 p.
- BURES, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid, España. 220 p.
- BUNT, A. C. 1988. Media and Mixes for Container-Grown Plants: a Manual on the Preparation and Use of Growing Media for Pot Plants. 2nd ed. Unwin Hyman Ltd., London, UK. 309 p.
- CABRERA, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo Serie Horticultura 5(1): 5-11. <http://www.chapingo.mx/revistas/viewpdf?id=MTM1Ng==>
- CARA, G.; RIBERA, J. 1998. Residuos en la agricultura intensiva. El caso de Almería. Encuentro ambiental almeriense: en busca de soluciones. Almería, España. 128-132.
- CHAPMAN, H. D.; PRATT, P. E.. 1973. Método de Análisis de

- Suelos, Plantas y Agua. Trad. del inglés por: A. Contin. Ed. Trillas. México, D. F. 195 p.
- DE BOODT, M.; VERDONCK, O.; CAPPAERT, I. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062.
- GIACONI, V.; ESCAFFE, M. 1993. Cultivo de Hortalizas. Universitaria. Santiago, Chile. 332 p.
- HANDRECK, K. A.; BLACK, N. 2005. Growing media for ornamental plant and turf. Revised edition. New South Wales University Press. Kensington, Australia. 544.
- JONES, J. B. 1999. Tomato Plant Culture. CRC Press LLC. Florida U.S.A. 199 p.
- MAHER, M.; PRASAD, M.; RAVIV, M. 2008. Organic Soilless Media Components. In *Soilless Culture: Theory and Practice*. RAVIV, M.; LIETH, J. H. (Eds.). Editorial Elsevier. United States of America. 459-504 pp.
- MARFA, O. 2000. Recirculación en cultivos sin suelo. *Compendios de Horticultura* 14. Ediciones de Horticultura S. L. España 177p.
- MARSCHNER, P. 2012. Marschner's Mineral nutrition of higher plants. Third edition. Academic Press. London. 649 p. <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780123849052>
- MENGEL, A.; KIRKBY, K. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer academic publishers. 5th edition. Netherlands. 849 p.
- MATEO, S. J. J.; BONIFACIO, B. R.; PÉREZ, R. S. R.; MOHEDANO, C. L.; CAPULÍN, G. J. 2011. Producción de (*Cedrela odorata* L.), en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en tecpan de galeana, guerrero, México. *Ra Ximhai* 7(1): 123-132. [http://www.uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-19articulosPDF/12-PRODUCCION%20DE%20\(CEDRELA%20ODORATA%20L\)%20EN%20SUSTRATO%20A%20BASE_Jose%20Justo.pdf](http://www.uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-19articulosPDF/12-PRODUCCION%20DE%20(CEDRELA%20ODORATA%20L)%20EN%20SUSTRATO%20A%20BASE_Jose%20Justo.pdf)
- MORARD, P.; LACOSTE, L.; SILVESTRE, J. 2000. Effect of oxygen deficiency on uptake of water and nutrients by tomato plants in soilless culture. *J. Plant Nutr.* 23(8):1063-1078. doi: 10.1080/01904160009382082
- NOBEL, P. S. 2009. Physicochemical and Environmental Plant Physiology. Elsevier Fourth edition. Department of Ecology and Evolutionary Biology University of California, Los Angeles, California. 582 p. <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780125200264>
- NUEZ, F. 1995. El Cultivo del Tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 767 p.
- ORTEGA M., L. D.; SANCHEZ O., J.; OCAMPO M., J.; SANDOVAL C., E.; SALCIDO R., B. A.; MANZO R., F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai* 6(3): 339-346. <http://www.uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-18articulosPDF/02-Tomate%20bajo%20condiciones%20de%20invernadero.pdf>
- PINEDA P., J.; RAMÍREZ A., A.; SÁNCHEZ C., F.; CASTILLO G., A. M.; VALDEZ A., L. A.; VARGAS C., J. M. 2011. Extraction and nutrient efficiency during the vegetative growth of tomato under hydroponics conditions. *Acta Horticulturae* 893: 997-1005. http://www.actahort.org/members/showpdf?booknrarnr=893_112
- PINEDA P., J.; SÁNCHEZ C., F.; RAMÍREZ A., A.; CASTILLO G., A. M.; VALDÉS A., L. A.; MORENO P., E. C. 2012. Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 18(1): 95-111. doi:10.5154/r.rchsh.2012.18.007
- POKORNY, F. A.; GIBSON, P. G.; DUNAVENT, M. G. 1986. Prediction of bulk density of pine bark and/or sand potting media from laboratory analyses of individual components. *J. Amer. Soc. Hort. Science*, 111, 8-11.
- RAVIV, M.; LIETH, H. J. 2008. *Soilless Culture: Theory and Practice*. United States of America. 625 p.
- STEINER, A. 1984. *The Universal Nutrient Solution*. ISOC. Netherlands.
- RESH, H. 1998. *Cultivos Hidropónicos*. Editorial Mundi-Prensa. España. 509 p.
- URRESTARAZU G., M. 2004. *Tratado de Cultivo sin Suelo*. (Ed.). Mundi-Prensa. Madrid, España. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=3794>
- URRESTARAZU G., M.; SUÁREZ, E. F.; MAZUELA, P. 2005. Reutilización de residuos de la industria hortícola. *Revista Vida Rural*: 26-29. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1348719&orden=0&info=link>