

# USO DE ESTIÉRCOL LÍQUIDO DE BOVINO ACIDULADO EN LA PRODUCCIÓN DE PIMIENTO MORRÓN

**J. Capulín-Grande<sup>1</sup>; R. Núñez-Escobar<sup>2</sup>;  
J. L. Aguilar-Acuña<sup>3</sup>; M. Estrada-Botello<sup>4</sup>;  
P. Sánchez-García<sup>2</sup>; J. J. Mateo-Sánchez<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Av. Universidad Km. 1, Rancho Universitario, Apartado Postal 32, Tulancingo, Hidalgo, C. P. 43660. MÉXICO. Correo-e: [juan\\_capulin61@yahoo.com.mx](mailto:juan_capulin61@yahoo.com.mx) (<sup>1</sup>Autor responsable)

<sup>2</sup>Especialidad de Edafología. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

<sup>3</sup>Campo Experimental Bajío - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya, Gto. C. P. 38010. Tel.: (01-461) 611-5323. MÉXICO.

<sup>4</sup>División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km. 25+2 de la Carretera Villahermosa-Teapa, R/a La Huasteca 2a. Sección del Municipio del Centro. Tels.: (01-993) 3581500 Ext. 6602, 3581585 y 1429151. Fax.: (01-993) 1429150. MÉXICO.

## RESUMEN

En este experimento se probó el comportamiento del extracto líquido de estiércol bovino (ELEB), acidulado con ácidos orgánicos e inorgánicos, en la nutrición de pimiento morrón en un sistema hidropónico con recirculación de la solución nutritiva. Los resultados indicaron que el estiércol líquido contiene todos los nutrimentos esenciales para el desarrollo de plantas; sin embargo, el calcio, el nitrato, el sulfato, el hierro y fósforo se encuentran en cantidades insuficientes. Cuando se aciduló el estiércol líquido con ácidos orgánicos, hubo quelatación de nutrimentos como el calcio, amonio y hierro disminuyendo su contenido en 33, 90 y 23 % respectivamente, en la solución de ELEB. La altura de planta, el número de frutos y el rendimiento por planta se favoreció cuando el ELEB se aciduló con el ácido nítrico.

**PALABRAS CLAVE ADICIONALES:** *Capsicum annum* L., acidulación, rendimiento, quelatación.

## USE OF BOVINE LIQUID ACIDULATED MANURE FOR PRODUCTION OF SWEET PEPPER

### ABSTRACT

In this experiment we tested the performance of liquid extract of bovine manure (ELEB), acidulated with organic and inorganic acids, on the nutrition of sweet pepper under a hydroponics system with recirculation of nutrient solution. Results indicated that liquid manure contains all essential nutrients for plant development; however, calcium, nitrate, sulfate, iron, and phosphorus were present in insufficient amounts. When the liquid manure was acidulated with organic acids, there was a chelation of nutrients with calcium, ammonium, and iron, decreasing their content by 33, 90, and 23 %, respectively, in the ELEB solution. Plant height, fruit number and yield were favored when ELEB was acidulated with nitric acid.

**ADDITIONAL KEY WORDS:** *Capsicum annum* L., acidulation, yield, chelation.

## INTRODUCCIÓN

Entre las hortalizas de mayor importancia económica en México están el jitomate, el melón, la sandía, el pepino y el chile, que en conjunto ocupan casi el 70 % del volumen exportado, principalmente a los Estados Unidos (Schwentenius y Gómez, 1997). Entre los chiles, la variedad tipo Bell o pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) representa los mayores volúmenes para los mercados internacionales.

La cantidad de nutrimentos a aplicar está en función de la demanda del cultivo, consecuencia del rendimiento que se pretenda alcanzar y el suministro del suelo. Se recomienda para obtener una buena producción de pimiento morrón, una dosis de fertilización de 150 kg de N, 200 kg de  $P_2O_5$  y 200 kg de  $K_2O \cdot ha^{-1}$  (Raymond, 1999). La máxima acumulación de N, P, K, Ca y Mg en el tejido de pimiento morrón se logra, según Miller *et al.* (1979), entre el día 28 y 42 posterior al trasplante, después de este periodo se observa una disminución en las concentraciones debido al inicio del desarrollo del fruto.

Para satisfacer las necesidades de nutrición del cultivo, es necesario el empleo de fertilizantes químicos. Sin embargo, los altos costos y los problemas de contaminación que estos materiales ocasionan, justifica la búsqueda de nuevas alternativas de fertilización. El uso de las aguas residuales de establos o estiércoles líquidos como fuente de nutrimentos parece una alternativa viable, puesto que este material es considerado como desecho, por lo que su utilización reduciría las descargas contaminantes a los cauces naturales de ríos y lagos y ayudaría a reciclar el agua y nutrimentos.

Los estiércoles líquidos contienen los nutrimentos que una planta necesita para su desarrollo; sin embargo, requieren de un acondicionamiento previo para hacerlos accesibles a los cultivos, ya que presentan salinidad alta y pH alcalino (Capulin *et al.*, 2001). Es importante que en la solución nutritiva a base de estiércol líquido, no haya la formación de precipitados que disminuyan la disponibilidad de los nutrimentos, de lo contrario se considera como una solución nutritiva no verdadera y ocasionaría deficiencias de nutrientes en el cultivo, disminuyendo su productividad.

Una solución nutritiva debe tener un pH ácido para que todos los nutrientes estén disponibles para la planta (Resh, 1991). Es por ello que el estiércol líquido debe ser acidulado para disminuir su pH. Los acidulantes que comúnmente se usan para bajar el pH son de origen inorgánico (ácidos nítrico, fosfórico, y sulfúrico); sin embargo, estos ácidos no son aceptados dentro de la agricultura orgánica. El empleo de ácidos orgánicos en el estiércol líquido para bajar su pH, lo convertiría en una solución nutritiva orgánica.

Algunas evidencias experimentales durante los últimos años, han asociado el metabolismo de los ácidos orgánicos con la tolerancia de las plantas al estrés ambiental;

actualmente el conocimiento señala que los ácidos orgánicos no sólo actúan como intermediarios en el metabolismo del carbono, sino también como componentes clave en los procesos que algunas plantas usan para superar sus deficiencias nutrimentales, tolerancia a metales e interacciones planta-microorganismo en la interfase suelo-raíz (López-Bucio *et al.*, 2000). Los ácidos orgánicos participan en la absorción y reducción del amonio, la asimilación de P y Fe, tolerancia al Al y con la ecología del suelo (Scheible *et al.*, 1997; Takita *et al.*, 1999; Hocking, 2001).

Los ácidos orgánicos exudados por la raíz, pueden beneficiar la absorción de P por las plantas y proteger las raíces por detoxificación de Al en la rizosfera (Jones, 1998). Dichos compuestos son exudados de las raíces conocidos como aniones orgánicos, tales como citrato<sup>3-</sup> y malato<sup>2-</sup> (Hocking, 2001). La efectividad de un ácido orgánico para movilizar el P acompañado con un ión metálico, tales como Al y Fe, y para desplazar P de una superficie cargada, depende del número y arreglo de sus grupos carboxilo e hidroxilo (Staunton y Leprince, 1996).

Los ácidos orgánicos exudados de la raíz modifican la química de la rizosfera y esto altera la disponibilidad de los nutrimentos. Esto puede ocurrir indirectamente a través de promover el desarrollo de microorganismos que mineralizan las formas orgánicas de algunos nutrimentos (Richardson, 1994), o directamente por: (1) cambios en el pH de la solución del suelo, que solubiliza fracciones minerales; (2) alterando las características de la superficie de las partículas del suelo; (3) compitiendo con los iones orgánicos por los sitios de intercambio y (4) acomplejamiento y quelatación de cationes unidos a los compuestos orgánicos (Bar-Yosef, 1991; Jones, 1998).

El estiércol por sí mismo, contiene agentes quelatantes de nutrimentos, tal es el caso de ácido fítico que al no ser degradado completamente por las fitasas en el rumen del rumiante, es excretado en el estiércol como fitatos, provocando que el P no sea disponible y ocasionando inactivación (acomplejamiento) de Ca, Cu, Fe y Zn (Li *et al.*, 1997; Raboy, 2001). Las sustancias húmicas presentes en el estiércol también pueden quelatar metales, como es el caso de los micronutrientes, gracias a la presencia de grupos funcionales donadores de electrones en estas moléculas (Varanini y Pinton, 2001). Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la disponibilidad de algunos aniones y cationes en el estiércol líquido después de ser acidulado con ácidos orgánicos e inorgánicos y su efecto en la producción hidropónica de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Cambios de disponibilidad nutrimental del extracto líquido de estiércol bovino (ELEB)

La presente investigación se realizó en los invernaderos

del Colegio de Postgraduados. El estiércol fresco se obtuvo del establo lechero de la Especialidad de Ganadería del mismo Colegio. La separación de la parte líquida del estiércol se realizó de acuerdo con la metodología descrita por Capulín-Grande *et al.* (2001), la cual consiste en mezclar el estiércol fresco y agua en relación 1:1, y pasarla por un tamiz de 1 mm de abertura. Se realizó un primer ensayo que consistió en acidular cinco litros de ELEB cuyo valor inicial de conductividad eléctrica (CE) fue de  $12.9 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  y al diluirlo con agua bajó a  $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , con cinco ácidos (nitrógeno, fosfórico, sulfúrico, cítrico y acético) a pH 5.5; esto formó cinco tratamientos más un testigo sin acidular. Cada cinco días se ajustó el pH a 5.5 de la misma muestra, este ensayo tuvo una duración de 30 días. Al finalizar el periodo indicado, cuando el pH se estabilizó, se tomaron cuatro muestras por tratamiento para cuantificar el contenido de nutrientes.

Para dar continuidad al ensayo anterior y encontrar el punto donde se da la probable formación de complejos, se sometió el ELEB a una acidulación con los siguientes ácidos: nitrógeno, fosfórico, cítrico y acético. A partir de su valor de pH original (pH=8.2) se disminuyó el pH a 7.5, 6.5 y 5.5, y en cada valor se tomó una muestra del ELEB acidulado para determinar el contenido nutrimental de algunos cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{Fe}^{2+}$ ).

### Desarrollo del cultivo

En un segundo ensayo se probó la efectividad de las soluciones nutritivas en el desarrollo y producción de chile pimiento morrón. Se formaron cuatro tratamientos. El ELEB se usó como fuente nutrimental acidulado con cuatro ácidos; T1, ácido nitrógeno; T2, ácido fosfórico; T3, ácido cítrico y T4, ácido acético, todos a un pH de 5.5. Las cuatro soluciones se diluyeron con agua a una CE de  $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Se tomaron muestras de las soluciones nutritivas antes de iniciar cada periodo de riego y al finalizar éste, lo que ocurrió a los 15 días, para realizar su caracterización química y compararlo con el contenido de nutrientes que tiene la solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1984). El contenido de nitrógeno nitrógeno y amoniacal se analizó por el procedimiento de arrastre de vapor (Keeney y Nelson, 1982). La cuantificación de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, B y Na, se realizó por espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP – AES (Alcántar y Sandoval, 1999).

Las semillas de pimiento morrón se pusieron a germinar el 13 de febrero de 2002 en una charola de poliestireno de 200 cavidades usando perlita como sustrato; durante los primeros 15 días el riego fue con agua de la llave, el periodo restante con solución nutritiva de Steiner al 50 % de concentración. El trasplante se realizó a los 45 días después de la siembra cuando las plantas tuvieron una altura de 18 a 20 cm, en macetas de plástico de 12 litros llenadas al 90 % de su capacidad con tezontle de granulometría de 0.5 a 1.0 cm de diámetro. El sistema de riego empleado fue un sistema hidropónico con recirculación de la solución nutritiva; a todo lo alto de la maceta, se insertó una manguera

de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, la cual sirvió para inyectar y extraer la solución de riego por succión. Se prepararon 50 litros de solución nutritiva a base de ELEB y con ella se realizaron dos riegos al día, reponiendo el agua consumida y ajustando el pH a 5.5 por la mañana diariamente. Durante el tiempo que duró el experimento se hicieron siete cambios de solución nutritiva con un intervalo entre ellos de 15 días y cinco cortes de frutos cuando éstos presentaron una coloración verde oscuro y con ligeras bandas rojas.

Las variables que se evaluaron fueron: a) rendimiento de frutos cosechados, con la suma del peso de los frutos en cada corte; b) altura de plantas tomada de la superficie del tezontle hasta el ápice; c) número de frutos por planta, considerando la suma de los frutos cosechados; d) peso promedio de los frutos y e) contenido de clorofila en las hojas, medido en el periodo de crecimiento con un medidor de clorofila portátil SPAD-502 marca Minolta, usando el promedio de cinco hojas situadas en el último tercio de crecimiento a una misma altura.

El diseño experimental empleado fue un completamente al azar con cinco repeticiones, la unidad experimental fue una planta en cada maceta. A los resultados se les realizó un análisis de varianza y comparación de medias entre tratamientos con el paquete estadístico SAS 6.12 (SAS, 1997).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Cambios de disponibilidad nutrimental en el ELEB

El cambio de disponibilidad nutrimental por efecto de la acidulación del ELEB se muestra en el Cuadro 1. Al hacer comparaciones con el tratamiento sin ácido se observa una reducción significativa en el contenido de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  al acidularse con ácidos orgánicos (cítrico y acético) y un incremento significativo del Ca y del  $\text{NH}_4^+$  al acidularse con ácidos inorgánicos (nitrógeno, fosfórico y sulfúrico). Lógicamente el contenido de  $\text{NO}_3^-$  y P se incrementó al agregar  $\text{HNO}_3$  y  $\text{H}_3\text{PO}_4$  respectivamente. El contenido de K y Mg no presenta variación significativa.

La aplicación de los ácidos inorgánicos al ELEB incrementó el contenido de macronutrientes en las soluciones nutritivas (aunque no en todos los casos en forma significativa), debido quizá a que estos ácidos destruyen la matriz orgánica aún presente en el ELEB, lo que contribuye a solubilizar y liberar los nutrientes ahí contenidos. Lo opuesto se presentó en general con los ácidos orgánicos debido probablemente a la formación de complejos orgánicos no aprovechables de estos radicales con citrato y acetato. La reducción de algunos nutrientes por el acomplejamiento con los ácidos orgánicos como cítrico, oxálico, malónico, succínico y tartárico presentes en la rizosfera es reportado por Jones y Darrah (1994), y Hocking (2001). Aguirre (2001), indicó que el ión  $\text{Ca}^{2+}$  es un metal duro que presenta una

**CUADRO 1. Contenido de macronutrientes en el extracto líquido de estiércol bovino, 30 días después de ser sometido a acidulación con cinco ácidos, a pH 5.5.**

Tratamiento	Ácido gastado ml	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	mg·litro <sup>-1</sup>			
				P	K	Ca	Mg
Ácido nítrico	62.8 cd <sup>2</sup>	107.3 a	369.3 a	74.4 b	361.2 a	138.3 a	97.7 a
Ácido fosfórico	143.3 a	88.3 ab	122.6 b	924.9 a	235.8 a	105.8 ab	74.1 a
Ácido sulfúrico	54.9 d	94.0 a	135.6 b	133.2 b	244.5 a	109.6 ab	87.2 a
Ácido cítrico	88.6 c	34.6 b	26.3 c	41.9 b	193.7 a	67.8 b	63.4 a
Ácido acético	114.9 b	36.5 b	24.8 c	26.3 b	249.2 a	84.1 ab	77.1 a
Sin ácido	—	58.6 ab	108.6 b	41.2 b	207.2 a	72.2 b	78.9 a
DMS	28.11	56.28	56.56	117.19	170.6	62.1	42.4

<sup>2</sup>Cifras con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .  
DMS: diferencia mínima significativa.

alta afinidad con los aniones orgánicos, oxalato, citrato y acetato, y con los inorgánicos como el sulfato y el fosfato formando compuestos que se precipitan e impiden la movilidad de este ión, por ello no se encontró diferencia al ser tratado el ELEB con ácidos fosfórico y sulfúrico.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados del contenido de micronutrientes y Na en el ELEB acidulado. No hubo diferencia significativa entre tratamientos, pero hubo una tendencia a tener mayor contenido al acidularse con ácidos inorgánicos y a una reducción del contenido de Fe y Mn con ácidos orgánicos, respecto al testigo. Tanto los ácidos orgánicos como las sustancias húmicas influyen de manera importante en la reducción del contenido de micronutrientes en el estiércol, ya que reducen su disponibilidad inmediata, pero funcionan como un depósito de nutrientes en la rizosfera (Swift, 2001); al respecto Varanini y Pinton (2001) mencionaron que las sustancias húmicas pueden formar complejos con micronutrientes, debido a la presencia de gran cantidad de grupos funcionales donadores de electrones en estas moléculas.

La cantidad de ácido consumido durante el ensayo

tuvo diferente comportamiento. Los ácidos inorgánicos se aplicaron en mayor cantidad al principio, pero durante el transcurso del periodo su requerimiento fue disminuyendo hasta alcanzar un valor de cero para el ácido fosfórico y muy cercano a este valor para los otros dos; esto significa que los ácidos inorgánicos tienen una mayor capacidad amortiguadora del pH, porque en las siguientes mediciones sólo subió el pH alrededor de 6.5 y se redujo con aplicar pequeñas cantidades del ácido respectivo. En cambio, el requerimiento de los ácidos orgánicos, fue moderado al inicio, inclusive disminuyó en la segunda aplicación, pero las aplicaciones subsecuentes aumentaron, igualando a la aplicación inicial y manteniéndose casi constantes durante toda la prueba (Figura 1).

La concentración de Ca, Fe y NH<sub>4</sub> en el ELEB a valores decrecientes de pH se muestra en el Cuadro 3. El pH inicial del ELEB fue de 8.2, y cuando fue tratado con ácidos inorgánicos (nítrico y fosfórico), el contenido de Ca, NH<sub>4</sub> y Fe en las soluciones aumentó progresivamente a medida que se hizo más ácida la solución; por el contrario, el contenido de estos mismos nutrientes disminuyó cuando el ELEB fue tratado con ácidos orgánicos.

**CUADRO 2. Contenido de micronutrientes en el extracto líquido de estiércol bovino, 30 días después de ser sometido a acidulación con cinco ácidos, a pH 5.5.**

Tratamiento	Na	Fe	Mn	mg·litro <sup>-1</sup>		
				Cu	B	Zn
Ácido nítrico	123.8 a <sup>2</sup>	1.69 ab	1.60 a	0.39 a	0.65 a	1.37 a
Ácido fosfórico	81.4 a	1.83 ab*	1.01 a	0.42 a	0.72 a	0.71 a
Ácido sulfúrico	79.9 a	2.13 a	1.12 a	0.61 a	0.48 a	1.21 a
Ácido cítrico	58.2 a	0.53 ab	0.82 a	0.41 a	0.39 a	0.78 a
Ácido acético	84.6 a	0.36 b	0.84 a	0.45 a	0.66 a	1.17 a
Sin ácido	58.9 a	1.34 ab	0.96 a	0.31 a	0.38 a	0.90 a
DMS	68.1	1.74	1.14	0.38	0.52	0.71

<sup>2</sup>Cifras con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .  
DMSH: diferencia mínima significativa.

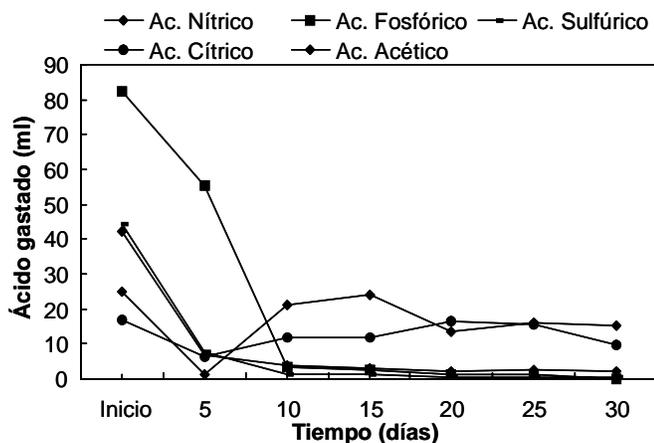


FIGURA 1. Cantidad de ácido empleada en la acidulación del extracto líquido de estiércol bovino durante 30 días.

El contenido promedio del amonio en las soluciones aumentó 27, 89 y 100 %, el de calcio lo hizo en 2, 68 y 88 %, y el de hierro en 5, 10 y 12 % al tratar el ELEB con ácidos inorgánicos y bajar el pH de 8.2 a 7.5, 6.5 y 5.5 respectivamente. De forma contraria, al aplicar ácidos orgánicos al ELEB, la concentración promedio de amonio se redujo en 39, 61 y 84 %, la del calcio en 0, 25 y 37 %, y la del hierro en 10, 13 y 20 % al reducir el pH de las soluciones de 8.2 a 7.5, 6.5 y 5.5 respectivamente. El incremento del contenido nutricional del ELEB cuando es tratado con ácidos inorgánicos, sugiere que la matriz orgánica es destruida por la acción de los ácidos y solubilizados los nutrientes contenidos en las partículas orgánicas (Stroehlein y Oebker, 1979), lo que no sucede con los ácidos orgánicos, ya que al aplicarlos y bajar el pH se ionizan formando aniones orgánicos, que al combinarse con los cationes forman acetatos y citratos de amonio y calcio, reduciendo su disponibilidad en las soluciones (Marschner, 1995).

### Composición de las soluciones nutritivas

Los resultados de los análisis de las soluciones con las que se regó el pimiento morrón se presentan en el Cuadro 4. Al comparar la concentración de la solución nutritiva de Steiner contra las soluciones de ELEB acidulado, puede

inferirse cuáles nutrientes será necesario complementar con sales minerales, para lograr una correcta nutrición de las plantas. Las soluciones de ELEB acidulado muestran un menor contenido de Ca, S-SO<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, P, Fe, Mn y B en todos los tratamientos tanto al inicio como al final del periodo de riego, a excepción de los nitratos y fósforo cuando se aciduló con ácidos nítrico y fosfórico; mientras que Mg, K, Cu y Zn están en concentraciones similares o superiores al inicio del riego, pero se reducen los contenidos al final del periodo. Hay otros dos elementos importantes en el ELEB que no están en la solución nutritiva de Steiner, el amonio que puede compensar la falta de nitrógeno, y el sodio que aunque no es un elemento esencial para todas las plantas, es importante su absorción para algunos procesos metabólicos como la turgencia en frutos de jitomate. Al sumar el N-NO<sub>3</sub> y N-NH<sub>4</sub> en el ELEB acidulado con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, se iguala prácticamente al N contenido en la solución Steiner. Cuando la acidulación se efectúa con HNO<sub>3</sub>, el contenido de N-NO<sub>3</sub> al final del ciclo resulta superior al inicial; esto es debido seguramente a la nitrificación del nitrógeno amoniacal. Por su parte el nitrógeno contenido en el ELEB tratado con ácidos orgánicos, aparentemente permanece en formas orgánicas complejas no aprovechables, ya que su contenido de nitrógeno nítrico y amoniacal es muy bajo comparado con los tratamientos que llevaron ácido inorgánico y muy inferior al presente en la solución Steiner.

### Respuesta del cultivo

El Cuadro 5 muestra la respuesta del crecimiento y producción de las plantas de chile pimiento morrón al ser regadas con ELEB y acidulados con ácidos orgánicos e inorgánicos. Las plantas del tratamiento regadas con ELEB acidulado con ácido nítrico presentaron una altura superior estadísticamente a la obtenida con el ácido fosfórico, y finalmente las plantas de los tratamientos de menor desarrollo fueron los de ácidos orgánicos, sin diferencia estadística entre ellos. Hubo una fuerte reducción del crecimiento de las plantas de alrededor del 50 % en los tratamientos acidulados con ácidos orgánicos. El escaso crecimiento de estas plantas pudo deberse principalmente a la insuficiencia de nitrógeno aprovechable y forman sales orgánicas de baja ionización que se inactivan y por lo tanto disminuye su disponibilidad para la planta, por ello al analizar

CUADRO 3. Contenido de calcio, amonio y hierro en el estiércol líquido a diferente pH, tratado con ácidos orgánicos e inorgánicos.

pH del estiércol líquido	Acidulantes											
	Ácido nítrico			Ácido fosfórico			Ácido cítrico			Ácido acético		
	Ca	NH <sub>4</sub>	Fe	Ca	NH <sub>4</sub>	Fe	Ca	NH <sub>4</sub>	Fe	Ca	NH <sub>4</sub>	Fe
	mg·litro <sup>-1</sup>											
8.2	80	82	0.82	80	82	0.82	80	82	0.82	80	82	0.82
7.5	81	94	0.88	82	118	0.85	80	48	0.70	80	52	0.78
6.5	135	156	0.94	133	155	0.86	61	20	0.70	59	21	0.72
5.5	148	154	0.92	152	174	0.91	50	12	0.63	51	14	0.69

**CUADRO 4. Concentración nutrimental inicial y final del extracto líquido de estiércol bovino con CE de 2.0 dS·m<sup>-1</sup>, usado en el riego de plantas de chile pimiento morrón, acidulado con cuatro ácidos y comparado con la solución nutritiva de Steiner.**

Nutriente	Solución Nutritiva de Steiner	ELEB + Ácido Fosfórico		ELEB + Ácido Nítrico		ELEB + Ácido Cítrico		ELEB + Ácido Acético	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
<b>mg·litro<sup>-1</sup></b>									
Ca	180	44	33	63	46	33	26	35	33
Mg	48	57	58	56	53	47	37	49	37
K	273	327	24	309	20	314	28	319	24
N-NO <sub>3</sub>	168	49	17	704	809	13	11	26	20
P	31	340	161	28	4	10	7	10	2
S-SO <sub>4</sub>	112	44	61	47	56	58	43	61	49
N-NH <sub>4</sub>	-	111	2.0	111	1.0	2.0	0.5	2.0	1.0
Na	-	136	95	150	146	140	96	139	92
Fe	5.0	0.05	0.08	0.02	0.10	0.04	0.08	0.04	0.09
B	0.5	0.33	0.17	0.22	0.11	0.08	0.11	0.11	0.12
Mn	0.5	0.29	0.03	0.16	0.06	0.02	0.06	0.02	0.03
Cu	0.04	0.04	0.08	0.03	0.08	0.04	0.02	0.03	0.02
Zn	0.05	0.08	0.15	0.10	0.14	0.06	0.09	0.07	0.10

las soluciones al inicio y final de un periodo de riego el contenido de la mayoría de los nutrientes fue similar (Cuadro 4). La poca absorción y deficiencias de nutrientes en la planta se confirmó por el color amarillento de las hojas y una reducción en su contenido de clorofila, medido en unidades SPAD del 50 %. Esto sugiere que los metales quelatados por los aniones orgánicos pueden ser precipitados (Aguirre, 2001) y atrapados por las sustancias húmicas contenidas en la materia orgánica del estiércol (MacCarthy, 2002). Capulín *et al.* (2005), reportaron un pobre crecimiento y poca producción en plantas de jitomate regadas con soluciones de estiércol líquido acidulado con ácido cítrico.

Para las variables rendimiento y número de frutos por planta, destaca la superioridad estadística del tratamiento con ácido nítrico el cual fue cinco veces superior al

tratamiento con ácido fosfórico y 15 veces mayor que los tratamientos con ácidos orgánicos. La acidulación del ELEB con ácido nítrico favoreció una mayor disponibilidad de N para las plantas, por lo tanto lograron mayor desarrollo, retuvieron mayor cantidad de flores y en consecuencia tuvieron más frutos y mayor rendimiento por planta. En contraste, el tamaño del fruto no presentó diferencia significativa entre tratamientos, debido a que si una planta tiene pocos frutos, hay menor competencia entre ellos y logran un tamaño semejante a los de una planta más rendidora. El contenido de clorofila (medida en unidades SPAD) de las plantas nutridas con ELEB y ácido nítrico fue estadísticamente superior al de aquellas que recibieron ELEB con ácido fosfórico, y éstas a su vez superiores a las que llevaron ELEB más ácidos orgánicos.

**CUADRO 5. Parámetros de crecimiento y producción de plantas de chile pimiento morrón regadas con extracto líquido de estiércol bovino acidulado con cuatro ácidos y CE de 2.0 dS·m<sup>-1</sup>. (Valores promedio de cuatro repeticiones).**

Tratamientos	Altura (cm)	Núm. de frutos-planta <sup>-1</sup>	Rendimiento (g-planta <sup>-1</sup> )	Peso del fruto(g)	Clorofila (unidades SPAD)
ELEB+Ácido fosfórico	45.2 b <sup>z</sup>	11.8 b	811.2 b	68.97 a	45.88 b
ELEB+Ácido nítrico	62.0 a	63.5 a	4,069.6 a	64.10 a	58.56 a
ELEB+Ácido cítrico	27.8 c	4.9 b	261.2 b	53.52 a	33.98 c
ELEB+Ácido acético	31.2 c	4.7 b	276.0 b	58.97 a	31.30 c
DMS	4.77	10.7	615.4	28.48	4.39
C V (%)	6.12	27.06	38.73	24.71	5.51

<sup>z</sup>Cifras con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey a una P≤0.05.

CV: coeficiente de variación.

DMS: diferencia mínima significativa.

## CONCLUSIONES

Existe un abatimiento del contenido de  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ , Ca, Mg, P y Fe en el extracto líquido de estiércol bovino (ELEB) cuando se aciduló con ácidos orgánicos (cítrico y acético) que redujeron su disponibilidad y aprovechamiento por las plantas.

La aplicación de ácidos inorgánicos (nitrato y fosfato) al ELEB incrementó el contenido de la mayoría de nutrientes evaluados.

El mayor desarrollo y producción de chile pimiento morrón se obtuvo cuando el ELEB fue acidulado con ácido nítrico; no obstante se observa la necesidad de una complementación con sales de calcio, hierro y sulfatos para asemejarse a la solución Steiner en su composición química.

## LITERATURA CITADA

- AGUIRRE G., A. 2001. Química de los suelos ácidos, templados y tropicales. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México. pp 7-10.
- ALCANTAR G., G.; SANDOVAL V., M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial No. 10. SMCS. Chapingo, México. 56 p.
- BAR-JOSEF, B. 1991. Root excretions and their environmental effects. Influence on availability of phosphorus, pp. 529-557. *In: Plant Roots: The Hidden Half.* WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U (eds.). Dekker, New York.
- CAPULÍN-GRANDE, J.; NÚÑEZ-ESCOBAR, R.; ETCHEVERS-BARRA, J.; BACA-CASTILLO, G. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Revista Agrociencia* 35(3): 287-299.
- CAPULÍN-GRANDE, J.; NÚÑEZ-ESCOBAR, R.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; MARTÍNEZ-GARZA, A.; SOTO-HERNÁNDEZ, M. 2005. Producción de jitomate con estiércol líquido de bovino, acidulado con ácidos orgánicos e inorgánicos. *TERRA Latinoamericana* 23(2): 241-247.
- HOCKING, P. J. 2001. Organic acid exuded from roots in phosphorus uptake and aluminum tolerance of plants in acid soils. *Advances in Agronomy* 74: 63-97.
- JONES, D. L.; DARRAH, P. R. 1994. Role of root derived organic acid in the mobilization of nutrients in the rhizosphere. *Plant Soil* 166: 247-257.
- JONES, D. L. 1998. Organic acids in the rhizosphere. A critical review. *Plant Soil* 205: 25-44.
- KENNEY, D. R.; NELSON, D. W. 1982. Nitrogen inorganic forms, pp. 634-698. *In: Methods of Soil Analysis Part. 2.* MILLER, R. H.; KENNEY, D. R (eds.). 2<sup>nd</sup> edition. Am. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin, USA.
- LI, M., OSAKI, M., RAO, I. M.; TADANO, T. 1997. Secretion of phytase from the roots of several plant species under phosphorus-deficient conditions. *Plant Soil* 195: 191-169.
- LÓPEZ-BUCIO, J.; NIETO-JACOBO, M. F.; RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, V.; HERRERA-ESTRELLA, L. 2000. Organic acid metabolism in plants: from adaptative physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Science* 160: 1-13.
- LÓPEZ T., R.; CAMACHO R., V.; GUTIÉRREZ C., M. A. 1998. Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de trigo. *TERRA* 16: 43-48.
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2<sup>nd</sup>. Edition, ACADEMIC PRESS. San Diego, CA, USA. 889 p.
- MACCARTHY, P. 2002. The principles of humic substances. *Soil Science* 166(11): 738-751.
- MILLER, C. H.; McCOLLUM, R. E.; CLAIMON, S. 1979. Relationships between growth of bell peppers (*Capsicum annuum* L.) and nutrient accumulation during ontogeny in field environments. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104(6): 852-857.
- RABOY, V. 2001. Seeds for a better future "low phytate" grains help to overcome malnutrition and reduce pollution. *Trends in Plant Sci.* 6: 458-462.
- RAYMOND, G. 1999. Vegetables seed production. 2<sup>nd</sup> edition. University Press, Cambridge. London, England. pp. 231-235.
- RESH, H. M. 1991. Hydroponic food producción. Woodbridge Press Publishing Company. Santa Barbara, California, USA. 335 p.
- RICHARDSON, A. E. 1994. Soil microorganisms and phosphorus availability, pp.50-62. *In: Management of the Soil Biota in Sustainable Farming Systems.* PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. R.; GRACE, P. R (eds.). CSIRO, Melbourne, Australia.
- SAS Institute, Inc. 1997. SAS/STAT user's guide: Statistics. Release 6.12. Cary, NC.
- SCHEIBLE, W. R.; GONZÁLEZ-FONTES, A.; LAUERER, M.; MULLER-ROBER, B.; CABOCHE, M.; STITT, M. 1997. Nitrate acts as a signal to induce organic acid metabolism and repress starch metabolism in tobacco. *Plant Cell* 9: 783-798.
- SCHWENTESIUS, R. R.; GÓMEZ C., M. A. 1997. TLC y mercado hortícola. El caso del jitomate, pepino, chile bell y calabacita. CIESTAAM-UACH. Reporte de investigación 33. Chapingo, México. 61 p.
- STAUNTON, S.; LEPRINCE, F. 1996. Effect of pH and some organic anions on the solubility of soil phosphate: Implications for P bioavailability. *J. Soil Sci.* 47: 231-239.
- STEINER, A. A. 1984. The universal nutrient solution, pp. 633-649. *In: Proceedings of Sixth International Congress on Soilless Culture.* International Society For Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands.
- STROEHLEIN, J. L.; OEBKER, N. F. 1979. Effects of nitrogen and phosphorus on yields and tissue analysis of chilis peppers. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 10: 551-563.
- SWIFT, R. S. 2001. Humic substances and carbon sequestration. *Soil Sci.* 166: 858-871.
- TAKITA, E.; KOYAMA, H.; HARA, T. 1999. Organic acid metabolism in aluminum-phosphate utilizing cells of carrot (*Daucus carota* L.). *Plant Cell Physiol.* 40: 489-495.
- VARANINI, Z.; PINTON, R. 2001. Direct versus indirect effects of soil humic substances on plant growth and nutrition, pp. 141-158. *In: The Rhizosphere.* PINTON, R.; VARANINI, Z.; NANNIPIERI, P (eds.). Marcel Dekker, Inc., New York, USA.