

## Distribución mineral de plantas de tomate irrigadas con agua contaminada con benceno, diésel y gasolina

### Mineral distribution of tomato plants irrigated with water contaminated with benzene, diesel and gasoline

José Fernando Martel-Valles<sup>1</sup>, Eloy Cuevas-González<sup>2</sup>, Adalberto Benavides-Mendoza<sup>2</sup>, Luis Alonso Valdez-Aguilar<sup>2</sup>, Rahim Foroughbakhch-Pournavab<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, San Nicolás de los Garza, Ciudad Universitaria, CP. 66455, Nuevo León, México

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura, Saltillo, Coahuila, México

\*Autor de correspondencia: rahimforo@hotmail.com

Artículo científico recibido: 22 de mayo de 2015, aceptado: 8 de abril de 2016

**RESUMEN.** Como consecuencia de las actividades de producción de petróleo se obtienen aguas residuales con hidrocarburos y metales pesados. El objetivo fue evaluar la respuesta de las plantas de tomate a la aplicación diaria de benceno, diésel y gasolina, en concentraciones de 15 mg y 30 mg L<sup>-1</sup>. Se evaluó el efecto en la conductividad eléctrica (CE) y pH en los lixiviados del riego; en las variables morfológicas la composición mineral de planta y fruto, y la calidad del fruto. El pH de los lixiviados disminuyó con la aplicación de benceno y gasolina con 15 mg L<sup>-1</sup>, en contraste la CE aumentó con la aplicación de diésel y benceno con 15 mg L<sup>-1</sup> y gasolina con 30 mg L<sup>-1</sup>. El tratamiento con diésel de 30 mg L<sup>-1</sup> causó la muerte del 55 % de las plantas. La aplicación de benceno, diésel y gasolina no tuvo efecto significativo en las variables morfológicas, favoreciendo la acumulación de minerales en planta y modificando la distribución de los minerales en los diferentes órganos de la planta. En los frutos no se observó cambios en el pH y potencial de óxido reducción, mientras que el contenido de sólidos solubles totales disminuyó con gasolina a 30 mg L<sup>-1</sup> y la CE aumentó con el benceno y el diésel a 15 mg L<sup>-1</sup> y la gasolina a 30 mg L<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** Aguas residuales; calidad del fruto; contaminación con hidrocarburos; *Solanum lycopersicum* L.; translocación

**ABSTRACT.** As a result of oil production activities, wastewaters with hydrocarbons and heavy metals may be obtained. The objective was to evaluate the response of tomato plants treated with daily applications of benzene, diesel and gasoline at two concentrations: 15 and 30 mg L<sup>-1</sup>. The effect on electrical conductivity (EC) and pH in irrigation leachates, as well as on morphological variables, namely plant and fruit mineral composition and fruit quality, was evaluated. The pH of the leachate decreases with the application of benzene and gasoline at 15 mg L<sup>-1</sup>; by contrast, EC increases by applying diesel and benzene at 15 mg L<sup>-1</sup> and gasoline at 30 mg L<sup>-1</sup>. Treatment with 30 mg diesel L<sup>-1</sup> caused the death of 55 % of the plants. The application of benzene, diesel and gasoline had no significant effect on morphological variables, favoring the accumulation of minerals in the plant but changing the distribution of micro and macro elements in its different organs. In fruits, no changes in Ph or redox potential were observed, while total soluble solids decreased with gasoline at 30 mg L<sup>-1</sup> and EC increased with benzene and diesel at 15 mg L<sup>-1</sup> and gasoline at 30 mg L<sup>-1</sup>.

**Key words:** Fruit quality; oil pollution; *Solanum lycopersicum* L.; translocation

## INTRODUCCIÓN

El término hidrocarburos totales de petróleo

(HTP) se utiliza para describir compuestos químicos que se originan del petróleo crudo (USEPA 2014); de acuerdo con la SEMARNAT (2003a) se divi-

den en hidrocarburos de fracción pesada (HFP), hidrocarburos de fracción media (HFM) e hidrocarburos de fracción ligera (HFL). Los productos comunes derivados del petróleo que los contienen son el petróleo crudo, el diésel y la gasolina, respectivamente. De acuerdo con la norma, el petróleo crudo y la gasolina contienen benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (SEMARNAT 2003a). Producto de las actividades antropogénicas se obtienen aguas residuales, que entre otros compuestos, pueden contener metales pesados e hidrocarburos (Wild y Jones 1992).

La industria petrolera todos los días extrae millones de barriles de aguas congénitas como subproducto (Manfra et al. 2010); las cuales pueden contener sales disueltas, sólidos en suspensión, metales pesados, hidrocarburos y microorganismos (ARPEL 2012, Martel-Valles et al. 2013). Pero también pueden contener minerales esenciales para la nutrición de las plantas como  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $Cl^-$  y  $NO_3^-$  (Martel-Valles et al. 2014). Pero los hidrocarburos pueden acumularse en los seres vivos (Hellou et al. 2009) mediante la inhalación de vapores y partículas, ingestión directa y contacto (Bramard y Beck 1992), lo que representa un riesgo para la salud (Khan et al. 2008). En el caso de las plantas, los hidrocarburos pueden producir efectos negativos como retraso en la germinación, disminución de la biomasa y del área foliar (Adam y Duncan 2002). Hay diferentes grados de sensibilidad a los hidrocarburos entre las plantas de acuerdo con la especie (Manfra et al. 2010). En México la NOM-001-ECOL-1996 (SEMARNAT 1996) establece un límite de  $15 \text{ mg L}^{-1}$  diario y  $25 \text{ mg L}^{-1}$  promedio mensual para grasas y aceites en el agua de riego. Considerando la evidencia de que las aguas residuales con hidrocarburos se han utilizado para riego (Song et al. 2006). Estudios recientes indican que el benceno en los seres humanos y animales puede causar efectos negativos en el ADN (FAO y OMS 2009). Por lo anterior el objetivo del presente estudio fue determinar la respuesta del cultivo de tomate a la aplicación de gasolina, diésel y benceno.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México; con coordenadas  $25^\circ 22' \text{ LN}$  y  $101^\circ 00' \text{ LO}$  con altitud de 1 760 msnm. El periodo del cultivo fue del 13 de marzo al 14 de agosto de 2014; la siembra de las semillas de tomate tipo Saladette (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Río Grande de hábito de crecimiento determinado se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades; 38 d después de la siembra (dds) se realizó el trasplante en contenedores de polietileno rígido de color negro de volumen de 16 L, usando como sustrato una mezcla de turba ácida y perlita (1:1 v/v). Antes de iniciar los tratamientos las plantas se fortalecieron por 16 d con la solución nutritiva Steiner al 25 % (Steiner 1961).

La irrigación de las plantas realizó todos los días por medio de un sistema de riego por goteo, proporcionado flujo a las 9, 13 y 18 h; en los primeros dos riegos se aplicó solución nutritiva Steiner, la cual se fue incrementando en concentración de acuerdo con la etapa de crecimiento. El volumen de agua aplicado en cada riego fue de 500 mL, el pH se controló con la adición de  $H_2SO_4$ . Los tratamientos consistieron en la aplicación diaria diésel con HFM, gasolina con HFL y benceno con HFL (SEMARNAT 2003a). Se utilizaron las concentraciones de  $15 \text{ mg L}^{-1}$  y  $30 \text{ mg L}^{-1}$  aplicados en 500 mL. El manejo del cultivo consistió en la realización de labores culturales de poda y tutorado recomendadas para tomate bajo invernadero.

Se determinó el pH y la conductividad eléctrica (CE) en los lixiviados de cinco macetas tomadas al azar de cada tratamiento después del tercer riego del día con un equipo portátil marca HANNA modelo HI 98130. Las variables se evaluaron desde el día 54 al 108 después del trasplante (ddt). Las variables morfológicas se tomaron en cuatro plantas tomadas azar en cada tratamiento en fructificación a los 80 ddt. Las cuales fueron altura medida de la planta, tomada desde la base del tallo a la parte apical con un

flexómetro marca Truper de 3 m graduado en cm; diámetro de tallo, medido en la base del tallo con un Vernier digital Starrett modelo 799A; peso seco de la hoja y tallo, que se determinó deshidratando las muestras en una estufa de secado marca Mapsa modelo HDP 334 a 60 °C por 72 h, para luego pesarlas en una báscula digital Ohaus. El peso seco de los frutos se obtuvo de la sumatoria de cinco cortes de frutos maduros, realizados a cinco plantas por tratamiento a los 80, 87, 94, 101 y 108 ddt, para lo cual se deshidrataron y pesaron.

El contenido de K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn y Mn en raíz, tallo, hoja y fruto, se determinó en cuatro plantas tomadas al azar a los 80 ddt, las muestras se deshidrataron en una estufa marca Mapsa modelo HDP 334 a 60 °C por 72 h, posteriormente el tejido vegetal se digirió con HNO<sub>3</sub> y HClO<sub>4</sub>, para luego filtrar y analizar con un espectrofotómetro de absorción atómica marca Varian AA de acuerdo con los métodos de la AOAC (1980), respectivos. El P en raíz, tallo, hoja y fruto, se determinó con el filtrado proveniente de la digestión, con el método espectrofotométrico con el reactivo aminonaphthol de ácido sulfónico ANSA (Harris y Popat 1954) con un espectrofotómetro UV-Vis modelo Helios Epsilon a longitud de onda de 640 nm. La determinación del N en raíz, tallo, hoja y frutos, se realizó con el método Micro-Kjeldahl (AOAC 1980), para lo cual las muestras se digirieron con ácido sulfúrico y mezcla reactiva de selenio, el filtrado proveniente de la digestión se destiló y por medio de titulación se obtuvo la concentración de NH<sub>3</sub>.

Para evaluar la calidad de fruto se seleccionaron cinco frutos de cinco plantas seleccionadas al azar del primer corte de frutos a los 80 ddt, en los que se determinó el contenido de sólidos solubles totales (SST), pH, conductividad eléctrica (CE) y potencial de óxido reducción (POR). El contenido de SST se realizó en la pulpa de cinco frutos macerados de los que se colocó una gota en un refractómetro marca ATAGO. El pH y CE se midieron con un equipo portátil marca HANNA modelo HI 98130 y el POR se determinó con un potenciómetro HANNA modelo HI 98121. Para determinar la distribución

mineral, se sumó la concentración total por planta en mmol kg<sup>-1</sup> de peso seco de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn y Mn, en raíz, tallo, hoja y fruto. Para luego determinar el porcentaje localizado en cada parte de la planta.

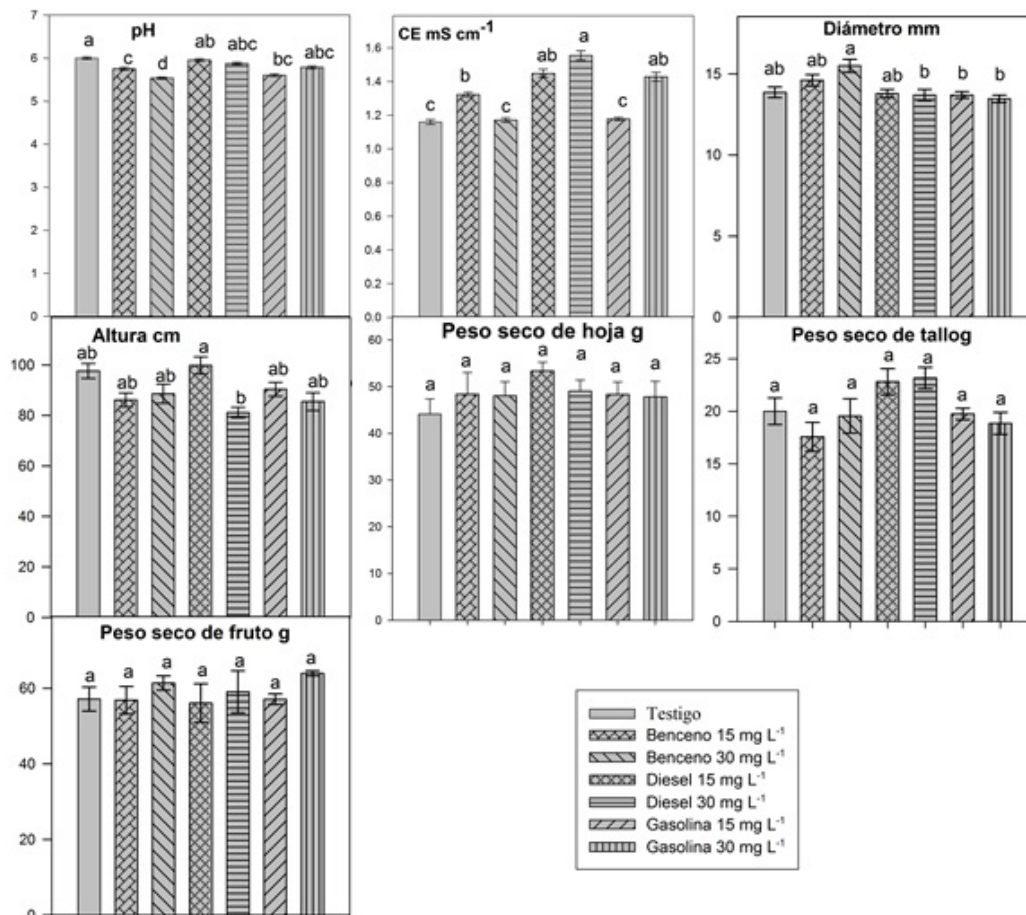
El diseño experimental fue completamente al azar con siete tratamientos y 20 repeticiones por tratamiento, los tratamientos fueron las aplicaciones de gasolina, diésel, y benceno a 15 y 30 mg L<sup>-1</sup> cada uno, más el testigo sin hidrocarburos; la unidad experimental fue una maceta con una planta. El análisis estadístico se realizó por medio de un análisis de varianza (ANVA) y prueba de medias DMS de Fisher ( $\alpha \leq 0.05$ ) con el paquete estadístico Statsoft Statistica (Statistica 2007).

## RESULTADOS

La aplicación de gasolina, diésel y benceno tuvo el pH de los lixiviados entre 5.5 a 6.5. Estando los tratamientos con benceno y gasolina con 15 mg L<sup>-1</sup> en el límite inferior (Figura 1). Los tratamientos provocaron que la CE de los lixiviados (Figura 1), se incrementara en todos los tratamientos, con excepción del benceno a 30 y gasolina a 15 mg L<sup>-1</sup>, que tuvieron valores bajos. Los tratamientos no tuvieron efectos significativos en el diámetro de tallo, altura de planta, peso seco de hoja, peso seco de tallo y peso seco de fruto (Figura 1). El tratamiento con 30 mg L<sup>-1</sup> de diésel ocasionó daño en la parte basal del tallo, lo que provocó la muerte del 55 % de las plantas.

La aplicación de hidrocarburos modificó la distribución de nutrimentos en las diferentes partes de la planta (Figura 2), excepto en el fruto, en donde el porcentaje de minerales en la mayoría de los tratamientos fue igual al testigo. En los tratamientos que mostraron menor contenido mineral en los frutos se observó mayor concentración en la raíz, como el caso del Na con 15 mg L<sup>-1</sup> de benceno, del P y Cu con 15 mg L<sup>-1</sup> de diésel, del Mn con 30 mg L<sup>-1</sup> de diésel, del K con 30 mg L<sup>-1</sup> de benceno y, del Mg y Fe con 15 mg L<sup>-1</sup> de gasolina (Figura 2).

En el fruto, el pH y POR no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Figura



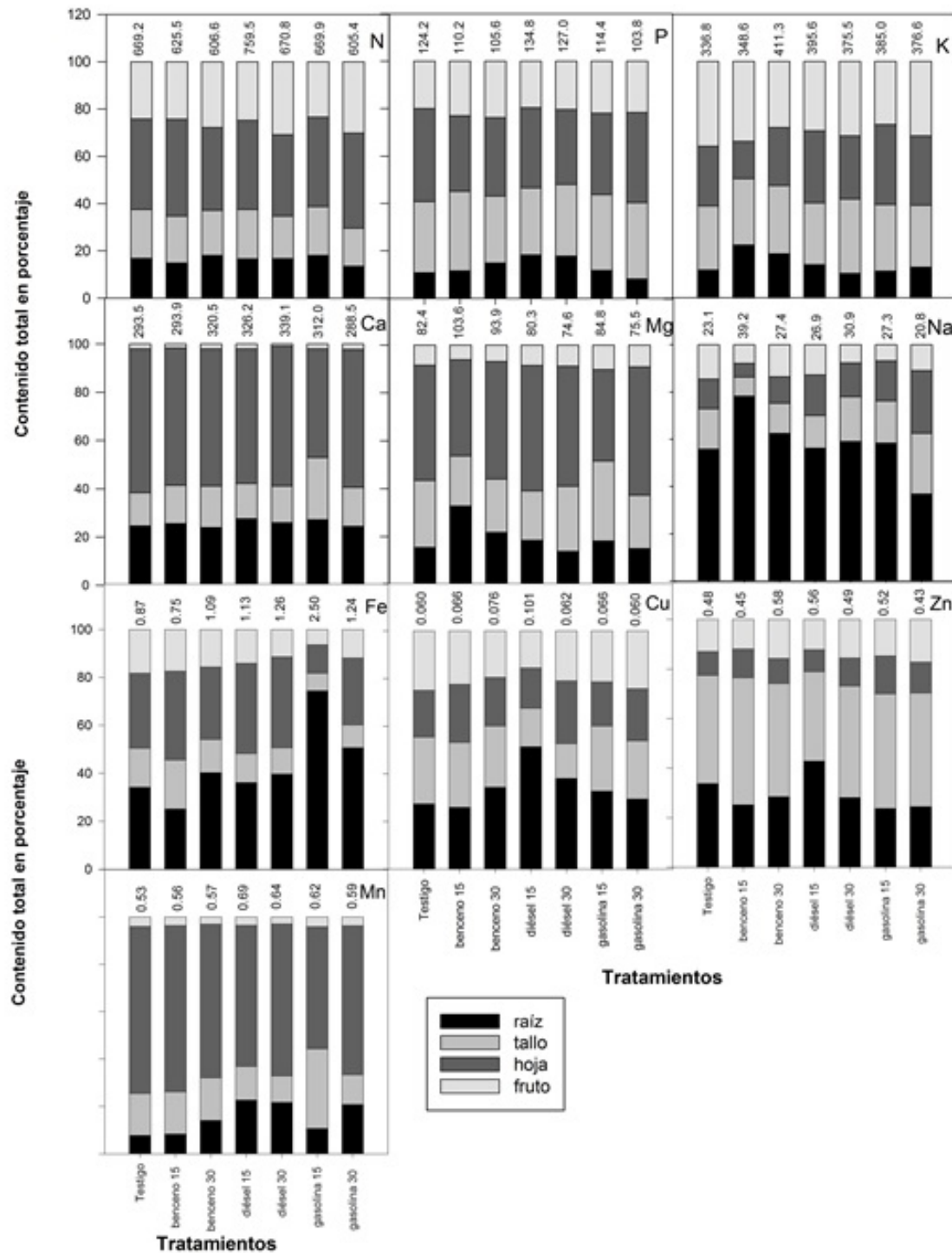
**Figura 1.** pH y conductividad eléctrica (CE) de los y variables de planta medidas en plantas de tomate tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ( $\alpha \leq 0.05$ ). Las barras representan el error estándar de la media.

3). Los tratamientos con 15 mg L<sup>-1</sup> de benceno y diésel, y gasolina con 30 mg L<sup>-1</sup> incrementaron la CE en el fruto. Mientras que el tratamiento con gasolina a 30 mg L<sup>-1</sup> disminuyó el contenido de SST. En los frutos el tratamiento de 30 mg L<sup>-1</sup> de gasolina limitó la concentración de P y Na, mientras que el tratamiento con 30 mg L<sup>-1</sup> de diésel limitó la concentración de Ca, Na y Cu, la gasolina a 15 mg L<sup>-1</sup> limitó la concentración de Na y el benceno a 15 mg L<sup>-1</sup> la concentración de Ca (Figura 4).

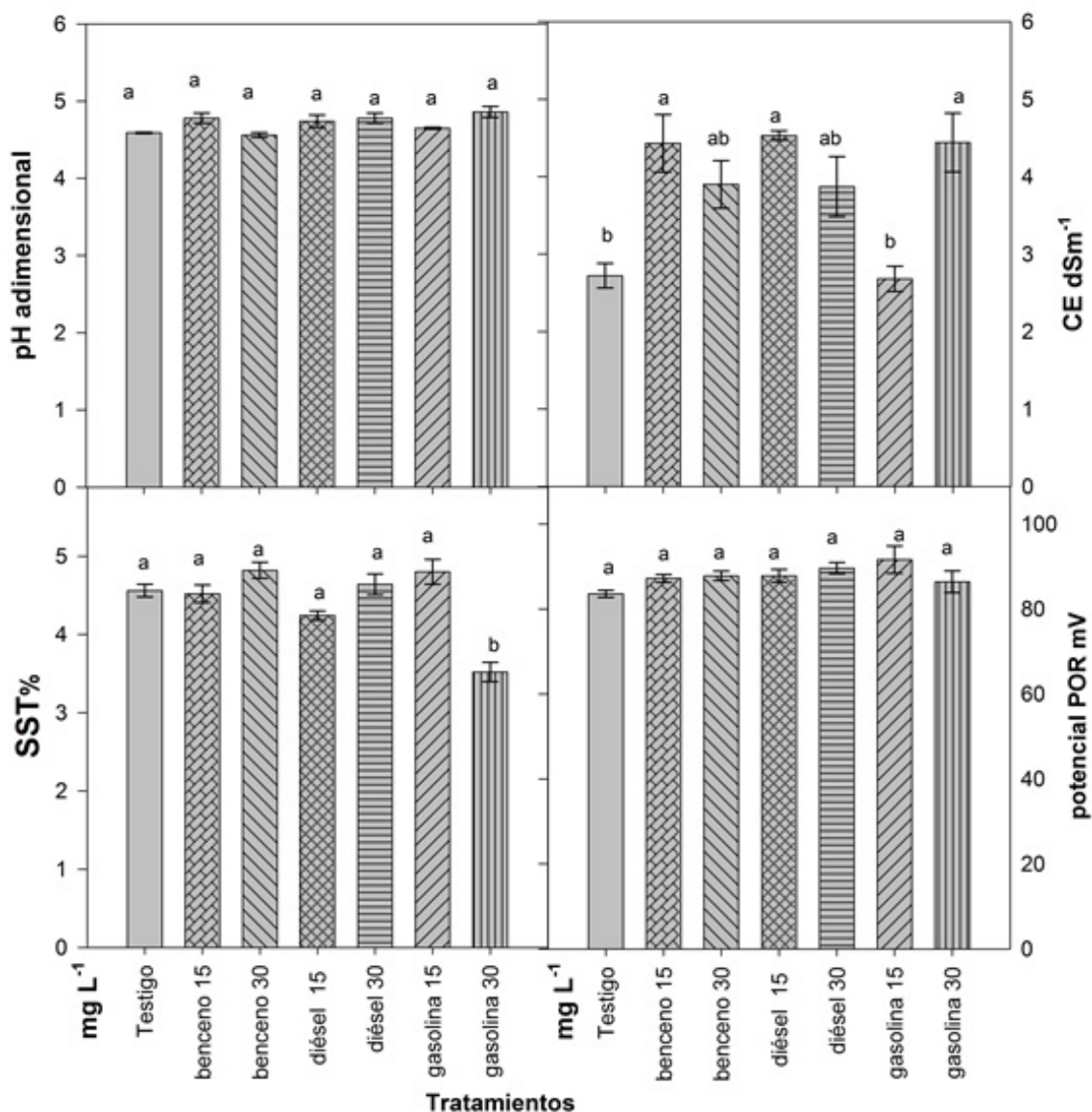
## DISCUSIÓN

La disminución del pH en los lixiviados de las

plantas con 15 mg L<sup>-1</sup> de benceno y gasolina fue causada por los HFL, ya que estos al ser absorbidos por las plantas producen efectos fitotóxicos (Henner *et al.* 1999) y en condiciones de estrés las plantas incrementan su actividad liberando una mayor cantidad de H<sup>+</sup> por la raíz, lo que acidifica el medio (Neumann y Römheld 2007). La CE estuvo de leve a moderada de acuerdo con la guía de calidad de agua de riego (Ayers y Wescot 1985), pero en los tratamientos con 15 mg L<sup>-1</sup> de benceno y 30 mg L<sup>-1</sup> de gasolina se tuvo aumento de la CE de los lixiviados, lo que puede deberse al efecto toxico de los hidrocarburos (Pettenello *et al.* 2014). Esto ocasiona una menor asimilación de nutrientes y ma-



**Figura 2.** Distribución mineral en raíz, tallo, hoja y fruto de plantas de tomate tratadas con solución nutritiva Steiner (Testigo) y dos concentraciones de benceno diésel y gasolina. Los valores en la parte superior de las barras representan la concentración total absorbida en mmol kg<sup>-1</sup>.

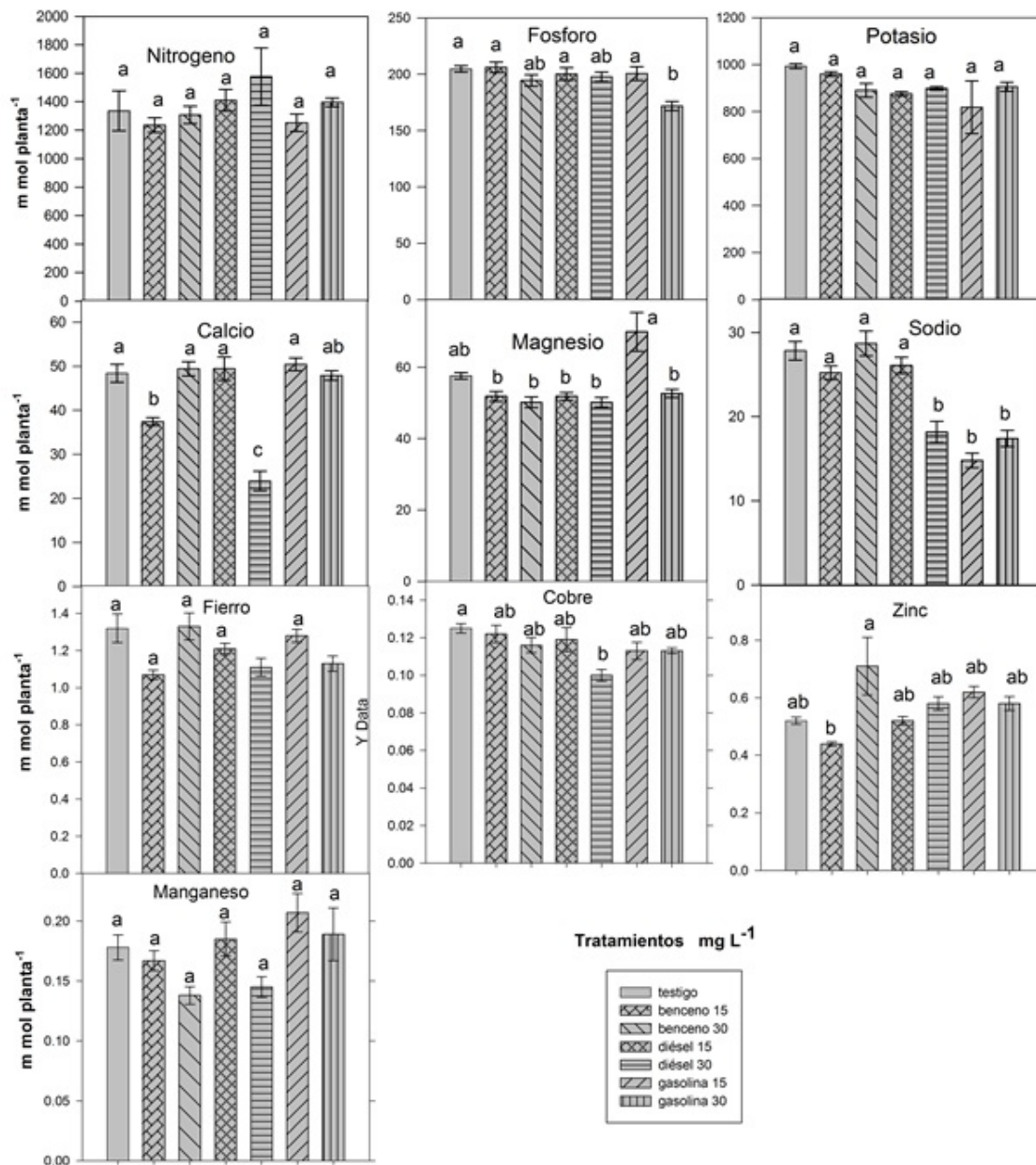


**Figura 3.** Variables evaluadas en frutos de plantas de tomate tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ( $\alpha \leq 0.05$ ). Las barras representan el error estándar de la media.

mayor acumulación de sales en el lixiviado (Cadaña 2005). El diésel en concentración de 30 mg L<sup>-1</sup> causó la muerte del 55 % de las plantas, este efecto tóxico posiblemente se deba a la capacidad del diésel de promover la generación de especies reactivas de oxígeno (Li *et al.* 2009). Lo que coincide con Martel-Valles *et al.* (2013 y 2014), quienes encontraron que el riego con aguas congénitas que

contienen HFM causan la muerte de las plantas de tomate. Sin embargo, se ha reportado que las aguas residuales con hidrocarburos, tienen minerales esenciales para las plantas, por lo que podrían utilizarse como agua de riego (Wild y Jones 1992, Martel-Valles *et al.* 2013). Que las plantas no mostraran cambios notables en las variables morfológicas por efecto del riego con hidrocarburos, se





**Figura 4.** Nutrientes acumulados en fruto de plantas de tomate tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con de Fisher ( $\alpha \leq 0.05$ ). Las barras representan el error estándar de la media.

debe a que la toxicidad depende de la especie y la concentración del hidrocarburo (Sharonova y Breus 2012). Al respecto Martel-Valles et al. (2013) encontraron que las aguas congénitas con HFM disminuyen el rendimiento y la biomasa del tomate; mientras que Trejo et al. (2013) encontraron que

en pasto *Brachiaria* disminuye la producción de biomasa. Sobre esto mismo Martel-Valles et al. (2014) reportan que la aplicación de hidrocarburos causó un desbalance nutricional que se reflejó en cambios en la distribución mineral en la planta de

tomate. El porcentaje de N y Zn se incrementó en los frutos de los tratamientos con 30 mg L<sup>-1</sup> de hidrocarburos, debido a que en condiciones de estrés las plantas movilizan nutrimentos y azúcares a los sitios de reserva (de la O-Quezada *et al.* 2011). Mientras que Redondo-Gómez *et al.* (2014) encontraron que el diésel favoreció la asimilación de nutrimentos y no afectó el estado nutricional de *Spartina argentinensis*.

La calidad de fruto, fue favorecida con un incremento en la CE en plantas tratadas con benceno a 15 mg L<sup>-1</sup>, diésel a 15 mg L<sup>-1</sup> y gasolina a 30 mg L<sup>-1</sup>, debido a que cuando las plantas presentan algún grado de estrés movilizan los minerales a los sitios de reserva (Álvarez-Herrera 2016); el estrés también causó el cambio en la distribución mineral (Figura 2). El tratamiento de gasolina con 30 mg L<sup>-1</sup> disminuyó el contenido de SST, al respecto Casierra-Posada y Poveda (2005) reportan la disminución de la producción de azúcares en plantas expuestas a gasolina. En el fruto la concentración de P y Na disminuyó en el tratamiento con 30 mg L<sup>-1</sup> de gasolina, debido a su efecto tóxico (Casierra-Posada y Poveda 2005), lo que se reflejó en la disminución del contenido de SST. El tratamiento de diésel con 30 mg L<sup>-1</sup> limitó la concentración de Ca, Na y Cu por el efecto tóxico causado por los HFM (Martel *et al.* 2014), lo que contribuyo

con el incremento de la CE en los lixiviados (Figura 1). En contraste Redondo-Gómez *et al.* (2014) encontraron que la aplicación de diésel incrementó la concentración de la mayoría de los nutrientes en *Spartina argentinensis*. La gasolina a 15 mg L<sup>-1</sup> disminuyó la concentración de Na en el fruto, por la toxicidad causada (Fernández-Luqueño *et al.* 2012) y el benceno de 15 mg L<sup>-1</sup> disminuyó la concentración de Ca en el fruto, quizá por el pH bajo (Figura 1), lo que se reflejó en una mayor CE en los lixiviados.

## CONCLUSIONES

El pH en los lixiviados de plantas de tomate disminuye con la aplicación de benceno a 15 y 30 mg L<sup>-1</sup> y la gasolina a 30 mg L<sup>-1</sup>. La aplicación de benceno, diésel y gasolina provocó que la CE de los lixiviados se incremente. La aplicación de 30 mg L<sup>-1</sup> de diésel causó la muerte del 55 % de las plantas, no se observó este efecto en el benceno y la gasolina. Los tratamientos con benceno, diésel y gasolina modificaron la distribución de minerales en los diferentes órganos de la planta de tomate. Los tratamientos con 15 y 30 mg L<sup>-1</sup> de diésel aumentaron la concentración de nutrimentos en la raíz, tallo, hojas y fruto.

## LITERATURA CITADA

- Álvarez-Herrera JG, Fischer G, Vélez-Sánchez JE (2016) Producción de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 9: 222-233.
- Adam G, Duncan H (2002) Influence of diesel fuel on seed germination. *Environmental Pollution* 120: 363-370.
- AOAC (1980) Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. 13th Edition. Washington, DC, USA. 1018p.
- ARPEL (2012) Disposición y tratamiento de agua producida. Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe. Guía ambiental. Alberta, Canada. 111p.
- Ayers RS, Westcot DW (1985) Water quality for agriculture. FAO Irrigation and drainage. Paper 29. Rome, Italy. 174p.
- Bramard J, Beck BD (1992) A review of the bioavailability of petroleum constituents. *Journal of Soil Contamination* 1: 273-307.



- Cadahía LC (2005) Fertirrigación de cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3a Edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 681p.
- Casierra-Posada F, Poveda J (2005) La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria* sp. cv. Camarosa). *Agronomía Colombiana* 23: 284-289.
- de la O-Quezada GA, Ojeda-Barrios DL, Hernández-Rodríguez O A, Sánchez-Chávez E, Martínez-Tellez J (2011) Biomasa, prolina y parámetros nitrogenados en plántulas de nogal bajo estrés hídrico y fertilización nitrogenada. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17: 13-18.
- FAO, OMS (2009) Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. Documento de debate sobre los bencenos en los refrescos. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Organización Mundial de la Salud. Comité del CODEX sobre contaminantes de los alimentos. Tercera reunión. Róterdam. Países Bajos. [ftp://193.43.36.92/codex/Meetings/CCCF/cccf3/cf03\\_10s.pdf](ftp://193.43.36.92/codex/Meetings/CCCF/cccf3/cf03_10s.pdf). Fecha de consulta 18 de marzo de 2015.
- Fernández-Luqueño F, Corlay-Chee L, Robledo-Santoyo E, Pineda-Pineda J, Vázquez-Alarcón A, Miranda-Romero LA et al. (2012) Growth and development of common vetch (*Vicia sativa* L.) in a gasoline-polluted soil amended with organic or inorganic amendments. *African Journal of Agricultural Research* 7: 1259-1267.
- Ferrera-Cerrato R, Rojas-Avelizapa NG, Poggi-Varaldo HM, Alarcón A, Cañizares-Villanueva RO (2006) Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 48: 179-187.
- Harris WD, Popat P (1954) Determination of the phosphorus content of lipids. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 31: 124-127.
- Hellou J, Johnston D, Cheeseman K, Gronlund A, Desnoyers E, et al. (2009) Bioavailability and bioaccumulation of pah in smphipods exposed to reference and harbor sediments. *Polycyclic Aromatic Compounds* 29: 12-27.
- Henner P, Schiavon M, Druelle V, Lichtfouse E (1999) Phytotoxicity of ancient gaswork soils. Effect of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on plant germination. *Organic geochemistry* 30: 963-969.
- Li Q, Wyatt A, Kamens RM (2009) Oxidant generation and toxicity enhancement of aged-diesel exhaust. *Atmospheric Environment* 43: 1037-1042.
- Khan S, Aijun L, Zhang S, Hu Q, Zhu YG (2008) Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in lettuce grown in the soils contaminated with long-term wastewater irrigation. *Journal of Hazardous Materials* 152: 506-515.
- Manfra L, Maggi C, Bianchi J, Mannozi M, Faraponova O, Mariani L, et al. (2010) Toxicity evaluation of produced formation waters after filtration treatment. *Natural Science* 2: 33-40.
- Martel-Valles JF, Benavides-Mendoza A, Valdez-Aguilar LA, Juárez-Maldonado A, Ruiz-Torres NA (2013) Effect of the application of produced water on the growth, the concentration of minerals and toxic compounds in tomato under greenhouse. *Journal of Environmental Protection* 4: 138-146.
- Martel-Valles JF, Benavides-Mendoza A, Mendoza-Villarreal R, Zermeño-Gonzalez A, Juárez-Maldonado A (2014) Agronomic use of produced water in tomato plants (*Lycopersicon Esculentum* L.) under greenhouse conditions. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 30: 365-377.

- Megharaj M, Singleton I, McClure NC, Naidu R (2000) Influence of petroleum hydrocarbon contamination 303 on microalgae and microbial activities in a long-term contaminated soil. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 38: 439-445.
- Neumann G, Römheld V (2007) The release of root exudates as affected by the plant physiological status. En: Pinton R, Varanini Z, Nannipieri P (eds.). *The Rhizosphere biochemistry and organic substances at the soil?plant interface*. 2a ed. CRC Press/Taylor and Francis. New York, USA pp: 23-72.
- Petenello MC, Beltrán C, Feldman SR (2014) Efecto del agregado de diesel-oil sobre algunos parámetros microbiológicos del suelo con y sin presencia de plantas. *Terra Latinoamericana* 32: 301-309.
- Redondo-Gómez S, Petenello MC, Feldman SR (2014) Growth, nutrient status, and photosynthetic response to diesel-contaminated soil of a cordgrass, *Spartina argentinensis*. *Marine Pollution Bulletin* 79: 34-38.
- SEMARNAT (1996) Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación* el 6 de enero de 1997.
- SEMARNAT (2003a) Norma Oficial Mexicana, NOM-138-SERMANAT/SS-2003. Límites permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación. *Diario Oficial de la Federación* el 29 de marzo de 2005.
- SEMARNAT (2003b) Norma Oficial Mexicana NOM-143-SEMARNAT-2003. Que establece las especificaciones ambientales para el manejo de agua congénita asociada a hidrocarburos *Diario Oficial de la Federación* el 3 de marzo de 2005.
- Sharonova N, Breus I (2012) Tolerance of cultivated and wild plants of different taxonomy to soil 332 contamination by kerosene. *Science of the Total Environment* 424: 121-129.
- Song YF, Wilke BM, Song XY, Gong P, Zhou QX, Yang GF (2006) Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and heavy metals (HMs) as well as their genotoxicity in soil after long-term wastewater irrigation. *Chemosphere* 65: 1859-1868.
- Statsoft, Statistica (2007) 8.0, 2300 East 14 th St. Tulsa, OK 74104: 1984-2007.
- Steiner AA (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15: 134-154.
- Trejo D, Moreira C, Bañuelos I, Lara L, Alafita G, Reyes A (2013) Effect of diesel and biodiesel on the growth of *Brachiaria decumbens* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 16: 391-398.
- USEPA (2014) United States Environmental Protection Agency. What are total petroleum hydrocarbons <http://www.epa.gov/region1/eco/uep/tph.html>. Fecha de consulta 18 de febrero de 2015.
- Wild SR, Jones KC (1992) Organic chemicals entering agricultural soils in sewage sludges: screening for their potential to transfer to crop plants and livestock. *Science of the Total Environment* 119: 85-119.