

Lodo industrial textil en la producción de hortensias (*Hydrangea macrophylla* L.) en maceta*

Textile industrial sludge in the production of potted hydrangea (*Hydrangea macrophylla* L.)

Emilio Bautista-Vargas¹, Adalberto Benavides-Mendoza¹, Maria de las Nieves Rodríguez Mendoza², José Antonio González-Fuentes¹, Valentín Robledo-Torres¹ y Alberto Sandoval-Rangel^{1§}

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Departamento de Horticultura. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo Coahuila, México. C. P. 25315. Tel: 844 411-0303. ²Colegio de Postgraduados-Programa de Edafología. Montecillo, Texcoco Estado de México. [§]Autor para correspondencia: alberto.sandoval@uaaan.mx.

Resumen

Los lodos industriales constituyen un serio problema ambiental. Su uso como abono orgánico es la práctica más aceptada desde el punto de vista ecológico y económico. El uso agrícola de lodos mejora ciertas propiedades físicas del suelo, a la vez de servir como complemento de la fertilización, pero el manejo inadecuado presenta algunos riesgos por la acumulación de elementos potencialmente tóxicos en los suelos, los cuales pueden ser absorbidos por los cultivos y pasar así a la cadena trófica. El presente estudio tuvo como objetivo, buscar alternativas para el uso de los lodos industriales textiles y darle un valor agregado como sustrato en la producción de hortensia (*Hydrangea macrophylla* L.). Se evaluaron cuatro concentraciones de lodo: 0, 10, 20 y 30%, usándose turba ácida como sustrato base, en un diseño experimental completamente al azar con 15 repeticiones siendo la unidad experimental una planta. Los resultados de este estudio mostraron que es factible utilizar el lodo industrial textil en concentraciones de 10%, sin efectos negativos sobre el crecimiento y composición química de las plantas, elevando la concentración de potasio en las inflorescencias y los tallos. Concentraciones superiores a 10%, disminuyeron el crecimiento de la planta, presumiblemente debido al aumento en la CE en el sustrato.

Abstract

Industrial sludge is a serious environmental problem. Its use as mulch is the most accepted practice from an ecologically and economically point of view. The use of sludge in agriculture improves certain physical properties of the soil, serving as a complement to fertilization, but an inadequate management has some risks for the accumulation of potentially toxic elements in soils, which can be absorbed by crops and enter the food chain. The objective of the present study is to search alternatives for the use of industrial textile sludge and provide value added as substrate in the production of hydrangea (*Hydrangea macrophylla* L.). Four sludge concentrations were tested: 0, 10, 20 and 30%, using peat as base substrate, in a completely randomized design with 15 replications, being the experimental unit one plant. The results of this study showed that it is feasible to use textile industrial sludge in 10% concentrations, without negative effects on growth and chemical composition of plants, increasing the concentration of potassium in the inflorescences and stems. Concentrations above 10% decreased plant growth, presumably due to the increase of EC in the substrate.

Keywords: mineral, organic fertilizers.

* Recibido: marzo de 2015
Aceptado: junio de 2015

Palabras clave: fertilización orgánica, minerales.

Introducción

Como consecuencia de las actividades industriales se generan algunos subproductos como aguas residuales y lodos o sólidos, que tienen la posibilidad de ser utilizados en la práctica agrícola como mejoradores de suelo o fuente de nutrientes minerales (Castro *et al.*, 2007; Barbarick *et al.*, 2012). Un lodo residual es una materia orgánica húmeda con cierta cantidad de aditivos, entre los cuales hay algunos componentes de interés y otros cuya presencia es indeseable por su posibilidad de contaminación (Ortiz-Hernández *et al.*, 1995; Datta y Yung, 2005). Las características físicas y químicas de los lodos varían en función de su origen: urbano o industrial y del tipo de procesos al que son sometidos (Cooper, 2005).

Un manejo adecuado de los lodos industriales o municipales puede beneficiar la calidad del suelo debido a la incorporación de elementos nutritivos y materia orgánica (Castro *et al.*, 2007). Sin embargo, el manejo inadecuado de los residuos constituye una fuente de problemas ambientales, como la contaminación de suelos, aguas subterráneas, la emisión de gases perjudiciales, humos y malos olores (Esteller, 2002), además los lodos pueden contener metales pesados, materia fecal y contaminantes orgánicos (Datta y Young, 2005).

La posibilidad de contaminar suelos y aguas subterráneas constituye su principal limitante, de ahí que su uso deba acompañarse de una adecuada planeación y supervisión (Otero *et al.*, 1996). Por razones prácticas y económicas la aplicación de lodos residuales es una práctica habitual en países desarrollados (Ottaviani *et al.*, 1991; Mendoza *et al.*, 2010). Entre los efectos positivos que proporciona la incorporación de lodos industriales a los suelos, se citan, mayor estabilidad de los agregados, elevación de la capacidad del intercambio catiónico, y del nivel de fertilidad y del contenido de materia orgánica, además de la mejora de la retención hídrica (Alloway and Jackson, 1990).

Los lodos se han utilizado en la silvicultura para incrementar la productividad forestal, reforestar y estabilizar áreas deforestadas o perturbadas por la minería, la construcción, los incendios, el sobrepastoreo, erosión u otros factores (Brown *et al.*, 2003). Asimismo, la aplicación de lodos en cultivos, ha mostrado efectos positivos en *Pinus douglasiana* y maíz (Salcedo *et al.*, 2007) y tomate rojo

Introduction

As consequence from industrial activities some byproducts are generated like waste water and sludge or solids, which can be used in agricultural practices as soil improvers or a mineral source (Castro *et al.*, 2007; Barbarick *et al.*, 2012). A residual sludge is wet organic matter with a number of additives, among which there are some components of interest and others whose presence is undesirable for the possibility of contamination (Ortiz-Hernandez *et al.*, 1995; Datta and Yung, 2005). The physical and chemical characteristics of sludge vary depending on their origin: urban or industrial and the type of process to which they are subjected (Cooper, 2005).

Proper management of industrial or municipal sludge can benefit soil quality due to the incorporation of nutrients and organic matter (Castro *et al.*, 2007). However, inadequate waste management is a source of environmental problems such as soil and groundwater pollution, emission of harmful gases, fumes and odors (Esteller, 2002), also sludge can contain heavy metals, fecal matter and organic pollutants (Datta and Young, 2005).

The possibility of polluting soil and groundwater constitutes their main limitation hence its use must be accompanied by adequate planning and supervision (Otero *et al.*, 1996). For practical and economic reasons the application of sewage sludge is a common practice in developed countries (Ottaviani *et al.*, 1991; Mendoza *et al.*, 2010). Among the positive effects of the incorporation of industrial sludge to soils, are cited higher aggregate stability, increased cation exchange capacity, and higher level of fertility and higher organic matter content, in addition to improve water retention (Alloway and Jackson, 1990).

Sludge has been used in forestry to increase forest productivity, reforestation and to stabilize deforested or disturbed areas by mining, construction, fires, overgrazing, erosion or other factors (Brown *et al.*, 2003). Also, the application of sludge in crops has shown positive effects on *Pinus douglasiana* and maize (Salcedo *et al.*, 2007) and red tomato Narvaez *et al.* (2013). Based in the positive results of the above studies, the use of industrial textile sludge could be extended to ornamental species and especially potted.

In northern Mexico, there are 62 waste water treatment plants, which produced about 475,000 tons of sewage sludge (95 000 t dry), which could be used as fertilizer in industrial and forage

Narváez *et al.* (2013). Con base en los resultados positivos obtenidos en los estudios anteriormente citados, el uso de los lodos industriales textiles se podría ampliar a especies ornamentales y en particular ornamentales de maceta.

En el norte de México, se reportan 62 plantas de tratamiento de agua residual, que produjeron alrededor de 475 000 t de lodo residual (95 000 t en base seca), las cuales pudieran utilizarse como fertilizante en cultivos industriales y forrajeros en alrededor de 10 000 ha (Uribe, 2001). Sin embargo, antes de aplicar los lodos, ya sea que provengan de descargas municipales o industriales, deben probarse en cuanto a su efecto en las plantas, ya que pueden ser fuente de transferencia de metales pesados, productos químicos diversos y microorganismos patógenos a los productos cosechados (Otero *et al.*, 1996; Paré *et al.*, 1999; Dubka y Miller, 1999). Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue, verificar la factibilidad del uso de lodos industriales en el proceso de producción de hortensias (*Hydrangea macrophylla* L.), documentando la concentración de los lodos en el sustrato para obtener un adecuado crecimiento, morfología y concentración de minerales en las plantas.

Materiales y métodos

Obtención y análisis de los lodos industriales

Los lodos utilizados fueron de la empresa fabricante de mezclilla: Fábrica la Estrella S.A de C. V de Parras de la Fuente, Coahuila, México. Se obtuvieron del filtrado y prensado de los sólidos acarreados en el agua de desecho del proceso industrial. Los lodos o sólidos cuentan con certificado de no peligrosidad en base al análisis de CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico-infeccioso) de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente de la SEMARNAT (SEMARNAT, 2014).

Para verificar y documentar la presencia y concentración de coliformes fecales, *Salmonella* spp., huevos de helmintos y elementos: arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc, el lodo fue analizado en el laboratorio Intertek Testing Services de México, S. A de C. V., acreditado para la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2003). Adicionalmente, se determinaron las características físicas, la salinidad, sodicidad y fertilidad según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. (SEMARNAT, 2002).

crops in close to 10 000 ha (Uribe, 2001). However, before applying sludge, whether coming from municipal or industrial discharges, these should be tested regarding their effect on plants, because they can be a source of transfer of heavy metals, various chemicals and pathogens to products harvested (Otero *et al.*, 1996; Paré *et al.*, 1999; Ďubka and Miller, 1999). Therefore the objective of this work was to verify the feasibility of the use of industrial sludge in the production process of hydrangeas (*Hydrangea macrophylla* L.), documenting sludge concentration in the substrate to obtain a proper growth, morphology and mineral plant concentration.

Materials and methods

Collection and analysis of industrial sludge

The sludge used was from a denim manufacturer: Fabrica la Estrella S. A. de C. V. from Parras de la Fuente, Coahuila, Mexico. These were obtained from the filtrate and solid pressing hauled in wastewater from the industrial process. Sludge or solids count with certificate of non-hazardous based on the analysis of CRETIB (corrosivity, reactivity, explosividad, toxicity, flammability and biological-infectious) of the General Law of Ecological Balance and Environmental Protection from SEMARNAT (SEMARNAT, 2014).

To verify and document the presence and concentration of fecal coliforms, *Salmonella* spp., helminth eggs and elements: arsenic, cadmium, chromium, copper, lead, mercury, nickel and zinc, the sludge was analyzed in the laboratory Intertek Testing Services de México, S. A. de C. V., accredited by the Mexican Official Standard NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2003). Additionally, the physical characteristics salinity, sodicity and fertility were determined according to Mexican Official Standard NOM-021-RECNAT-2000. (SEMARNAT, 2002).

Plant material

Ornamental plant rooted cuttings from hydrangea (*Hydrangea macrophylla* L.) var. Blue Fantasy were used.

Research site

The study was conducted in a semicircular greenhouse with temperature control from the Horticulture Department of the Universidad Autonoma Antonio Narro, Buenavista,

Material vegetal

Se utilizaron estacas enraizadas la planta ornamental hortensia (*Hydrangea macrophylla* L.) var. Blue Fantasy.

Sitio de investigación

El estudio se realizó, en un invernadero semicircular con control de temperatura del Departamento de Horticultura, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México ubicado a una latitud norte de 25° y 23' y longitud oeste 101° 02', con una altitud de 1 743 msnm.

Diseño de tratamientos y experimental

Usando turba ácida (Peatmoss®) como base, se establecieron cuatro tratamientos con diferentes concentraciones de lodo: 0%, 10%, 20%, 30% (v/v). Una vez que se obtuvieron las mezclas, se colocaron en contenedores o macetas de 2 L, con un esqueje de hortensia enraizado. Las macetas se colocaron al azar en el invernadero. Se utilizaron 15 repeticiones por tratamiento y cada repetición fue una maceta. Para el riego y nutrición se utilizó la solución de Steiner (Steiner, 1961) al 50% de la plantación hasta la aparición del botón floral y al 75% después del botón floral hasta la cosecha de la flor.

Variables evaluadas

Conductividad eléctrica y pH en el lixiviado. Para verificar el efecto de la inclusión de los lodos industriales sobre los lixiviados en cada tratamiento, se hicieron cinco muestreos a los 15, 30, 45, 60 y 75 días después del trasplante, para ello se colocó un recipiente plástico debajo de las macetas, tres por cada tratamiento, la muestra se colectó por la mañana, en la cual se le midió el pH y la conductividad eléctrica con un potenciómetro marca HANNA modelo Combo HI98120.

Altura de la planta y diámetro de inflorescencia. Las evaluaciones se hicieron a los 118 días después de instalado el experimento, cuando las plantas estaban en floración. La altura de la planta fue medida de la base de la planta hasta el ápice floral y el diámetro de la inflorescencia se midió mediante una proyección longitudinal-trasversal, es decir, se hicieron dos mediciones en forma de cruz con ejes norte-sur y este-oeste por cada inflorescencia y se obtuvo la media.

Saltillo, Coahuila, Mexico located at a latitude of 25° north and 23 'and west longitude 101° 02', with an altitude of 1 743 masl.

Design and experimental treatments

Using peat (Peatmoss®) as base, four treatments with different sludge concentrations 0%, 10%, 20%, 30% (v/v) were established. Once the mixtures were ready, they placed in containers or pots of 2 L, with rooted cuttings of hydrangea. The pots were placed randomly in the greenhouse. 15 replications per treatment and each replication was a pot. For irrigation and nutrition, solution Steiner (Steiner, 1961) was used at 50% of the plantation until the appearance of flower bud and 75% after flower bud to harvest flower.

Variables evaluated

Electrical conductivity and pH in leachate. To verify the effect of industrial sludge inclusion on leachate in each treatment, five samples at 15, 30, 45, 60 and 75 days after transplantation were made, for this purpose a plastic container was placed under the pots, three per each treatment, the sample was collected in the morning, in which pH and electrical conductivity was measured with a potentiometer HANNA model Combo HI98120.

Plant height and inflorescence diameter. Evaluations were made at 118 days after establishing the experiment, when the plants were at flowering. Plant height was measured from the base of the plant to the floral apex and the diameter of the inflorescence was measured using a longitudinal-transverse projection, i.e., two measurements were made in a cross north-south and east-west axis per inflorescence and the average was obtained.

Nutrient concentration in the plant. Once harvested plant leaves, stems, flowers and roots were removed and placed in a forced air oven 72 hours at 70 °C; then an analysis of K, Mg, Ca, Fe, Mn, Cu, Zn and Na concentration in each of the organs sampled using an spectrophotometer of atomic absorption VarianAA-1275 (Fick *et al.*, 1976). Total nitrogen was measured with micro Kjeldhal (AOAC, 1980a), and phosphorus through spectrophotometry (AOAC, 1980b).

Chlorophyll concentration in leaf tissue. It was determined through spectrophotometry (Harborne, 1973), at 660 and 642 nm in an absorption spectrophotometer Bausch & Lomb, Spectronic 21.

Concentración de nutrimentos en la planta. Una vez cosechadas las plantas se separaron hojas, tallos flores y raíz y se colocaron en una estufa de aire forzado 72 horas a 70 °C; posteriormente se realizó un análisis de la concentración de K, Mg, Ca, Fe, Mn, Cu, Zn y Na en cada uno de los órganos muestreados usando un espectrofotómetro de absorción atómica marca Varían modelo AA-1275 (Fick *et al.*, 1976). El nitrógeno total fue medido con el método del micro Kjeldhal (AOAC, 1980a), y el fósforo por el método espectrofotométrico (AOAC, 1980b).

Concentración de clorofila en el tejido foliar. Se determinó por el método espectrofotométrico (Harborne, 1973), a 660 y 642 nm, en un espectrofotómetro de absorción marca Baush & Lomb, modelo Spectronic 21.

Resultados y discusión

Análisis del lodo industrial

Análisis microbiológico. El lodo utilizado para este estudio fue clasificado como tipo A, por su bajo contenido de coliformes fecales, ausencia de *Salmonella* y huevos de helminto (Cuadro 1). Siendo posible su uso con fines agrícolas. Asimismo, es posible su manipulación directa sin riesgo para hombre y las plantas, de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2003).

Cuadro 1. Análisis microbiológico del lodo industrial textil, de la fábrica La Estrella S. A. de C. V. de Parras de la Fuente, Coahuila, México.

Table 1. Microbiological analysis of textile industrial sludge, factory La Estrella S. A. de C. V. of Parras de la Fuente, Coahuila, Mexico.

Parámetro	Resultado	Límite máximo permisible NOM-004-SEMARNAT-2002			Unidades en base seca
		A	B	C	
Coliformes fecales	93 NMP g ⁻¹ ST	< 1 000	< 1 000	< 2 000 000	NMP g ⁻¹
Huevos de helminto	ND	<1	<10	<35	HH g ⁻¹
<i>Salmonella</i>	Ausente	<3	<3	<300	NMP g ⁻¹

NMP= Número más probable; ND= No detectado; HH= Huevos de helminto.

Análisis de metales pesados y metaloides. Los resultados del análisis (Cuadro 2), clasificaron a estos lodos como excelentes de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2003), dado que su concentración está muy por debajo del límite máximo permisible. El manejo de estos lodos no implica ningún riesgo.

Results and discussion

Analysis of industrial sludge

Microbiological analysis. The sludge for this study was classified as type A, for its low content of fecal coliforms, absence of *Salmonella* and helminth eggs (Table 1). Being possible its use for agricultural purposes. It is also possible direct manipulation without risk to man and plants, according to the Official Mexican Standard NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2003).

Analysis of heavy metals and metalloids. The results of the analysis (Table 2), classified the sludge as excellent according to NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2003), since its concentration is below the maximum allowable limit. The management of sludge involves no risk.

Physical analysis of salinity and sodicity of sludge. Analysis results indicate clay loam, bulk density of 0.74 g cm⁻³ and organic matter content 2.16%, carbonate 8.98% and moisture retention at field capacity of 30.45%. In relation to salinity, sludge has an extremely high electrical conductivity and alkaline pH according to NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). High sulfate, bicarbonate and chloride values, with no presence of carbonates, medium in potassium, high calcium,

magnesium and sodium (Richards, 1980) (Table 3). Due to high salt content in the sludge it was necessary to use them in mixture with peat to dilute the salts present in the sludge. Previous studies indicated that the maximum content of textile sludge based on volume is 25% (Benavides-Mendoza *et al.*, 2007).

Cuadro 2. Contenido de metales pesados en el lodo industrial textil, de la fábrica La Estrella S.A de C.V de Parras de la Fuente, Coahuila, México.

Table 2. Content of heavy metals in the textile industrial sludge, factory La Estrella S. A. de C. V. of Parras de la Fuente, Coahuila, Mexico.

Metal	Límite máximo permisible NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2003)				
	Resultados (mg kg ⁻¹)	Límite excelente (mg kg ⁻¹)	Metal	Resultados (mg kg ⁻¹)	Límite excelente (mg kg ⁻¹)
Arsénico	0.696	41	Plomo	22.8	300
Cadmio	ND	39	Mercurio	2.24	17
Cromo	23	1 200	Níquel	4.3	420
Cobre	14.3	1 500	Zinc	172	2800

ND = No detectado.

Análisis físico, de salinidad y sodicidad de los lodos. Los resultados de los análisis indican que son de textura franco arcillosa, densidad aparente de 0.74 g cm⁻³, contenido de materia orgánica 2.16%, carbonatos 8.98% y una retención de humedad a capacidad de campo de 30.45%. Con relación a la salinidad, los lodos tienen una conductividad eléctrica extremadamente alta y pH alcalino de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Valores altos de sulfatos, bicarbonatos y cloruros, sin presencia de carbonatos, medio en potasio, alto calcio, magnesio y sodio, (Richards, 1980) (Cuadro 3). Dado el alto contenido de sales en los lodos fue necesario utilizarlos en mezcla con turba ácida para diluir las sales presentes. Estudios anteriores indicaron que el máximo contenido de lodos textiles en base a volumen es de 25% (Benavides-Mendoza *et al.*, 2007).

Análisis de fertilidad. La concentración de elementos minerales en el lodo textil, se encontraron muy bajas y moderadamente bajas para el N, P y S. Mientras que para el Ca, Zn, Fe y Mg presentaron valores muy altos (SEMARNAT, 2002) (Cuadro 4). El contenido de minerales en los lodos no indica la posibilidad de restricción para el crecimiento de las plantas, por excesiva concentración de los elementos. Además, al mezclar los lodos al sustrato en concentraciones menores a 25% (Benavides-Mendoza *et al.*, 2007), el contenido de minerales disminuye, quedando en rangos bajos o muy bajos.

Fertility analysis. The concentrations of mineral elements in textile sludge were very low and moderately low for N, P and S. As for Ca, Zn, Fe and Mg had very high values (SEMARNAT, 2002) (Table 4). Mineral content in sludge does not indicate the possibility of restriction to plant growth, by excessive concentration of elements. Moreover, by mixing the sludge with the substrate in concentrations below 25% (Benavides-Mendoza *et al.*, 2007), the mineral content decreases, being in low or very low ranges.

pH and electrical conductivity (EC) of water leached

Sludge inclusion in the substrate, increased pH and EC of leached water or nutrient solution (Table 5). Applying a correlation analysis, it was observed that there is a direct relationship between the percentage of sludge inclusion to the substrate and the increase of pH ($r=0.74$) and EC ($r=0.76$) in the leachate or nutrient solution. Alkaline pH in the substrate reduces the availability of nutrients and the increase of EC is related to high salt content in the substrate, which comes from products used to apply and fix colors in textile (Benavides-Mendoza *et al.*, 2007).

Morphological variables

Sludge inclusion on the substrate, affected plant height and inflorescence diameter (Table 6). The reduction in plant growth and inflorescence, could relate to the increase

Cuadro 3. Análisis de salinidad y sodicidad en extracto de saturación del lodo industrial textil, de la Fábrica La Estrella S. A. de C. V. de Parras de la Fuente, Coahuila, México.

Table 3. Analysis of salinity and sodium saturation extract textile industrial sludge, factory La Estrella S. A. de C. V. of Parras de la Fuente, Coahuila, Mexico.

CE (dS m ⁻¹)	pH	Ca (meq L ⁻¹)	Mg (meq L ⁻¹)	Na (meq L ⁻¹)	K (meq L ⁻¹)	CO ₃ (meq L ⁻¹)	H ₂ CO ₃ (meq L ⁻¹)	SO ₄ (meq L ⁻¹)	Cl ⁻ (meq L ⁻¹)	RAS
11.03	7.6	24.57	64.68	19.66	3.05	0	17.36	45.35	48.84	2.94

Cuadro 4. Análisis de fertilidad del lodo industrial textil, de la fábrica La Estrella S. A. de C. V. de Parras de la Fuente, Coahuila, México.

Table 4. Analysis of fertility textile industrial sludge, factory La Estrella S. A. de C. V. of Parras de la Fuente, Coahuila, Mexico.

N	P	K	Ca	Mg	S
124.73	21.19	248	(mg kg ⁻¹) 1496.25	335	10.77
Fe	Zn	B	Mn	Cu	Mo
21.18	20.48	3.87	(mg kg ⁻¹) 20.4	0.66	ND

ND = No determinado.

pH y conductividad eléctrica (CE) del agua lixiviada

La inclusión de los lodos en el sustrato, aumentó el pH y CE del agua lixiviada o solución nutritiva (Cuadro 5). Al aplicar un análisis de correlación, se observó que existe una relación directamente proporcional entre el porcentaje de inclusión de lodos al sustrato y el incremento del pH ($r= 0.74$) y la CE ($r= 0.76$) en el lixiviado o solución nutritiva. El pH alcalino en el sustrato disminuye la disponibilidad de los nutrientes y el aumento de CE está relacionada con el alto contenido de sales en el sustrato, que provienen de los productos usados para aplicar y fijar los colores en los productos textiles (Benavides-Mendoza *et al.*, 2007).

Cuadro 5. Media y desviación estándar del pH y CE del agua lixiviada obtenida del sustrato de turba ácida y lodo industrial textil a diferentes concentraciones.

Table 5. Mean and standard deviation of the pH and EC of the water obtained leached acidic peat substrate and textile industrial sludge at different concentrations.

Porcentaje de lodo	Agua lixiviada	
	pH	CE (dS cm ⁻¹)
0	6.5 ± 0.13 a	2.16 ± 0.58 a
10	7.8 ± 0.14 b	2.76 ± 0.59 ab
20	7.96 ± 0.16 b	4.52 ± 1.15 b
30	7.98 ± 0.19 b	4.36 ± 0.93 b

Medias con distintas letras son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Variables morfológicas

La inclusión de lodos en el sustrato, afectó la altura de la planta y el diámetro de la inflorescencia (Cuadro 6). La reducción en el crecimiento de la planta y la inflorescencia, pudo relacionarse al aumento en la CE, generada por la

in EC generated by the addition of the sludge. This effect is tangible by verifying that the concentrations of 20% and 30% increased leachate EC to 4.52 and 4.36 dS m⁻¹ respectively, while the control was 2.16 dS m⁻¹. EC values greater than 4 mS cm⁻¹ reduces growth and production in sensitive plants (Maiti and Benavides, 2002) and in particular ornamental, either woody (Aguilar Valdez *et al.*, 2011), or herbaceous like buttercup (Valdez Aguilar *et al.*, 2009b.), lisianthus (López-Pérez *et al.*, 2014; Valdez Aguilar *et al.*, 2013) and cempazuchitl (Valdez Aguilar *et al.*, 2009a); also semihardwood ornamentals like hydrangea, are more susceptible to salinity than herbaceous (Cabrera, 1999).

Cuadro 6. Media y desviación estándar de la altura de planta y diámetro de la inflorescencia de hortensia, cultivada en sustrato de turba ácida y lodo industrial textil a diferentes concentraciones.

Table 6. Mean and standard deviation of plant height and diameter of inflorescence hydrangea, grown in acidic peat substrate and textile industrial sludge at different concentrations.

Porcentaje de lodo	Altura de la planta (cm)	Diámetro de inflorescencia (cm)
0	25 ± 1 ab	15.33 ± 0.57 ab
10	28 ± 2.64 a	16.66 ± 1.15 a
20	19.33 ± 2.08c	12.33 ± 1.52 c
30	20.33 ± 4.16 bc	13.33 ± 2.51b

Medias con distintas letras son diferentes estadísticamente (Tukey $p \leq 0.05$).

However, other studies found that the addition of sludge to soil or substrate had a positive effect on *Lilium* sp. (Torres-González *et al.*, 2011), lettuce (Vaca *et al.*, 2004) alfalfa (Uribe *et al.*, 2001) and maize (Salcedo *et al.*, 2007). The different responses of plants are related to physical and chemical properties of the sludge and these vary according to their origin: urban or industrial and type of process to which these are subjected (Cooper, 2005).

adición del lodo. Este efecto es tangible al verificarse que las concentraciones de 20% y 30% aumentaron la CE de los lixiviados a 4.52 y 4.36 dS m⁻¹ respectivamente, mientras que el testigo fue de 2.16 dS m⁻¹. Los valores de CE superiores a 4 mS cm⁻¹ reducen el crecimiento y la producción de plantas sensibles (Maiti y Benavides, 2002) y en particular las ornamentales, ya sea leñosas (Valdez- Aguilar *et al.*, 2011), o herbáceas como ranúnculos (Valdez- Aguilar *et al.*, 2009b), *lisianthus* (López-Pérez *et al.*, 2014; Valdez- Aguilar *et al.*, 2013) y *cempazuchitl* (Valdez- Aguilar *et al.*, 2009a); además, las plantas ornamentales semileñosas como la hortensia, son más susceptibles a la salinidad que las herbáceas (Cabrera, 1999).

Sin embargo, en otros estudios se encontró que la adición de lodos al suelo o al sustrato, tuvieron un efecto positivo en el crecimiento de *Lilium sp* (Torres-González *et al.*, 2011), lechuga (Vaca *et al.*, 2004), alfalfa (Uribe *et al.*, 2001) y maíz (Salcedo *et al.*, 2007). Las diferentes respuestas de las plantas, están relacionadas las características físicas y químicas de los lodos y estas varían en función de su origen: urbano o industrial y del tipo de procesos al que son sometidos (Cooper, 2005).

Absorción de nutrientes minerales

Macronutrientes. El N, Mg y Ca, no mostraron diferencia entre los tratamientos para los diferentes órganos de la planta, lo mismo ocurrió para el K en las hojas, mientras que este último elevó su concentración en la inflorescencia y los tallos. En cuanto al P, este mostró tendencia negativa en los tallos y la raíz respecto a la concentración del lodo, mientras que en la inflorescencia y las hojas mostró un ligero incremento en 10% de lodo (Cuadro 7). Mills y Benton (1996), reportan que el contenido porcentual recomendado de macronutrientes en hojas de *H. macrophylla* es: N 2.24 - 5.6, P 0.25 - 0.7, K 2.2 - 7.8, Ca 0.6 - 2 y Mg 0.22 - 0.6.

De acuerdo al contenido de nutrientes recomendado por Mills y Benton (1996) y las concentraciones observadas en este estudio, las plantas estuvieron en el rango de suficiencia a excepción del potasio que presentó valores por debajo del nivel recomendado. Aún y cuando el potasio en general fue bajo, la mayor concentración se encontró en las inflorescencias, hojas y tallos, pero en la raíz no se observó efecto. En el tallo el contenido de potasio aumentó de forma proporcional a la concentración de lodos en el sustrato, lo cual, parece indicar que el lodo promueve la absorción de potasio, aun y cuando, en estudios anteriores se reportan contenidos bajos de potasio

Absorption of mineral nutrients

Macronutrients. N, Mg and Ca, showed no difference between treatments for the different organs of the plant, the same thing happened for K in leaves, while the latter increased its concentration in the inflorescence and stem. As to P, this showed negative trend in the stems and roots regarding the concentration of the sludge, while inflorescence and leaves showed a slight increase in 10% of sludge (Table 7). Mills and Benton (1996) reported that the percentage content recommended for macronutrient in leaves of *H. macrophylla* is: N 2.24 - 5.6, P 0.25 - 0.7, K 2.2 - 7.8, Ca 0.6 - 2 Mg 0.22 to 0.6.

According to nutrient content recommended by Mills and Benton (1996) and the concentrations observed in this study, plants were in the range of sufficiency except for potassium showing values below the recommended level. Even if potassium was generally low, the highest concentration was found in inflorescences, leaves and stems, but in root this effect was not observed. In stem, potassium content increased in proportion to the concentration of sludge in the substrate, which seems to indicate that the sludge promotes the absorption of potassium, even when, in previous studies low levels of potassium are reported in this type sludge (Narváez *et al.*, 2013). Also, the reports from the literature show that sludge affects in different ways nutrient uptake by plants, for example, it is reported that the addition of sludge decreased Ca concentration in tobacco leaves (Kabata and Pendias, 1992) and in tomato fruits (Narvaez-Ortiz *et al.*, 2013).

Micronutrients. The response in the concentration of trace elements varied according to the organ analyzed. In root and stem, Fe increased in sludge concentration 20%, the other nutrients were similar to control. On leaves and inflorescences Na and Zn showed no difference regarding the control, while Cu increased in all industrial sludge treatment. Mills and Benton (1996) report that proper micronutrient content in mg kg⁻¹ for *H. macrophylla* is: Fe 50-300, Mn 38-300, Cu 1-25, Zn 20-200 and according to the results of this study micronutrient content is the sufficiency range. As it has been mentioned that sludge is a source of mineral nutrients (Castro *et al.*, 2007; Barbarick *et al.*, 2012), noting the concentration of micronutrients in textile sludge, it seems that there is no relation between them and the obtained in the different plant tissues. Therefore it is possible that the requirement of micronutrients has been provided by the Steiner nutrient solution (Steiner, 1961), not allowing the expression of nutrients from the substrate (Table 8).

en este tipo de lodos (Narváez *et al.*, 2013). Asimismo, los reportes en la literatura muestran que los lodos afectan de forma diferente a la absorción de nutrientes por las plantas, por ejemplo, se reporta que la adición de lodos disminuyó la concentración de Ca en hojas de tabaco (Kabata y Pendias, 1992) y en frutos de tomate (Narváez-Ortiz *et al.*, 2013).

Chlorophyll content

The inclusion of textile industrial sludge in the substrate did not cause any changes in chlorophyll concentration (Table 9). Chlorophyll content is an indicator of photosynthetic activity in plants (De Jong *et al.*, 1984), and is related to

Cuadro 7. Concentración de macronutrientes en los diferentes órganos de hortensia cultivada en turba ácida y lodo industrial textil a diferentes concentraciones.

Table 7. Concentration of macronutrients in different organs hydrangea grown in acidic peat and textile industrial sludge at different concentrations.

Porcentaje de lodo	Inflorescencia					Hojas				
	N	P	K	Mg	Ca	N	P	K	Mg	Ca
	(%)					(%)				
0	2.43	0.49	1.12 c	0.14	0.44	3.63	0.52	0.98	0.39	0.84
10	2.96	0.54	1.86 ab	0.16 a	0.36	3.86	0.56	1.47	0.18	0.57
20	2.83	0.5	1.57 b	0.12 a	0.25	3.4	0.54	1.41	0.18	0.57
30	2.7	0.49	2 a	0.13	0.45	3.53	0.53	1.84	0.21	1.03
CV (%)	16.46		11.81	28.1	26.42	15.18		24.56	27.7	25.77
	Tallos					Raíz				
	(%)					(%)				
0	1.23 a	0.55	0.47 c	0.13 a	0.33 a	2.73 a	0.53	1.52 a	0.19 a	0.26 a
10	1.4 a	0.54	0.48 b	0.11 a	0.31 a	2.86 a	0.52	1.31 a	0.11 a	0.4 a
20	1.1 a	0.5	0.67 ab	0.14 a	0.35 a	2.33 a	0.48	1.31 a	0.11 a	0.52 a
30	1.33 a	0.51	0.8 a	0.12 a	0.33 a	2.43 a	0.49	1.49 a	0.16 a	0.54 a
CV (%)	34.79		18.32	14.67	9.6	24.96		23.88	18.13	29.65

Medias con distintas letras son diferentes estadísticamente (Tukey $p \leq 0.05$). CV = Coeficiente de variación. Para fósforo no hubo repeticiones por lo cual no se realizó análisis estadístico.

Micronutrientes. La respuesta en la concentración de los microelementos fue variable según el órgano analizado. En la raíz y el tallo, el Fe aumentó en la concentración de lodo al 20%, los otros nutrientes fueron iguales al testigo. En las hojas e inflorescencias el Na y Zn no mostraron diferencias contra el testigo, mientras que el Cu se elevó en todos los tratamientos de lodo industrial. Mills y Benton (1996) reportan que el contenido adecuado de micronutrientes en mg kg^{-1} para *H. macrophylla* es: Fe 50 - 300, Mn 38-300, Cu 1 - 25, Zn 20 - 200 y de acuerdo a los resultados de este estudio el contenido de micronutrientes se encontró en el rango de suficiencia. Si bien se menciona que los lodos constituyen una fuente de nutrientes minerales (Castro *et al.*, 2007; Barbarick *et al.*, 2012), al observar la concentración de micronutrientes en el lodo textil, no parece haber relación entre estos y el obtenido en los diferentes tejidos de la planta. Por lo cual es posible que el requerimiento de micronutrientes haya sido aportado por la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1961), evitando la expresión del aporte de nutrientes del sustrato (Cuadro 8).

nutrients content and environmental conditions of light and temperature (Salisbury and Ross, 2000). The experiment was conducted in greenhouse where temperature conditions, radiation and humidity were the same for all treatments and it was verified that nutrient concentration in the plant were in the sufficiency range. This suggests that chlorophyll content in plants was more related to nutrient concentration and environmental conditions than to EC and pH of the substrate. Additionally, it was found that total chlorophyll content in leaves of hydrangea, was similar to that reported in orange leaves (Reyes-Santamarina *et al.*, 2000) and lower to that assessed in tomato leaves (Rodríguez *et al.*, 1998).

Conclusions

The incorporation of sludge to more than 10% increases electrical conductivity and pH of effluent and decreases crop development. In production of potted hydrangea the

Cuadro 8. Concentración de micronutrientos en los diferentes órganos de hortensia cultivada en turba ácida y lodo industrial textil a diferentes concentraciones.**Table 8. Concentration of micronutrients in different organs hydrangea grown in acidic peat and textile industrial sludge at different concentrations.**

Porcentaje de lodo	Inflorescencia					Hojas				
	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	Na
	(mg kg ⁻¹)					(mg kg ⁻¹)				
						%				
0	68.33 a	14.66 b	4 c	31 a	0.51 a	113.33 b	75.33 a	2.66 c	33.66 a	3.93 a
10	70.33 a	26.66 a	6.33 ab	38.66 a	1.1 a	127.66 a	72 b	6.66 a	31 a	1.73 a
20	48.33 a	8.66 bc	7 b	33 a	0.88 a	80 d	51.33 c	5.66 ab	30 a	1.8 a
30	82.66 a	3.66 c	7.63 a	35.66 a	0.46 a	104.66 c	46.33 d	3.33 b	27.66 a	4.57 a
CV (%)	14.39	34.02	18.98	10.39	5.97	2.2	2.58	16.66	2.67	10.9
	Tallos					Raíz				
	(mg kg ⁻¹)					(mg kg ⁻¹)				
						%				
0	76.33 a	54.66 a	3 a	82.66 b	0.28 a	394.66 b	76 a	5.33 ab	86 ab	0.21 a
10	42.66 a	74 a	8.33 a	84.33 a	0.38 a	218.33 c	104.66 a	6.33 a	126 a	0.27 a
20	63.66 a	51.66 a	5 a	61.33 c	0.19 a	575.66 a	86.33 a	4 b	74.66 b	0.23 a
30	69.33 a	31.33 a	7.66 a	71.66 ab	0.24 a	519 ab	75.33 a	3.66 c	64 c	0.23 a
CV (%)	19.97	15	18	9.78	6.3	24.79	8.43	14.63	4.82	6.4

Medias con distintas letras son diferentes estadísticamente (Tukey $p \leq 0.05$). CV = Coeficiente de variación. Para fósforo no hubo repeticiones por lo cual no se realizó análisis estadístico.

Contenido de clorofila

La inclusión de lodo industrial textil en el sustrato no causó cambios en la concentración de clorofila (Cuadro 9). El contenido de clorofila es un indicador de la actividad fotosintética de las plantas (De Jong *et al.* 1984), y está relacionado al contenido de nutrientes y las condiciones medio ambientales de luz y temperatura (Salisbury y Ross, 2000). El experimento se realizó en invernadero

application of sludge at 10% as complement to substrate favors the development of the crop and increase total content of K.

The use of sludge in low concentrations for production systems of hydrangea is feasible.

End of the English version



donde las condiciones de temperatura, radiación y humedad relativa fueron las mismas para todos los tratamientos y se pudo verificar que la concentración de nutrimentos en la planta estuvo en el rango de suficiencia. Lo anterior sugiere que el contenido de clorofila en las plantas, estuvo más relacionado a la concentración de nutrimentos y las condiciones ambientales, que a la CE y pH del sustrato. Adicionalmente, se encontró que el contenido de clorofila total en hojas de hortensia, fue similar al reportado en hojas de naranjo (Reyes-Santamarina *et al.*, 2000) e inferior al evaluado en hojas de tomate (Rodríguez *et al.*, 1998).

Literatura citada

- Alloway, B. J. and Jackson, A. P. 1990. The behavior of heavy metals in sludge amended soils. *Sci. Total Environ.* 100:151-176.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1980a. Official methods of analysis 13th edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC., USA. 547-562 pp.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1980b. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 30th edition. Association of Official Analytical Chemist. Washington, D.C. USA. 39 p.

Cuadro 9. Media y desviación estándar del contenido de clorofila en hojas de hortensia cultivada en turba ácida y lodo industrial textil a diferentes concentraciones.

Table 9. Mean and standard deviation of the chlorophyll content in leaves grown in acidic peat hydrangea and textile industrial sludge at different concentrations.

Porcentaje de lodo	Clorofila a (mg g ⁻¹)	Clorofila b (mg g ⁻¹)	Clorofila Total (mg g ⁻¹)
0	0.61 ± 0.17 a	1.05 ± 0.29 a	1.67 ± 0.46 a
10	0.58 ± 0.09 a	0.99 ± 0.16 a	1.57 ± 0.25 a
20	0.53 ± 0.11 a	0.92 ± 0.19 a	1.46 ± 0.3 a
30	0.65 ± 0.07 a	1.12 ± 0.13 a	1.78 ± 0.21 a

Medias con distintas letras son diferentes estadísticamente (Tukey P ≤ 0.05).

Conclusiones

La incorporación de lodos a más de 10% incrementa la conductividad eléctrica y pH de los efluentes y disminuye el desarrollo del cultivo. En la producción de hortensia en maceta la aplicación de 10% de lodo como complemento al sustrato favorece el desarrollo del cultivo y aumenta el contenido de K total.

Es factible el uso de los lodos en concentraciones bajas para sistemas de producción de esta ornamental.

Agradecimientos

El autor EBV agradece al CONACYT por el apoyo económico en forma de una beca para realizar sus estudios de posgrado.

- Barbarick, K. A.; Ippolito, J. A. and McDaniel, J. 2012. Biosolids application to no-till dryland agroecosystems Agriculture. *Ecosyst. Environ.* 15:72-81.
- Benavides-Mendoza, A.; Ramírez, H.; Ruiz-Torres, N.; Perales-Huerta, A.; Cornejo-Oviedo, E.; Ortega-Ortiz, H. y Dávila-Salinas, R. V. 2007. Aplicación de subproductos industriales de la compañía industrial de Parras, S.A. de C.V. en sustratos para la siembra y crecimiento de plantas. *In: tópicos selectos de botánica.* González-Álvarez, M. y Salcedo- Martínez, S. M. (Eds.). Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 147-162 pp.
- Brown, S.; Chaney, H.; Compton, H. and De-Volder, P. 2003. Using municipal biosolids in combination with other residuals to restore metal-contaminated mining areas. *Plant Soil.* 249:203-215.
- Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Rev. Chapingo Serie Horticultura.* 5(1):5-11.
- Castro, C. P.; Henríquez, O. and Freres, R. 2007. Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago. *Rev. Geografía Norte Grande.* 37:35-45.
- Cooper, J. 2005. The effect of biosolids on cereals in central New South Wales, Australia. *Crop growth and yield. Aust. J. Exp. Agric.* 45:435-443.

- Datta, S. P. and Young, S. D. 2005. Predicting metal uptake and risk to the human food chain from leaf vegetables grown on soils amended by long-term application of sewage sludge. *Water, Air, and Soil Pollution*. 16:119-136.
- De Jong, T. M.; Tombesi, A. and Ryugo, K. 1984. Photosynthetic efficiency of kiwi (*Actidinia chinensis*, Planch.) in response to nitrogen efficiency. *Photosynthetica* 18:139-145.
- Dubka, S. and Milller, K. 1999. Accumulation of potentially toxic elements in plants and their transfer to human food chain. *J. Environ Sci Health*. 34:681-708.
- Esteller, M. V. 2002. Vulnerabilidad de acuíferos frente al uso de aguas residuales y lodos en agricultura. *Rev. Latino-Americana de Hidrogeología*. 2:103-113.
- Fick, K. R.; Miller, S. M.; Funk, J. D.; McDowell, L. R. and Houser, R. H. 1976. Methods of mineral analysis for plant and animal tissues. University of Florida institute of food and agriculture. Department of Animal Sciences, Gainesville, F L. USA. 81 p.
- Harborne, J. B. 1973. Chlorophyll extraction. In: *Phytochemical Methods. Recommended Technique*. J B Harbone (Ed.). Chapman and Hall. London, UK. 205-207 pp.
- Kabata, P. A. and Pendias, H. 1992. Trace elements in soils and plants, 2nd edition. CRC Press.
- López-Pérez, C. A.; Valdez-Aguilar, L. A.; Robledo-Torres, V.; Mendoza-Villarreal, R.; Castillo-González, A. M. 2014. El calcio imparte tolerancia a alta conductividad eléctrica en *Lisianthus (Eustoma grandiflorum Raf. Shinn.)*. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5:1193-1204.
- Maiti, R. y Benavides, M. A. 2002. Salinidad. In: Benavides- Mendoza A. 2002. *Ecofisiología y bioquímica del estrés en plantas*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila México. 54 p.
- Mendoza, C.; Francisco, J.; Gallardo, A.; Robles, F. and Bovea, M. D. 2010. Opciones de valorización de lodos de distintas estaciones depuradoras de aguas residuales. *Ingeniería*. 13:177-190.
- Mills, A. H. and Benton, J. 1996. *Plant analysis handbook II. A practical sampling, preparation analysis and interpretation guide*. Micromacro publishing. Inc. USA. 223 pp.
- Narváez-Ortiz, W. A.; Benavides-Mendoza, A.; Robledo-Torres, V. y Mendoza-Villarreal, R. 2013. Efectividad del lodo textil en la producción y composición química del fruto de tomate. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4:129-141.
- Ortiz-Hernández, M. A.; Gutiérrez-Ruiz, M. E. y Sánchez-Salinas, E. 1995. Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del valle de Cuernavaca, estado de Morelos, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 11:105-115.
- Otero, J. L.; Andrade, M. L. y Marcet, P. B.; 1996. Caracterización química y evaluación agronómica de dos tipos de lodos residuales. *Inv. Agríc. Prod. Veg* 11:117-131
- Ottaviani, M.; Santarsiero, A. and De-Fulvio, S. 1991. Hygienic, technical and legislative aspects of agricultural sewage sludge usage. *Acta Chim. Hung.* 128:535-543.
- Paré, T.; Dinel, H. and Schnitzer, M. 1999. Extractability of trace metals during co-composting of biosolids and municipal wastes. *Biol. Fertil. Soils*. 29:31-37.
- Reyes-Santamaría, M. I.; Villegas-Monter, Á.; Colinas-León, M. T. y Calderón-Zavala, G. 2000. Peso específico, contenido de proteína y de clorofila en hojas de naranjo y tangerino. *Agrociencia* 34:49-55.
- Richards, L. A. 1980. Suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa, México. 169 p.
- Rodríguez-Mendoza, M. N.; Alcántar-González, G.; Aguilar-Santelises, A.; Etchevers-Barra, J. D. y Santizó-Rincón, J. A. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra*. 16:135-141.
- Salcedo, P. E.; Vázquez, A.; Laksmy, A.; K.; Zamora, N. F.; Hernández, A. E. and Rodríguez, M. R. 2007. Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. *Interciencia*. 32:115-120.
- Salisbury, F. B. y Roos, C. W. 2000. *Fisiología vegetal*. Grupo editorial Iberoamericana.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2014. Decreto de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. *Diario Oficial de la Federación*. Última reforma. 16 de enero de 2014.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. *Diario Oficial de la Federación*. 15 de agosto de 2003. México, D. F.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. 31 de diciembre de 2002.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil*. 15:134-154.
- Torres-González, J. A.; Benavides-Mendoza, A.; Ramírez, V.; Robledo-Torres, H.; González-Fuentes, J. A. and Díaz-Núñez, V. 2011. Aplicación de lodo industrial crudo en la producción de *Lilium* sp. en invernadero. *Terra Latinoam.* 29:467-476
- Uribe, M. H. 2001. Uso de biosólidos para incrementar la productividad en alfalfa. Folleto Técnico de Divulgación. Campo Experimental Delicias-INIFAP, México. 1-8 pp.
- Vaca, M. M.; Beltrán, M.; Vázquez, A.; López, R. and Hachec, R. 2006. Fertilización dosificada con biosólidos acondicionados. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales, Investigación, desarrollo y práctica*. 1(1).
- Valdez-Aguilar, L. A.; Grieve, C. M. and Poss, J. 2009a. Salinity and alkaline pH of irrigation water affect growth of marigold plants: I growth and dry weight partitioning. *Estados Unidos. HortScience* 44(6):1719-1725.
- Valdez-Aguilar, L. A.; Grieve, C. M.; Poss, J. and Mellano, M. A. 2009b. Hypersensitivity of *Ranunculus asiaticus* to salinity and alkalinity in irrigation water in sand cultures. *Estados Unidos. HortScience*. 44(1):138-144.
- Valdez-Aguilar, L. A.; Grieve, C. M.; Mahar, A. R.; McGiffen, M. E. and Merhaut, D. J. 2011. Growth and ion distribution is affected by irrigation with saline water in selected landscape species grown in two consecutive growing seasons: spring-summer and fall-winter. *HortScience* 46:632-642.
- Valdez-Aguilar, L. A.; Grieve, C. M. and Poss, J. 2013. Response of *lisianthus* to salinity: plant growth. *Estados Unidos. J. Plant Nutrit.* 36:1605-1614.