

# APLICACIÓN DE LODO INDUSTRIAL CRUDO EN LA PRODUCCIÓN DE *Lilium* sp. EN INVERNADERO

## Industrial Raw Mud Application in Greenhouse *Lilium* sp. Production

Jorge Alejandro Torres-González<sup>1</sup>, Adalberto Benavides-Mendoza<sup>1\*</sup>, Homero Ramírez<sup>1</sup>,  
Valentín Robledo-Torres<sup>1</sup>, José A. González-Fuentes<sup>1</sup> y Vicente Díaz-Núñez<sup>2</sup>

### RESUMEN

Para verificar el posible uso agrícola del lodo industrial textil, se evaluó su incorporación como parte del sustrato para la producción de plantas ornamentales de *Lilium* sp. en maceta bajo invernadero. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 15 repeticiones usando como tratamientos las concentraciones de 2, 5 y 10% de lodo industrial crudo mezclado con turba de musgo (volumen/volumen) y un testigo sin aplicar lodo. Las variables evaluadas fueron: longitud y diámetro del tallo, longitud y diámetro del botón floral, diámetro de flor, concentración N, K, Ca, Mg, Fe, Zn y Cu y metales pesados como Pb, Cr, Cd, Ni y Al, además de las características anatómicas del tallo como el área de las células del parénquima y el área y frecuencia de los vasos del xilema. Los resultados muestran diferencias significativas a favor del tratamiento de lodo en la longitud del tallo ( $P \leq 0.05$ ), así también en el diámetro de la flor y la longitud del botón floral ( $P \leq 0.05$ ). Sin embargo, la inclusión de lodo mostró un efecto negativo sobre el diámetro del tallo ( $P \leq 0.01$ ). El contenido de elementos estuvo dentro de lo normal para las plantas por lo cual no se presentó ningún síntoma de deficiencia o toxicidad por la presencia del lodo. En el área y frecuencia de los vasos de xilema así como en las células del parénquima existieron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), por otra parte, se encontró una correlación entre las características anatómicas y morfológicas ( $r = 0.8258$ ;  $P \leq 0.05$ ). Se concluyó que el uso del lodo industrial textil en

la producción de *Lilium* sp. es factible y es una opción viable para disminuir la cantidad de lodos industriales que se vierten de manera inadecuada y que pueden contaminar el ambiente y contribuir en el deterioro de los suelos.

**Palabras clave:** metales pesados, minerales, xilema, planta ornamental, *Lilium* sp.

### SUMMARY

In order to verify the potential use of agricultural textile industrial waste its incorporation was evaluated as growing medium for ornamental production of *Lilium* sp. potted plants grown in greenhouse conditions. A complete randomized experimental design with fifteen replicates was used; treatment concentration was 2, 5 and 10% of mud mixed with peat moss (volume/volume) and a control without mud. Stem diameter and length, flower diameter and length and minerals such as N, K, Ca, Mg, Fe, Zn and Cu, and heavy metals Pb, Cr, Cd, Ni and Al concentrations on plant tissues were analyzed. In addition, anatomic characteristics of stems, parenchyma area, cell and xylem vessel area and frequency, were also evaluated. The results indicated a negative effect of mud over stem diameter ( $P \leq 0.01$ ) and a positive effect of mud over stem length ( $P \leq 0.05$ ), flower diameter and length ( $P \leq 0.05$ ). Levels of minerals in plant tissues were normal whereas heavy metal concentrations did not exceed toxic levels. The plants did not show deficiency or toxicity symptoms induced by the presence of mud. Parenchyma area cell and xylem vessel area and frequency had significant differences ( $P \leq 0.05$ ), the study showed a correlation between anatomical characteristics and morphological traits ( $r = 0.8258$ ;  $P \leq 0.05$ ). In conclusion, it is feasible to use textile industrial mud in *Lilium* sp. production and it is a viable option to decrease mud quantity when it is improperly confined because it could contribute to environmental pollution and soil deterioration.

<sup>1</sup> Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. 25315 Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

\* Autor responsable (abenmen@yahoo.com)

<sup>2</sup> Centro de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad No.940, Ciudad Universitaria. 20100 Aguascalientes, Ags., México.

**Index words:** *xylem, heavy metals, ornamental plants, minerals, Lilium sp.*

## INTRODUCCIÓN

En la depuración de aguas residuales de diferentes industrias se producen importantes cantidades de subproductos sólidos, comúnmente llamados lodos industriales, que pueden convertirse en una posible fuente de contaminantes con impacto negativo sobre el entorno. Una alternativa atractiva es su aprovechamiento desde el punto de vista agrícola, proporcionando por una parte un beneficio ambiental al trasladarse los subproductos a una actividad productiva, disminuyendo así su impacto ecológico y la necesidad de confinamiento; por otro lado se obtiene un beneficio agrícola al modificar, manipular o incorporar los lodos en los sustratos o suelos para el aprovechamiento de los insumos nutrimentales que contienen. Los subproductos sólidos que provienen de las plantas de tratamiento de aguas residuales textiles poseen características muy diversas, de tal forma que de acuerdo a su perfil químico y biológico pueden tener diferentes destinos; algunos de ellos son susceptibles de ser reutilizados o revalorizados como mejoradores de suelos. En otros casos pueden destinarse a la recuperación y reciclaje de elementos que lo componen o bien a una reutilización posterior; en el peor de los casos algunos lodos deben ser manejados de forma cuidadosa para ser dispuestos en confinamientos especiales bajo la denominación de residuos peligrosos (Benavides *et al.*, 2007).

El uso agrícola de estos residuos orgánicos, ya sea de forma directa como lodo crudo o bien transformados en productos con alto contenido de materia orgánica estabilizada (composta) ha conducido a la valoración de estos materiales, fundamentalmente en lo relativo a su capacidad de mejorar la calidad y la cantidad de la materia orgánica (valor como enmienda) y el contenido de nutrientes (valor fertilizante) de suelos agrícolas (Cuevas y Walter, 2004). Considerando que el tratamiento de lodos de su forma cruda a composta genera costos de traslado, almacenamiento, tratamiento y aplicación, es conveniente contar con la opción de usar estos materiales en forma cruda. El lodo crudo es aquel que no ha sido tratado ni estabilizado, que puede extraerse de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales y puede producir olor (WTP-Lenntech, 1998).

Los suelos en general presentan gran variabilidad en sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas, que van a influir en la respuesta de la aplicación del lodo. De la misma forma, cada especie de planta que se cultiva sobre suelos con adición de lodos residuales, reacciona de manera diferente. Debido a estas características, la aplicación indiscriminada de lodos al suelo donde se cultivan plantas destinadas a la alimentación de ganado o para consumo humano, puede entrañar riesgos (Ortiz *et al.*, 1999). La dosis de aplicación de lodo se suele fijar en función de los requerimientos del cultivo en N y P. La productividad del suelo aumenta frecuentemente, a causa del llamado efecto de la materia orgánica que se produce después de la aplicación de lodos residuales (Quinteiro *et al.*, 1988). Aplicando lodo residual industrial, Benavides *et al.* (2007) observaron impactos positivos sobre el crecimiento de lechuga (peso seco y fresco) al desarrollarse en el suelo y se obtuvo mayor concentración de Fe, Mn y B en las hojas de las plantas cultivadas. Sin embargo, el efecto sobre el crecimiento de lechuga y otras especies fue negativo cuando los materiales industriales se utilizaron en gran concentración (igual o mayor al 25%). Los efectos negativos se derivaron al parecer de la alta concentración de sales, la cantidad de bicarbonatos y desbalance de cationes como el  $\text{Na}^+$  y el  $\text{Mg}^{2+}$ . En el caso de algunos minerales necesarios para las plantas como el Fe y el Zn se encontró que los subproductos fueron una buena fuente. El uso de este tipo de lodos requiere de una supervisión cuidadosa de parte de las instancias ambientales correspondientes. En el caso de México, la 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", establece los límites de uso de los subproductos industriales y urbanos de tal forma que se eviten daños a la salud o a los ecosistemas. El presente estudio se enmarca en una estrategia de generación de opciones para el uso seguro de subproductos industriales de empresas productoras de mezclilla cuya meta es contar con alternativas para la disminución del volumen de materiales que se confina o se dispone en el ambiente. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del lodo industrial textil crudo en la producción de plantas ornamentales en macetas de *Lilium sp.*; cultivar Brunello en condiciones de invernadero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del Experimento

El estudio se realizó en el invernadero tipo túnel del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

### Material Vegetativo

El material utilizado fue el bulbo de *Lilium* sp. híbrido asiático cultivar Brunello calibre 14/16 de color naranja, con un periodo de crecimiento de 80-90 días, altura de la planta de 80 a 90 cm, posición de flor hacia arriba, y número de botones de seis a ocho por tallo.

### Establecimiento del Experimento

Se realizó en el verano del 2007, se establecieron 120 bulbos del cultivar Brunello, mismos que fueron plantados en macetas con capacidad de 2.5 L. Cada maceta se llenó con su correspondiente mezcla de turba de musgo y lodo industrial textil crudo; el lodo industrial textil fue obtenido de la empresa fabricante de mezclilla Fábrica La Estrella, S. A. de C. V. (FLESA) ubicada en Parras de la Fuente Coahuila, México. Se aplicó el lodo industrial en forma cruda sin previo tratamiento. Se aplicaron cuatro tratamientos: 0 (testigo), 2, 5 y 10% de lodo mezclado con turba de musgo.

### VARIABLES EVALUADAS

Altura de planta, diámetro de tallo, diámetro de flor, número de botones florales, longitud y diámetro de botón floral, contenido de macro y micronutrientes, incluyendo; K, Mn, Fe, Cu, Zn, Ca, Mg y N, además del Na y los metales pesados como el Cr, Al, Cd, Ni y Pb. Las variables se midieron en 15 plantas por cada tratamiento. En el caso de la concentración de minerales y metales pesados se utilizó una mezcla compuesta de tres plantas por cada tratamiento en plena floración separando hoja, tallo, flor y raíz. También se determinaron las características anatómicas del tallo con una evaluación histológica del área de vasos de xilema, frecuencia de los vasos de xilema y área de las células del parénquima.

### Diseño Experimental y Análisis de la Información

El diseño experimental fue completamente al azar y constó de cuatro tratamientos y 15 repeticiones. La unidad experimental fue una maceta. Para el análisis de la información, se realizaron tres pruebas estadísticas en forma independiente. Por un lado, para medir la influencia de las diferentes dosis de lodos residuales sobre la acumulación de los metales evaluados, se aplicó una prueba no-paramétrica de proporciones estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) seguida de una prueba de contrastes ortogonales. Para determinar la influencia de la concentración de los metales pesados en la raíz en relación al tallo, hoja y flor de las plantas evaluadas, se realizó un análisis de correlación y regresión ( $P \leq 0.05$ ) estadística (Sokal y Rohlf, 1995). La posible influencia de los lodos industriales sobre el crecimiento de las plantas (diámetro y longitud del tallo) y la flor de ellas (longitud de botones y diámetro de flor) fue determinada a través de un análisis de varianza, seguido de una prueba de separación de medias de Fisher DMS ( $P \leq 0.05$ , Steel y Torrie, 1980). Para las pruebas estadísticas se usaron los programas SPSS® ver. 9.2 en las pruebas no paramétricas y STATISTICA® ver 6.2 en el caso del análisis de varianza y las regresiones lineales.

### Metodología de Evaluación

El diámetro del tallo se midió con vernier a la altura de la parte superior de la maceta para tener un punto guía de medida. La longitud de planta se midió con flexómetro desde la parte superior media de la maceta hasta donde inicia el ápice vegetativo. Se contabilizaron los botones florales de cada planta. El diámetro de flor fue el resultado del promedio de la lectura longitudinal y transversal de la flor. La evaluación histológica se realizó a una altura del tallo de 20 cm. Una vez establecidos los bulbos en las macetas se les aplicó un riego diario. La fertilización se hizo cada tercer día, en las dos primeras semanas después de la siembra no se aplicó fertilizante, iniciándose la aplicación a partir de la tercera semana con las siguientes cantidades: nitrato de potasio (13-02-44) 312.38 g; nitrato de magnesio (9.7% de Mg) 7.82 g; PoIy Feed (19-19-19) 93.68 g; quelato de hierro (7%) 3.88 g. A partir de la quinta semana y hasta la cosecha, aparte de los productos ya mencionados,

se agregaron 191.66 g de nitrato de calcio (15.5-00-00-19); estos fertilizantes se disolvieron en 200 L.

### Análisis en Laboratorio

En el Laboratorio de Nutrición Animal de la UAAAN se determinó la concentración de minerales así como el peso fresco y seco de la planta, usando una muestra compuesta de tres plantas por tratamiento. Para determinar el peso fresco las plantas se lavaron con agua potable y enjuagaron con agua destilada, después se separó el tallo, hoja, flor y la raíz, para posteriormente obtener el peso fresco de cada planta en la báscula analítica y luego escribir el valor promedio. Después cada órgano de la planta se puso en bolsas de papel identificadas según el tratamiento para obtener el peso seco constante en una estufa de secado a 60 °C durante 24 h. La determinación de la concentración de minerales de la planta se hizo de acuerdo a los métodos descritos por Fick *et al.* (1976). Las muestras secas se molieron y fueron guardadas en frascos de vidrio, se les determinó Na, K, Fe, Cu, Zn, Ca, Mg y en el caso del N se utilizó el método de Kjeldahl (AOAC, 1980).

La caracterización histológica se realizó de acuerdo a la técnica de la parafina descrita por O'Brien y Mc Cully (1981). Las muestras fueron analizadas usando un microscopio compuesto acoplado a una computadora con software de análisis de imagen AxioVision 4.5.

El análisis químico del lodo industrial fue llevado a cabo usando técnicas descritas por la AOAC (1980). En la muestra de lodo industrial textil se determinaron la presencia y concentración de coliformes fecales, *Salmonella* spp., huevos de helmintos, arsénico y metales pesados como el Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni y Zn señalados en la NOM-004-SEMARNAT-2002, se realizaron en un laboratorio certificado para la mencionada norma oficial. Por otra parte, también se determinó la presencia y concentración de los metales pesados de Cr, Al, Cd, Ni y Pb en una mezcla compuesta de tallo, hojas y flores de la planta de *Lilium* sp. conforme al método Environmental Protection Agency 6020A (EPA, 2007).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración de metales pesados y de arsénico (Cuadro 1), así como los límites permisibles para patógenos y parásitos (Cuadro 2) en el lodo se

presentaron muy por debajo de los límites marcados en la NOM-004-SEMARNAT-2002, esto indica que el lodo utilizado pertenece a la clase A de tipo excelente, es decir, se permite su uso urbano con contacto al público directo durante su aplicación, además es de uso forestal, mejorador de suelos y de uso agrícola. Estos resultados coinciden con lo reportado por Jurado *et al.* (2006) quienes reportaron un biosólido aeróbico y deshidratado de una planta de tratamiento de aguas residuales utilizado en el experimento es de tipo excelente. Hernández *et al.* (2005) reportaron que los análisis de la concentración de metales pesados, muestran que el lodo residual proveniente de una planta tratadora de aguas residuales está por debajo del límite permitido por la NOM-004. Estos datos parecen indicar la posibilidad de que diversos lodos industriales o biosólidos urbanos tengan aplicación en actividades agrícolas, de reforestación o de mejora de suelos.

### Análisis de Tejido Vegetal

La prueba de proporciones demostró que la acumulación foliar de los elementos Ca, Fe, Zn, Mn, Mg, Na, K y N no fue afectada por los otratamientos aplicados ( $P \geq 0.05$ ). En el caso del Cu el testigo presentó niveles de acumulación (30 mg kg<sup>-1</sup>) similares al tratamiento en donde se incorporó el lodo a una concentración del 2% (14 mg kg<sup>-1</sup>) ( $P = 0.062$ ); sin embargo, el nivel de acumulación de Cu en el tratamiento testigo estadísticamente fue mayor que en el resto de los tratamientos ( $P \leq 0.05$ ). Los tratamientos al 2, 5 y 10% de lodo, no difirieron estadísticamente entre ellos ( $P \geq 0.05$ ).

**Cuadro 1. Análisis de metales pesados y arsénico (mg kg<sup>-1</sup>) en el lodo industrial textil crudo y límites máximos permitidos para las categorías excelente y bueno.**

Metal	Lodo industrial textil	Límite máximo permisible <sup>†</sup>	
		Excelente	Bueno
As	2.08	41	75
Cd	1.47	39	85
Cr	34	1200	3000
Cu	58.2	1500	4300
Pb	10.9	300	840
Hg	0.88	17	57
Ni	20	420	420
Zn	76.39	2800	7500

<sup>†</sup> Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002.

**Cuadro 2. Análisis de patógenos y parásitos en el lodo industrial textil y límites máximos permitidos para las categorías A, B y C.**

Parámetro	Lodo industrial textil		Límite máximo permisible <sup>†</sup>			Unidades en base seca
	NMP/gST	A	B	C		
Coliformes fecales	400	< 1000	< 1000	< 2000000		
Salmonella	ND	< 3	< 3	< 300		NMP/g
Huevos de Helminto	ND	< 1	< 10	< 35		HH/g

ND = no detectado; NMP = número más probable; HH = huevos de Helminto; gST = gramos de sólidos totales. <sup>†</sup> Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002.

En cuanto a la concentración de minerales en el tallo, el análisis estadístico demostró que el contenido de Ca en el testigo y los tratamientos con 2 y 10% fue mayor que lo encontrado en el tratamiento con el 5% de lodo ( $P \leq 0.05$ ). En lo que concierne al Zn, la mayor acumulación se presentó cuando se usó un 2% del lodo en el sustrato ( $P = 0.03$ ), mientras que los demás tratamientos presentaron una acumulación similar ( $P \geq 0.05$ ). La menor acumulación de Mn se presentó en tallos de plantas desarrolladas en un sustrato conteniendo un 10% de lodo industrial ( $P \leq 0.05$ ), mientras en el testigo se acumuló mayor cantidad de Mg ( $P \leq 0.05$ ). Tanto para el Na, Fe, Cu, K y N en el tallo, no existieron diferencias estadísticas entre tratamientos para cada uno de los minerales ( $P \geq 0.05$ ).

En las flores, solamente en el contenido de Ca se reflejó la influencia de los lodos industriales. En este caso, las plantas crecidas en sustrato conteniendo un 2% del lodo industrial presentaron una concentración menor a los demás tratamientos, incluido el testigo ( $P = 0.03$ ). Los tratamientos restantes se comportaron de manera similar ( $P \leq 0.05$ ). En relación al Fe, Zn, Mn, Mg, Na, Cu, K y N, no existieron diferencias estadísticas entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ).

Para la raíz, la prueba de proporciones demostró que no hubo diferencias atribuibles a los tratamientos ( $P \geq 0.05$ ) en la concentración de Ca, Fe, Zn, Mg, Na, Cu y N ( $P \leq 0.05$ ). Sólo el Mn y el K presentaron diferencias significativas entre tratamientos. En el primero, tanto el testigo como el tratamiento con 2%, presentaron niveles superiores al resto de los tratamientos (281 y 355 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente) ( $P \leq 0.05$ ), pero los valores fueron similares entre ellos ( $P \geq 0.05$ ). La acumulación más baja de Mn se presentó en el 5% y 10% de lodo (77 y 97 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente) ( $P \leq 0.05$ ), aunque no hubo variación entre ellos ( $P \geq 0.05$ ).

La mayoría de los minerales están dentro del rango de suficiencia marcado por Mills y Jones (1996)

para *Lilium* sp.; sólo el contenido de Fe rebasa dichos valores; sin embargo, no se presentó ningún síntoma de toxicidad por parte del mineral. Un efecto similar fue reportado por Ortiz *et al.* (1999) al observar que el contenido de nutrimentos esenciales (N, P, Ca, Mg, K, Fe, Na, Zn y Mn) se encuentran dentro del intervalo normal en la planta de maíz (*Zea mays* L.), excepto el Fe y el Mn, que se detectaron en concentraciones más elevadas después de la aplicación de lodo industrial, pero no se observaron síntomas de deficiencia o toxicidad. Asimismo, Cuevas y Walter. (2004) observaron que el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn estuvieron dentro de los límites normales para el buen desarrollo de las plantas de maíz después de la aplicación de la composta de lodo durante dos años. En el Cuadro 3 se muestra el contenido de minerales de la planta de *Lilium* sp.; cultivar Brunello en comparación con lo reportado por otros autores.

El análisis de correlación y regresión realizado para evaluar la concentración de minerales en los distintos órganos de la planta, sugiere que en el caso del Cu, la acumulación de este metal en la raíz es independiente a su cantidad tanto en el tallo como en la hoja, pero no en las flores, donde al aumentar la concentración del Cu en la raíz, disminuye en la flor de *Lilium* sp. La acumulación del K en la raíz y su relación con las hojas y las flores son independientes. En el caso del N, al aumentar su concentración en la raíz, también lo hizo en la flor de *Lilium* sp. El análisis de la acumulación de Zn la raíz, sugiere que al aumentar esta, similar es lo ocurrido en el tallo, no así en la hoja y flor. Al incrementar la concentración del Mn en la raíz, ocurre un proceso similar en el tallo y la hoja; sin embargo, no existe relación alguna respecto a la flor. Por su parte, cuando al aumentar la acumulación de Ca en la raíz, disminuye la acumulación de este metal en el tallo, posiblemente, por ello no se detecta una relación en la hoja y flor. Un proceso similar ocurrió con la acumulación del Fe. En relación a la acumulación del Mg en la raíz,

**Cuadro 3. Concentración promedio de minerales en *Lilium* sp. cultivar Brunello.**

Mineral	Rango de suficiencia foliar en		Muestra			
	<i>Lilium</i> sp. <sup>†</sup>		Hoja	Tallo	Flor	Raíz
Macronutrientes	----- % -----					
N	3.30 - 4.80		3.2	0.5	2.17	0.9
K	3.30 - 5		2.7	1.6	2.7	1.1
Ca	0.60 - 1.50		1.3	0.43	0.42	1.4
Mg	0.20 - 0.70		0.46	0.16	0.37	0.6
Micronutrientes	----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
Fe	60 - 200		320	133	123	918
Mn	35 - 200		65	12	21	203
Cu	8 - 50		16	8	8	11
Zn	20 - 200		176	143	110.5	178
Na	20000 <sup>‡</sup>		7150	9500	2925	9350

<sup>†</sup> Mills y Jones (1996). <sup>‡</sup> Subbarao *et al.* (2000).

al incrementar este, también hubo un aumento en la flor, aunque esto no hubo relación significativa en el tallo y en la hoja. La acumulación del Na en la raíz no presentó relación alguna en el tallo, hoja y flor de *Lilium* sp. Los coeficientes de correlación y determinación completos pueden apreciarse en el Cuadro 4.

En el Cuadro 5 se muestra la comparación entre el contenido de metales pesados de la planta de *Lilium* sp.; y los reportados por Pais y Jones (1996) y Mills y Jones. (1996), en el cual se observa que los rangos de Cr, Cd, Ni, Pb y Al se encuentran en niveles adecuados, por tal motivo no representan problemas de toxicidad para la planta. Esto coincide con Illera *et al.* (2001) y Salcedo *et al.* (2007), quienes observaron que contenidos de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) en la parte aérea de la planta de tomillo (*Thymus zygis*), y en el grano de maíz no superan los límites considerados como tóxicos para las plantas herbáceas y el tipo de grano después de la aplicación de biosólidos y lodos residuales, respectivamente. En otro estudio Hernández *et al.* (2005) encontraron que la concentración promedio de metales pesados (Cd, Pb, Cu, Ni, Fe, Zn, Mn) en la parte

aérea en el cultivo del sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pres.) se ubica en los niveles nutricionales adecuados después de la aplicación del lodo residual. Un efecto similar se presentó con la aplicación de una composta de lodo residual en plantas de maíz, cuyo contenido de metales pesados en la parte aérea (Cu, Zn, Cd y Ni) estuvieron lejos de los valores considerados como críticos para la planta; en el caso del Pb y Cr fueron menores al límite de detección (Cuevas y Walter, 2004). Lo anterior difiere de los resultados obtenidos por Ortiz *et al.* (1999), en el cultivo del maíz, ya que no detectaron la presencia de metales pesados como el Cr, Pb, Ni, Cd y Co, lo cual puede deberse a las características del lodo utilizado ya que éstas varían de acuerdo a su origen, clima, composición química, entre otras. En el presente estudio, la concentración del Cr, Cd, Ni y Pb en las plantas de *Lilium* sp.; crecidas en el tratamiento testigo fue mayor que los demás tratamientos, sin embargo, no rebasa el nivel considerado como tóxico; en el caso del Al, las plantas del tratamiento al 10% presentaron la concentración más alta, pero está dentro del nivel normal de concentración en las plantas.

**Cuadro 4. Análisis de correlación y coeficiente de determinación en la concentración de minerales en los distintos órganos de las plantas en relación a la concentración determinada en la raíz.**

Raíz contra	Cu		K		N		Zn		Mn		Ca		Fe		Mg		Na	
	C <sup>†</sup>	R <sup>2</sup>	C	R <sup>2</sup>	C	R <sup>2</sup>	C	R <sup>2</sup>	C	R <sup>2</sup>	C	R <sup>2</sup>	C	R <sup>2</sup>	C	R <sup>2</sup>	C	R <sup>2</sup>
Tallo	0.17	0.03	0.33	0.11	0.32	0.10	0.86	0.75	0.82	0.66	-0.84	0.71	-0.66	0.99	0.05	0.01	-0.42	0.17
Hoja	0.38	0.14	-0.48	0.22	0.17	0.03	0.53	0.28	0.93	0.86	-0.03	0.01	0.17	0.03	-0.22	0.05	0.01	0.00
Flor	-0.94	0.88	0.45	0.22	0.85	0.73	-0.24	0.06	-0.27	0.07	0.39	0.15	-0.63	0.40	0.92	0.84	0.10	0.01

<sup>†</sup> C = correlación. R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación.

**Cuadro 5. Concentración de metales en la parte aérea (hoja, tallo y flor) del cultivar Brunello en los diferentes tratamientos de lodo.**

Metal	Testigo	2%	5%	10%	Referencia <sup>†</sup>	Nivel tóxico
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
Cr	0.35	0.34	0.32	0.32	0.2-1	-
Cd	0.35	0.33	0.2	0.16	0.2-0.8	>2
Ni	1.9	0.34	0.21	0.28	1	50
Pb	0.37	0.35	0.39	0.29	0.1-10	-
Al	34.8	33.7	27.7	43.8	60 <sup>‡</sup>	-

<sup>†</sup> Pais y Jones (1996); <sup>‡</sup> Mills y Jones (1996).

### Variables Morfológicas

El análisis de varianza demostró que existieron diferencias altamente significativas para el diámetro del tallo ( $P \leq 0.01$ ) y significativas en longitud del tallo de las plantas de *Lilium* sp. ( $P \leq 0.05$ ) (Cuadro 6). Con el uso del lodo industrial textil se incrementó la longitud del tallo, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Salcedo *et al.* (2007) ya que las aplicaciones de lodo residual incrementaron la longitud del tallo en plantaciones forestales de *Pinus douglasiana*. Otro caso es reportado por Jurado *et al.* (2006) quienes reportaron que la aplicación de biosólidos incrementó la altura del zacate navajita (*Bouteloua gracilis*). La aplicación del lodo que produjo un incremento en la longitud de *Lilium* sp. fue con el tratamiento al 2%, aunque estadísticamente no hubo diferencia significativa con la del 5%; al incrementar el volumen de lodo en el sustrato en proporciones mayores al 5% se disminuyó la longitud del tallo. Esto puede deberse a la alta conductividad eléctrica (49 dS m<sup>-1</sup>) del lodo industrial textil crudo; un efecto similar lo encontró Mirelles *et al.* (2002), quienes obtuvieron incrementos en la longitud del tallo con la menor dosis de lodo fresco y compostado en plántulas de tomate, rye-grass, espinaca, trigo, lenteja

y maíz. Los mismos autores reportaron que al aumentar la dosis de lodo aplicado, los valores de la longitud del tallo disminuyen a causa de la alta conductividad eléctrica. Por lo tanto es posible sugerir la existencia de un efecto de alta conductividad, ya que únicamente el testigo presentó un mayor diámetro de tallo; sin embargo, esto difiere con los resultados reportado por Salcedo *et al.* (2007), sobre el uso de lodo residual en una plantación de *Pinus douglasiana*, quienes registraron un incremento del diámetro del tallo en un 18% con una dosis mayor de lodo en comparación con el control. Si bien el lodo industrial no favoreció el incremento en el diámetro del tallo de *Lilium* sp.; éste fue lo suficientemente resistente para soportar a la planta tal como se constató al no presentarse acame de las plantas. Con una conductividad similar (49 dS m<sup>-1</sup>) que presentó el lodo, Fassbender y Bornemisza (1987), reportan que solamente cultivos muy tolerantes a sales pueden crecer, pero en este experimento, la relación de volumen de lodo con la turba de musgo es mucho menor, por lo cual la dosis de los elementos que podrían afectar a las plantas es mínima.

La longitud del tallo en *Lilium* sp.; es un criterio de calidad muy importante; por ejemplo Coxflor®, la cual es una empresa pionera y líder en la producción de flores en México, marca una clasificación de calidad para la comercialización de esta flor que se basa en la altura y el número de botones florales por tallo. Dicha clasificación muestra diferentes categorías, en donde la calidad *Plus* es de cuatro a seis botones por tallo y una altura de 90-110 cm; la calidad *Exp* es de dos a tres botones por tallo con una altura de 70 a 80 cm; y la calidad *Med* es de uno a dos botones por tallo con una altura de 70 cm. Con base en lo anterior solo el tratamiento con lodo al 2% entra en la clasificación de *Exp*, mientras que el resto de las plantas no logran ingresar en dicha clasificación. Sin embargo, dicha clasificación no especifica si la medición de la altura se incluye la parte del racimo floral. Respecto a la influencia

**Cuadro 6. Valores promedio  $\pm$  error estándar (EE) de la longitud y diámetro del tallo, diámetro de flor y longitud de botones de *Lilium* sp.**

Lodo	Longitud de botones $\pm$ EE	Diámetro de flor $\pm$ EE	Longitud de tallo $\pm$ EE	Diámetro del tallo $\pm$ EE
%	----- cm -----			mm
0	9.18 $\pm$ 0.07 bc <sup>†</sup>	17.77 $\pm$ 0.22 b	68.59 $\pm$ 1.12 ab	0.87 $\pm$ 0.02 a
2	9.43 $\pm$ 0.11 a	18.36 $\pm$ 0.22 a	72.31 $\pm$ 1.43 a	0.83 $\pm$ 0.01 b
5	9.30 $\pm$ 0.07 ab	18.25 $\pm$ 0.14 abc	69.84 $\pm$ 2.16 a	0.81 $\pm$ 0.01 bc
10	9.06 $\pm$ 0.05 c	17.67 $\pm$ 0.08 bc	64.73 $\pm$ 1.12 b	0.78 $\pm$ 0.01 c

<sup>†</sup> Medias seguidas de letras distintas indican diferencia estadística de acuerdo a la prueba de separación de medias Fisher ( $P \leq 0.05$ ).

de la aplicación del lodo industrial sobre la producción de botones florales en plantas de *Lilium* sp.; no existieron diferencias estadísticas entre tratamientos ( $P = 0.5708$ ), en promedio se tuvieron cinco botones florales por tallo para los cuatro tratamientos.

De acuerdo al análisis de varianza realizado, los resultados obtenidos sugieren un efecto del lodo industrial sobre la longitud de los botones florales ( $P = 0.013$ ). Respecto al diámetro de los botones florales no se encontraron diferencias significativas ( $P = 0.165$ ). En cuanto al diámetro de la flor, el análisis sugiere la existencia de diferencias estadísticas entre tratamientos en función del volumen de lodo industrial aplicado ( $P = 0.017$ , Cuadro 6).

### Características Anatómicas

Con el uso del lodo industrial textil crudo, el área de los vasos del xilema se incrementó respecto al testigo en un 59.1% para el tratamiento con lodo al 10% y cerca del 400% para el tratamiento al 2% (Cuadro 7). El valor práctico de este cambio es referido por Díez *et al.* (1995) al sugerir que las plantas con vasos de diámetro pequeño, además de tolerar sequías, tienen mayor tolerancia a las enfermedades vasculares, ya que su tamaño

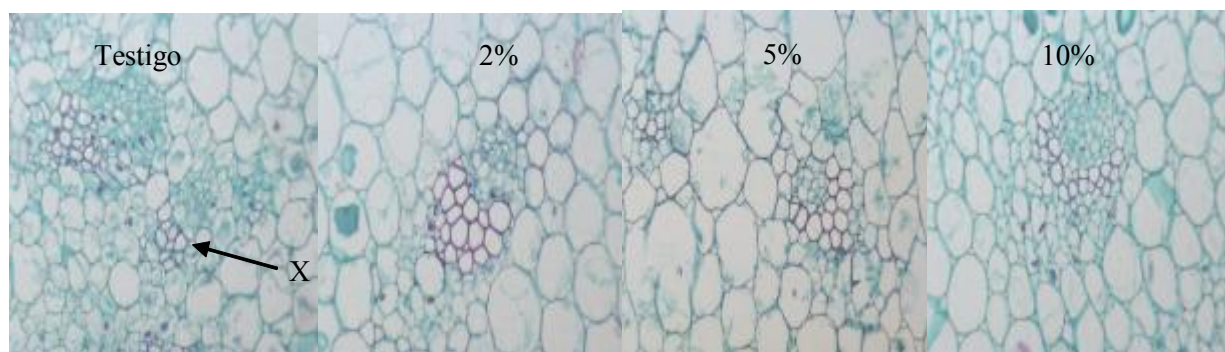
reducido dificulta la distribución del patógeno por los vasos del xilema. Por otra parte, el área de las células del parénquima fue decreciendo con la aplicación de los diferentes tratamientos de lodo industrial (Cuadro 7). Page (1983) menciona que el incremento del diámetro de las células del parénquima se asocia indirectamente con el aumento de la biomasa, así como con un mayor grosor del tallo. Esto pudiera ser parte de la explicación del diámetro mayor del tallo obtenido en el testigo en comparación con los demás tratamientos. La mayor frecuencia de vasos de xilema se presentó en las plantas testigo seguido de plantas crecidas en sustratos con lodo al 10% (Cuadro 7). Castillo *et al.* (2005) reportan que la gran densidad de vasos y el reducido tamaño de los mismos, ofrecen seguridad en la conducción de agua a través del xilema, ya que disminuyen la formación de embolismos, o en aquellos vasos donde se llegan a formar estos embolismos la conducción de agua será poco afectada. El agua del vaso bloqueado puede moverse entonces lateralmente hacia otro vaso contiguo y continuar así su desplazamiento (García *et al.*, 2006), habilidad que posiblemente aumente al elevarse la densidad de vasos de xilema.

La Figura 1 representa el corte transversal de tallo de *Lilium* sp.; donde se identifican los vasos del

**Cuadro 7. Efecto del lodo industrial textil crudo sobre las características anatómicas de las plantas de *Lilium* sp.**

Lodo	Área de vasos del xilema	Área de células del parénquima	Grosor de pared de xilema	Frecuencia de vasos / haz vascular
%	----- $\mu\text{m}^2$ -----			
0	397.1 a <sup>†</sup>	3989.7 a	2.64 a	21.6 a
2	1959.2 b	2330.9 b	3.42 a	9.6 b
5	916.1 b	2121.9 b	2.74 a	12.4 b
10	631.9 b	2036.9 b	2.51 a	12.8 b

<sup>†</sup> Medias seguidas de letras distintas indican diferencia estadística de acuerdo a la prueba de comparación de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 1. Corte transversal de tallo donde se observan los vasos del xilema (X).**



xilema (X) en los diferentes tratamientos de lodo industrial, observados con objetivo de 10x.

Se observó una asociación entre algunas variables morfológicas y anatómicas a partir de la aplicación del lodo industrial en *Lilium* sp.; (Figura 2). Una de ellas, es la relación que existe entre los vasos del xilema con el diámetro de la flor ( $r = 0.8258$ ;  $P \leq 0.05$ ) y la longitud del tallo ( $r = 0.7518$ ;  $P \leq 0.05$ ), datos de los Cuadros 6 y 7, lo cual es de particular interés, ya que estas variables son de importancia comercial.

## CONCLUSIONES

- Los resultados marcaron como factible el uso agrícola del lodo industrial mezclado con turba de musgo para producir *Lilium* sp. En particular la concentración del lodo al 5 y 2% siendo esta última la mejor la cual mostró efectos positivos debido al incremento de la longitud del botón floral, el diámetro del botón, el diámetro de la flor, así como la longitud del tallo en las plantas de lili por lo que mejoró su crecimiento

- Las concentraciones de metales pesados y minerales estuvieron dentro de los niveles normales en los tejidos de las plantas, no hubo efecto negativo con el uso del lodo industrial textil. En el aspecto anatómico del tallo la presencia del lodo causó un incremento en el área y frecuencia de los vasos del xilema, así como una disminución en el área de células de parénquima.

## LITERATURA CITADA

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1980. Official methods of analysis, 13th ed. William Horwitz. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA.
- Benavides M., A., H. Ramírez, N. Ruiz T., A. Perales H., E. Cornejo O., H. Ortega O. y R. V. Dávila S. 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. pp. 147-162. In: M. González-Álvarez y S. M. Salcedo Martínez (eds.). Tópicos selectos de Botánica. Vol. III. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, NL, México.
- Castillo, M., M. E. Sanabria, C. Hidalgo y Y. Perozo. 2005. Características anatómicas del tallo de Bálsamo de incienso (*Bursera tomentosa* (JACQ) TR. y Planch). Bioagro 17: 17-23.
- Cuevas, G. e I. Walter. 2004. Metales pesados en maíz (*Zea mays* L.) cultivados en un suelo emendado con diferentes dosis de compost de lodos residual. Rev. Int. Contam. Ambient. 20: 59-68.
- Díez, J. J., M. E. García, Y. Menéndez y L. A. Gil. 1995. Relaciones hídricas en olmo y su posible implicación en la resistencia a *Ophiostoma novo-ulmi*. In: Memoria IV Congreso. Luso-Español de Fisiología Vegetal. Sociedad Española de Fisiología Vegetal. Estoril, Portugal.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2007. Method 6020A. Inductively coupled plasma-mass spectrometry. <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/6020a.pdf> (Consulta: febrero 10, 2010).
- Fassbender, H. W. y E. Bornemisza. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

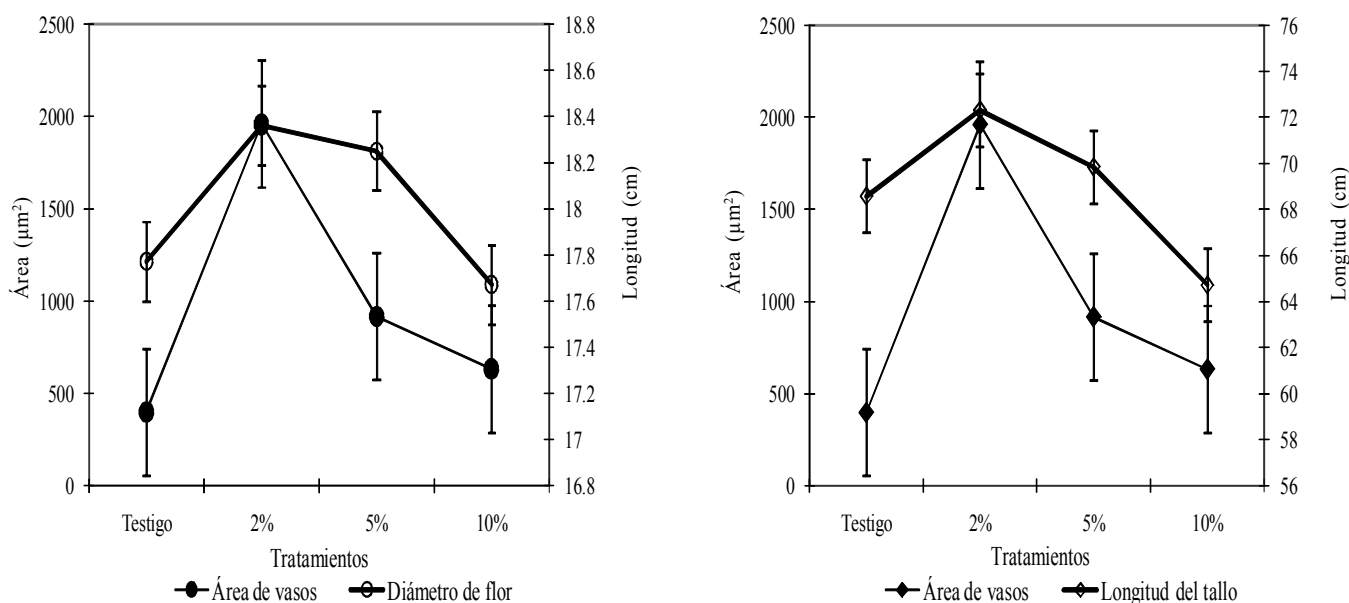


Figura 2. Correlación entre el área de los vasos del xilema con el diámetro de flor y la longitud del tallo.

- Fick, K. R., S. M. Miller, J. D. Funk, L. R. McDowell, and R. H. Houser. 1976. Methods of mineral analysis for plant and animal tissues. University of Florida. Gainesville, FL, USA.
- García B., F. J., J. Roselloi C. y M. P. Santamarina S. 2006. Introducción al funcionamiento de las plantas. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Hernández H., J. M., E. Olivares S., I. Villanueva F., H. Rodríguez F., R. Vázquez A. y J. F. Pissani Z. 2005. Aplicación de lodos residuales, estiércol bovino y fertilizantes químicos en el cultivo del sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.). Rev. Int. Contam. Ambient. 21: 31-36.
- Illera, V., I. Walter y V. Cala. 2001. Niveles de metales pesados en *Thymus zygis* desarrollado en suelos enmendados con residuos orgánicos urbanos. Rev. Int. Contam. Ambient. 17: 179-186.
- Jurado G., P., M. Luna L., R. Barretero H., M. Royo M. y A. Melgoza C. 2006. Producción y calidad de forraje y semilla del zacate navajita con la aplicación de biosólidos en un pastizal semiárido de Jalisco. Téc. Pec. Méx. 44: 289-300.
- Mills H., A. and J. B. Jones J. 1996. The handbook II plant analysis. MicroMacro Publishing. Athens, GA, USA.
- Mirelles de I., R., E. Ma. Beltrán., M. A. Porcel., M. Del Mar Delgado, Ma. L. Beringola., J. Valero., R. Calvo y I. Walter. 2002. Emergencia de seis cultivos tratados con lodo, fresco y compostado, de estaciones depuradoras. Rev. Int. Contam. Ambient. 18: 139-146.
- O'Brien, T. P. and M. E. McCully. 1981. The study of plant structure principles and selected methods. Termarcarhipty Pty. Ltd. Melbourne, Australia.
- Ortiz H., Ma. L., E. Sánchez S. y M. Gutiérrez R. 1999. Efectos de la adición de los lodos residuales sobre un suelo agrícola y un cultivo de maíz. Rev. Int. Contam. Ambient. 15: 69-77.
- Page, D. L. 1983. Ethepon: Un fitoregulador de caña de azúcar de notable versatilidad. Sugar y Azúcar 78: 1-12.
- Pais, I. and J. B. Jones. 1996. The handbook of trace elements. St. Lucie Press. Delray Beach, FL, USA.
- Quinteiro R., M. P., M. L. Andrade C. y E. De Blas V. 1988. Efecto de la adición de un lodo residual sobre las propiedades del suelo: Experiencias de campo. Edafología 5: 1-10.
- Salcedo P., E., A. Vázquez A., L. Krishnamurthy, F. Zamora E., E. Hernández A. y R. Rodríguez M. 2007. Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. Interciencia 32: 115-120.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. 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. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.
- Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. 1995. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. W. H. Freeman and Co. New York, NY, USA.
- Steel, R. D. and J. H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill. New York, NY, USA.
- Subbarao, G. V., R. M. Wheeler, G. W. Stutte., and L. H. Levine. 2000. Low potassium enhances sodium uptake in red-beet under moderate saline conditions. J. Plant Nutr. 23: 1449-1470.
- WTP-Lenntech (Water, Treatment and Purification-Lenntech). 1998. Tratamiento de lodos. <http://www.lenntech.com/espanol/tipo-de-lodos.htm> (Consulta: junio 10, 2008).