

APLICACIÓN DE LODO INDUSTRIAL CRUDO EN LA PRODUCCIÓN DE LILIS EN MACETA

JORGE ALEJANDRO TORRES GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Grado de:

Maestro en Ciencias
en Horticultura



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista Saltillo, Coahuila, México

Enero de 2009

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**Aplicación de Lodo Industrial Crudo en la Producción de Lilis en
Maceta**

Por

Jorge Alejandro Torres González

Elaborada por la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada como requisito parcial para optar al grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
HORTICULTURA**

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor:

Dr. Homero Ramírez Rodríguez

Asesor:

Dr. Valentín Robledo Torres

Asesor:

Mc. Vicente Díaz Núñez

Dr. Jerónimo Landeros Flores

Director de posgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Enero, 2009

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por brindarme la oportunidad de realizar los estudios de posgrado.

Al **Dr. Adalberto Benavides Mendoza** por compartir sus conocimientos, observaciones, enseñanzas e intercambio de ideas, durante mi formación al inicio y final de la maestría. Además de adecuada planeación y logística para el desarrollo de trabajo de tesis.

Al **Dr. Homero Ramírez Rodríguez** por las observaciones hechas a la investigación de tesis. Además de las enseñanzas en clases.

Al **Dr. Valentín Robledo Torres** por las observaciones y comentarios hechos al la investigación de tesis.

Al **MC. José Antonio Fuentes González** por la planeación y ejecución para el establecimiento del experimento así como para el desarrollo del trabajo de campo.

Al **MC. Vicente Díaz Núñez** Por las observaciones y comentarios realizados al proyecto de investigación y a la tesis.

Al **Dr. Antonio de Jesús Meraz Jiménez** por el intercambio de ideas, observaciones y consejos.

A la **Dra. Yisa María Ochoa Fuentes** por su confianza y apoyo.

A la **Lic. Laura Olivia Fuentes Lara** por la planeación del trabajo de tesis en el laboratorio de Nutrición Animal.

Al **Mc. Alfredo Sánchez** por su confianza y apoyo.

Al **T. A. Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel** encargado del laboratorio del departamento de Nutrición Animal. Por la realización del trabajo en laboratorio.

A la **T. A. Alejandra Romo Charles** encargada del laboratorio de investigación. Departamento de Ciencias Básicas. Por la realización del trabajo en laboratorio

Al **T.A. QFB. Carlos Alberto García Agustince** encargado del laboratorio de investigación del departamento de Ciencias básicas por la realización del trabajo en laboratorio.

A la **T.L.Q María Guadalupe Pérez Ovalle** encargada del laboratorio de cosecha por el desarrollo del trabajo en laboratorio.

A muchos amigos por compartir su amistad conmigo: Adalberto Florentino Hernández, Emilio Bautista Vargas, Ernesto Jiménez Santana, Sergio Mundo Candelario, Carlos Amado Ramírez, Brenda Ramírez Orozco Karla Virginia Mellado Moreno, Isabel, Melesio de León Pérez, Gabriela Medina Mata, Jesús Campos Cruz, María Cecilia Arroyo Medina, Nahúm Hernández Quiroz, Juan José, Agla, Lucía Rosales Pineda, Odilón, Juan Pathistán Pérez, Rosi, Sarita, Areli González Cortés, Patricio, Lizbeth Cruz Alonso, Pompeyo, Astrid, Gloria de la Luz Carpio, José Luis Hernández Martínez, Roberto Artiaga Alonso, Edna Marina González Martínez, Eduardo Hernández Hernández, Enrique Montiel Leos, Chabela y Miguel Ángel.

A mis amigos de Aguascalientes en especial al Barrio de la Salud y UAA

Dedicatorias

A Dios

Al Padre Miguel Agustín Pro

A mi familia

Al Gran Jefe Pluma Roja

Antonio Torres Sandoval

A la Gran Jefa Pluma Blanca

María de Jesús González Lemus

A mis Hermanos

Martha Patricia Torres González

Rosa Angélica Torres González

Juan Antonio Torres González

A mis Abuelos, Tíos, Primos, Sobrinos

A viejita

Teresita Castillo Sánchez

A todo aquel que contribuyó al buen término de mi programa de posgrado

COMPENDIO

Aplicación de Lodo Industrial Crudo en la Producción de Lilis en Maceta

Por

Jorge Alejandro Torres González

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN
HORTICULTURA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, ENERO 2009**

Dr. Adalberto Benavides Mendoza-Asesor-

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

El propósito del trabajo fue evaluar el efecto del lodo industrial textil crudo como parte del sustrato en la producción de plantas ornamentales de lilis *Lilium sp.*; en maceta bajo invernadero, la cual es una opción para aprovechar el lodo residual de origen industrial, en particular de fábricas de textiles, para ser utilizado como insumo en la producción agrícola. Se utilizó el diseño experimental completamente al azar con tres dosis 2, 5 y 10% de lodo industrial con peat moss (volumen/volumen) y un testigo, utilizando 30 repeticiones. Las variables evaluadas fueron: longitud y diámetro del tallo, longitud y diámetro del botón floral, diámetro de flor, concentraciones de minerales: N, K, Ca, Mg, Fe, Zn y Cu y metales pesados como Pb, Cr, Cd, Ni y Al en las plantas. Los resultados muestran

que existieron diferencias significativas en el diámetro ($p \leq 0.001$) y longitud del tallo, así también en el diámetro de la flor y longitud del botón floral de las plantas de lilis *Lilium sp.*; ($p \leq 0.05$). El contenido de minerales está en los niveles normales y la concentración de metales pesados en los tejidos no sobrepasa los niveles tóxicos por lo cual no se presentó ningún síntoma de deficiencia o toxicidad. De esta forma el uso del lodo industrial textil en la producción de lilis *Lilium sp.*; es factible y podría utilizarse 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.

ABSTRACT

Industrial Raw Mud Application in Flowerpot Lilis Production

By

Jorge Alejandro Torres González

MASTER OF SCIENCE IN HORTICULTURE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, ENERO 2009

Dr. Adalberto Benavides Mendoza-Advisor-

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

The purpose of this study was to evaluate the textile industrial raw mud as growing substrate part in the ornamental plants flowerpot Lilis *Lilium sp*; production on greenhouse, plants effect. It is a viable option to approach wastewater sludge that industrials origin in textile mills particularly. It will use like agriculture production input. A complete randomized experimental design with three dosages 2, 5 and 10 % mud with peat moss (volume/volume) and control with thirty replicates were used. The diameter and length steam, diameter and length bloom, diameter flower, minerals like N, K, Ca, Mg, Fe, Zn and Cu and heavy metals Pb, Cr, Cd, Ni and Al concentrations on plant were analyzed The results indicated that diameter ($p \leq 0.001$) and length steam, diameter and length bloom, diameter flower ($p \leq 0.05$) had significant differences, minerals levels were normal whereas heavy metals concentrations did not exceed toxic levels. The plants did not show deficiency

or toxicity symptom. It is feasible to use the textile industrial mud in the *lilium sp.* production and it is a viable option to decrease the mud quantity when the mud is deposited under inadequate way, it could the environmental pollute and contribute with soil deteriorate.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	PAGINA
COMPENDIO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	x
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO	4
HIPÓTESIS	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
Producción de Lodos en México	5
Características de los Lodos	5
Tipos de Lodos más Comunes	6
Principales Riesgos Derivados del Uso de Lodos y Biosólidos.....	8
Estabilización de Lodos.....	10
Usos de Lodos y Biosólidos.....	13
ARTICULO	21
LITERATURA CITADA.....	43

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1.1 Límites Máximos Permisibles Para Metales Pesados en Lodos y Biosólidos.....	9
CUADRO 1.2 Límites Máximos Permisibles Para Patógenos y Parásitos en Lodos y Biosólidos.....	10
CUADRO 1 Resultados De Metales Pesados y Arsénico en el Lodo Industrial Textil Crudo.....	30
CUADRO 2 Resultados de Patógenos y Parásitos en el Lodo Industrial Textil.....	31
CUADRO 3 Contenido Promedio de Minerales en el Cultivar Brunello.....	33
CUADRO 4 Concentración de Metales en la Parte Aérea (hoja, tallo y flor) del Cultivar Brunello en las Diferentes Dosis de Lodo.....	35
CUADRO 5 Valores Promedio de la Longitud del Tallo, Botón y Diámetro de Flor de la Plantas de Lilis.....	38

INTRODUCCIÓN

El problema de la contaminación ambiental ha adquirido tal magnitud y diversidad que la sociedad ha ido tomando cada vez mayor conciencia de los riesgos que representa. La contaminación en el ambiente es causada por varios agentes, físico, químico o biológico o la combinación de varios de ellos en lugares, formas y concentraciones diferentes, que puedan ser nocivos para la población, además de ser perjudiciales para la vida vegetal y animal. La proliferación de estos agentes provoca un desequilibrio grave hasta el punto de llegar a imposibilitar la vida de las especies existentes.

Por ejemplo en la depuración de aguas residuales de diferentes industrias se producen importantes cantidades de subproductos sólidos, comúnmente llamados lodos industriales, cuyo destino definitivo es importante puesto que puede convertirse en una posible fuente de contaminantes con impacto negativo sobre el entorno. Una alternativa para su aprovechamiento sería la actividad agrícola proporcionando un doble beneficio: el ambiental, al eliminarse los subproductos sin alteración relevante del equilibrio ecológico y el agrícola, al incorporarlos en los sustratos o suelos para el aprovechamiento de las características físicas y el contenido de nutrimentos de estos materiales.

El uso de este tipo de lodos, requiere de una supervisión cuidadosa de parte de las instancias ambientales correspondientes es así que en E.E.UU, la Agencia para la Protección al Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) es la responsable de legislar acerca de la aplicación al suelo de lodos residuales para evitar la contaminación del suelo por patógenos, señalando que es necesario dar tratamiento al lodo residual y evaluar la calidad del lodo; la cantidad de patógenos no debe rebasar los límites permisibles de acuerdo a la Final Rule U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, U.S.A. (CFR) 40, parte 503 de la legislación americana para la aplicación en suelos agrícolas, siendo los límites máximos permisibles de coliformes fecales <100 NMP/g en base seca. La Norma 503 establece las concentraciones máximas de metales que no pueden sobrepasarse en los biosólidos que van a ser aplicados al terreno.

Éstas se denominan Concentraciones Límite. La Norma también establece las tasas acumulativas de carga contaminante aplicable a ocho metales, las cuales no deben excederse en los lugares de aplicación al terreno.

En el caso de la Unión Europea, se regula la utilización de los lodos de depuradora en agricultura con el fin de evitar los efectos nocivos en los suelos, la vegetación, los animales y el ser humano. En particular, fija límites de concentraciones de determinadas sustancias en dichos lodos, prohíbe el uso de los mismos en algunos casos y regula su tratamiento, los lodos de depuradora tienen propiedades agronómicas útiles en el ámbito de la agricultura. La utilización de los lodos de depuradora debe tener en cuenta las necesidades en nutrientes de

las plantas, pero no debe perjudicar la calidad de los suelos y de la producción agrícola, ya que determinados metales pesados en los lodos pueden ser tóxicos para las plantas y para el ser humano.

Los suelos sobre los que se han utilizado los lodos deben ser objeto de un muestreo y un análisis. Se debe llevar registros diarios donde se anoten las cantidades de lodo producidas y a las que se les dará un uso agrícola; la composición y las características de los lodos, el tipo de tratamiento realizado, los nombres y direcciones de los destinatarios de los lodos y los lugares de utilización de los lodos.

En el caso de México La Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, lodos y biosólidos -especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final- es la encargada de la protección ambiental en las actividades de desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, así como en las correspondientes a la operación de las plantas potabilizadoras y de plantas de tratamiento de aguas residuales con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

Se considera que los lodos por sus características propias o por las adquiridas después de un proceso de estabilización pueden ser susceptibles de aprovechamiento siempre y cuando cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en La Norma Oficial Mexicana o, en su caso, se

dispongan en forma definitiva como residuos no peligrosos; para disminuir sus efectos contaminantes para el medio ambiente y proteger a la población en general.

OBJETIVO

Evaluar el efecto del lodo industrial textil crudo en la producción de lilis cultivar Brunello en maceta bajo condiciones de invernadero.

HIPÓTESIS

Al menos uno de los tratamientos con lodo industrial textil crudo tiene efectos positivos en la nutrición y calidad de las plantas de lilis.

REVISIÓN DE LITERATURA

Producción de Lodos en México

En el país no se cuenta con una estadística de las cantidades de lodos generadas por el tratamiento de aguas residuales, las características que presentan y de las plantas que tienen un sistema de manejo adecuado para este tipo de desechos. Las cantidades producidas de los lodos durante el tratamiento primario y secundario en cualquier planta de tratamiento de aguas residuales están en función de la cantidad de sólidos que contenga el agua que se trata en la planta, así como de las constantes cinéticas del proceso en particular (Moller, 2002).

Características de los Lodos

Los lodos son sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización. Se ha considerado que los lodos por sus características propias o por las adquiridas después de un proceso de estabilización pueden ser susceptibles de aprovechamiento siempre y cuando

cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la Norma Oficial Mexicana o, en su caso, se dispongan en forma definitiva como residuos no peligrosos; para atenuar sus efectos contaminantes para el medio ambiente y proteger a la población en general NOM-004 (SEMARNAT 2002).

Las características químicas de un lodo definen las necesidades de tratamiento, las condiciones para su disposición final y su posible utilización. El mayor interés de uso se relaciona con su valor agronómico. En general, la naturaleza química de los lodos no ha sido bien caracterizada, esto es debido a su diversidad. Las propiedades biológicas el contenido de microorganismos patógenos depende de la naturaleza de sus constituyentes orgánicos, la concentración de nutrientes, los factores de crecimiento y de la toxicidad de los materiales. El tipo y cantidad de microorganismos patógenos en un lodo depende, básicamente, del estado epidemiológico de la comunidad de donde proviene. Los organismos patógenos cuando se encuentran en los lodos y son expuestos al medio ambiente parecen en tiempos variables como resultado de calor, la luz solar, la desecación, etc. El control de riesgo microbiológico se efectúa con base en las bacterias, virus y huevos de helmintos por su gran resistencia a los factores ambientales (Jiménez, 2001).

Tipos de Lodos más Comunes

Lodo crudo. Es aquel que no ha sido tratado ni estabilizado, que puede extraerse de plantas de tratamiento de aguas residuales y produce olor (Lenntech, 1998).

El lodo primario. Es producido durante los procesos de tratamiento primario de las aguas residuales. El lodo en el fondo del tanque primario de sedimentación se llama también lodo primario, su composición depende de las características del área de recogida de las aguas. El lodo primario contiene generalmente una gran cantidad de materia orgánica, vegetales, frutas, papel, etc. La consistencia se caracteriza por ser un fluido denso con un porcentaje en agua que varía entre 93 y 97% (Lenntech, 1998).

Lodo secundario: en las plantas de tratamiento durante el tratamiento secundario, la demanda bioquímica o la demanda química de oxígeno es disminuida por medios biológicos.

La biomasa degrada al material demandante de oxígeno que se encuentra suspendido o disuelto en el líquido. En este proceso, los microorganismos consumen la materia orgánica disuelta, la cual utilizan como alimento para obtener energía para llevar a cabo todas sus funciones y subsistir en el medio ambiente. Desafortunadamente, la cantidad de microorganismos producidos, excede a la cantidad requerida por el sistema, y parte de esta materia sólida debe ser desechada. Estos materiales biológicos de desecho son llamados lodos secundarios o lodos biológicos (Moller, 2002)

Lodo activo su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo en medio aerobio (Méndez *et al.* 2004) El término “lodo activado” se aplica al conglomerado de microorganismos,

materia orgánica y materiales inorgánicos. Se llama proceso de lodos activados al conjunto de procedimientos cuyo fundamento es poner en contacto el agua residual con una masa biológica preexistente en un tanque de aeración. La materia orgánica biodegradable contenida en el agua residual es degradada en forma aerobia por microorganismos presentes en los flóculos en sustancias más simples e inocuas para el ambiente (Jiménez, 2001).

Biosólidos: Lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamiento. NOM-004(SEMARNAT 2002)

Principales Riesgos Derivados del Uso de Lodos y Biosólidos

Una de las principales limitaciones del uso de lodo y biosólidos es el contenido de arsénico y metales pesados. A continuación se presenta (Cuadro 1.1) los límites máximos permisibles para metales pesados en Estados Unidos, Unión Europea y México.

Cuadro 1.1 Límites Máximos Permisibles para Metales Pesados en Lodos y Biosólidos

Metal	EEUU	U. E.		México	
	Concentración límite (mg/kg ⁻¹)	Valores límite (mg/kg ⁻¹ materia seca)		Excelentes Mg/kg ⁻¹ En base seca	Buenos Mg/kg ⁻¹ En base seca
		Suelos con pH > 7	Suelos con pH <7		
Arsénico	75	*	*	41	75
Cadmio	85	20	40	39	85
Cromo	3000	1000	1500	1200	3000
Cobre	4300	1000	1750	1500	4300
Mercurio	57	16	25	17	57
Molibdeno	75	*	*	*	*
Níquel	420	300	400	420	420
Plomo	840	750	1200	300	840
Selenio	100	*	*	*	*
Zinc	7500	2500	4000	2800	7500

EEUU: Estados Unidos. (Fuente: EPA/831-B-93-002b U.E): Unión Europea. (Fuente Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre) y México. (Fuente NOM-004-SEMARNAT-2002)*Sin dato

El contenido de organismos patógenos de los lodos es una de sus propiedades más importantes para limitar su manejo, puesto que pueden provocar problemas sanitarios (Jiménez, 2001). Los patógenos son microorganismos capaces de causar enfermedades si están presentes en cantidades suficientes y condiciones favorables NOM-004(SEMARNAT 2002). A continuación se presentan los límites de patógenos y parásitos permitidos por la NOM en México (Cuadro 1.2)

Cuadro 1.2 Límites Máximos Permisibles para Patógenos y Parásitos en Lodos y Biosólidos

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(Fuente NOM-004-SEMARNAT-2002) (a) huevos de helminto viables

Estabilización de Lodos

Son los procesos físicos, químicos o biológicos a los que se someten los lodos para acondicionarlos para su aprovechamiento o disposición final y evitar o reducir sus efectos contaminantes al medio ambiente NOM-004(SEMARNAT 2002).

Este proceso ayuda a minimizar la generación de olor, destruir patógenos y reducir los materiales para la atracción de vectores (U. S. EPA 832-F-00-052). La estabilización puede realizarse a través de varias formas:

Digestión anaerobia: Es uno de los procesos más antiguos empleados en la estabilización de lodo. En ausencia de oxígeno molecular, en este proceso se propicia la degradación de la materia orgánica contenida.

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica contenida en la mezcla de lodos primarios y secundarios se convierte en metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂) principalmente. El proceso se lleva a cabo en un reactor

completamente cerrado. Los lodos se introducen en el reactor de forma continua o intermitente, y permanecen dentro de estos tanques durante periodos de tiempo considerables. El lodo estabilizado que se extrae del proceso tiene un bajo contenido de materia orgánica y de microorganismos patógenos vivos NOM-004(SEMARNAT 2002).

La Digestión aerobia es similar al proceso de lodos activados. Conforme se agota el suministro de substrato disponible (alimento), los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma (respiración endógena) para obtener la energía necesaria para las relaciones de mantenimiento celular. Es la transformación bioquímica de la materia orgánica presente en los lodos, que es transformada en bióxido de carbono y agua por los microorganismos en presencia de oxígeno NOM-004(SEMARNAT 2002).

La estabilización alcalina: Es el proceso mediante el cual se añade suficiente cal viva (Óxido de Calcio CaO) o cal hidratada (Hidróxido de Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$) o equivalentes, a la masa de lodos y biosólidos para elevar el pH NOM-004 (SEMARNAT 2002). Uno de los métodos de estabilización consiste en agregar materiales alcalinos para incrementar el nivel de pH y tener condiciones desfavorables para el crecimiento de patógenos. Los biosólidos generados con esta estabilización tienen menor cantidad de nitrógeno que otros biosólidos debido a que el nitrógeno es convertido en amoníaco durante el proceso. La aplicación de biosólidos estabilizados en este proceso ayuda a mejorar las condiciones para el crecimiento de las plantas y reduce la erosión. Con respecto a los patógenos esta

demostrado la reducción del 99.9% de la concentración de coliformes, coliformes fecales y estreptococos fecales (U. S. EPA 832-F-00-052).

La estabilización alcalina ofrece algunas ventajas y desventajas, por un lado. Es eficiente en condiciones de operación controladas, tiene bajos costos de inversión, operación y mantenimiento, requiere de áreas pequeñas, el equipo necesario para la estabilización alcalina es relativamente fácil de instalar y operar, pero por otra parte, el proceso genera olor, aumenta la masa de lodos de 15 a 50% y el incremento del volumen del lodo genera altos costos de transportación cuando el material es movido a otro lugar.

Adición de materia alcalina: se considera que los biosólidos reducen adecuadamente su atracción de vectores si se adiciona suficiente materia alcalina para lograr lo siguiente:

Elevar el pH por lo menos hasta 12, medido a 25°C, y sin añadir más materia alcalina, mantenerlo por 2 horas, y mantener un pH de al menos 11.5 sin la adición de más materia alcalina durante otras 22 horas.

Estas condiciones tienen la intención de asegurar que los biosólidos puedan ser almacenados por lo menos durante varios días en las instalaciones de tratamiento, transportados y posteriormente aplicados sin que el pH descienda a niveles en los que ocurre la putrefacción y se atraen vectores NOM-004 (SEMARNAT 2002).

Usos de Lodos y Biosólidos

Estos pueden tener diversos usos benéficos. Un ejemplo es la incorporación al terreno para abastecerlo de nutrientes y para renovar la materia orgánica del terreno. Los biosólidos y lodos pueden utilizarse en terrenos agrícolas, bosques, campos de pastoreo, o en terrenos alterados que necesitan recuperación. El reciclaje de estos residuos a través de la aplicación al terreno tiene varios propósitos: mejoran las características del suelo, tales como la textura y la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía.

Dicha aplicación también provee nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno y el fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el níquel, el zinc y el cobre, los cual pueden servir como una alternativa o sustituto de los costosos fertilizantes químicos. Los nutrientes contenidos en los residuos ofrecen diversas ventajas en comparación con los fertilizantes inorgánicos debido a que son orgánicos y pueden ser incorporados lentamente por las plantas en crecimiento. Estas formas orgánicas de nutrientes son menos solubles en agua y, por lo tanto, tienen una menor probabilidad de lixiviarse al agua subterránea o ser arrastradas a las aguas superficiales (U.S. EPA 832-F-00-064).

En un trabajo realizado por Ortiz *et al.* (1999) se evaluó el efecto de los lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas. Se evaluaron las características químicas de un suelo

agrícola y el crecimiento de un cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Al final del experimento los suelos mostraron mejoría en fertilidad, aumentó el contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo total y disponible; sin embargo, se presentó una tendencia a la disminución de pH y al aumento en el valor de conductividad eléctrica. El rendimiento de maíz cultivado con lodos residuales incrementó en proporción a la dosis del lodo adicionado. En la plantas de maíz no se detectaron niveles de micronutrientes en concentración más altas de las requeridas por la planta, ni absorción de elementos potencialmente tóxicos.

Aplicando 0 y 80 mg ha⁻¹ de biosólidos (provenientes de una planta tratadora de aguas residuales) y 80 mg ha⁻¹ de residuos sólidos urbanos (que corresponden a una fracción orgánica compostada de basura doméstica) Illera *et al.*, (2001) evaluaron el contenido de metales pesados en las partes constitutivas del tomillo (*Thymus zygis*) desarrolladas sobre un suelo degradado. A pesar del elevado aporte de metales pesados que se aplicaron a las parcelas tratadas con los residuos orgánicos, el contenido de metales pesados en la planta no superó los límites considerados como tóxicos para las herbáceas; por el contrario se logró un mejor desarrollo vegetal y mejoró la condición de suelo degradado sin que se produzcan efectos perjudiciales en las plantas nativas.

Otro caso es presentado por Mirelles *et al.*, (2002) Ellos estudiaron la influencia del lodo de depuradoras de aguas residuales (fresco y compostado) en la germinación de seis cultivos: tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), espinaca (*Spinacia oleracea* L.), lenteja (*Lens sculenta* Moench), maíz (*Zea mays*) trigo

(*Triticum aestivum* L.) y rey-grass (*Lolium perrene* L.) bajo invernadero en su fase de emergencia, las dosis aplicadas fueron 0, 40 y 80 t ha⁻¹. Las variables evaluadas fueron el número de plantas emergentes, longitud del tallo y longitud de raíz. Al final los resultados mostraron que el tratamiento 40 t ha⁻¹ de lodo compostado fue el que presentó una mejor respuesta de las tres variables evaluadas en los cultivos; en lenteja éstos se obtuvieron con el lodo fresco y la misma dosis.

Por su parte Cuevas y Walter (2004) evaluaron los efectos de un compost de lodo anaeróbicos proveniente de cinco plantas depuradoras de aguas residuales aplicados a diferentes dosis en la planta de maíz (*Zea mays* L. variedad Florencia) así como el efecto residual de los metales pesados a lo largo del perfil del suelo. Los resultados manifestaron que la producción de materia seca, en las distintas partes de la planta de maíz, obtenida con la aplicación de compost comparada con la fertilización inorgánica tradicional, éstas fueron semejante. En cuanto al perfil del suelo la concentración de metales pesados asimilables no presentó en ningún caso diferencias entre los tratamientos con compost de lodo frente al tratamiento de fertilizante mineral ni con los valores obtenidos en el suelo antes de iniciar el experimento. Por lo cual la aplicación de compost de lodo residual puede sustituir a la fertilización mineral tradicional utilizada para el cultivo de maíz forrajero sin manifestar efectos en la calidad del cultivo ni el ambiente

Beltran *et al.*, (2005) determinaron el efecto del lodo compostado en las propiedades químicas (concentración de materia orgánica, nitrógeno, fosforo, pH y

conductividad eléctrica) del suelo de dos olivares (*Olea europea* L) el lodo utilizado era una mezcla de cinco estaciones depuradoras que se aplicaron durante cuatro años seguidos. Los resultados muestran un incremento en el contenido de materia orgánica a partir del segundo año, así como un aumento del fósforo, pH y la conductividad eléctrica, con base a lo anterior, concluyen que la utilización de lodo compostado en un suelo mejora las propiedades químicas del mismo.

Una comparación entre la aplicación de estiércol de bovino, lodo residual y fertilización química, en la producción de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare pers.*) hecha por Hernández *et al.*, (2005) observaron la mayor producción de forraje en base seca, se presentó con los tratamientos de lodo residual y estiércol de bovino a comparación con la fertilización química. La adición de abonos orgánicos o químicos, no influyó en el contenido de metales pesados en la parte aérea y en la raíz del sorgo.

Beltran *et al.*, (2006) aplicaron biosólidos acondicionados con zeolita (clinoptilolita) y roca fosfórica para el cultivo de la lechuga de hoja rizada (*Lactuca sativa* var. *Intybacea* Hort) utilizaron tres sustratos uno suelo deficiente de nutrientes, el segundo mezcla de suelo deficiente y biosólido acondicionado y el tercero un suelo altamente fértil de invernadero. El crecimiento de las lechugas con el uso de biosólidos con clinoptilolita presentó resultados equivalentes al crecimiento en el suelo fértil. La producción de biomasa fue similar en ambas condiciones, por lo que sugieren que la mezcla de biosólidos presenta buenas características como fertilizante.

Celis *et al.*, (2006) analizaron los efectos sobre la aplicación de biosólidos orgánicos en la germinación de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L). Los tratamientos fueron: lodo urbano (BU), biosólido de piscicultura (BP) y biosólido de salmonicultura en lago (BL) a diferentes tasas: 25, 50, 75, 100 y 150 mg ha⁻¹ y el testigo. Al final observaron que el uso de biosólidos de salmonicultura en lago fue el que mejor respuesta presentó en las pruebas de bioensayo con lechuga como fueron el índice de germinación, longitud de radícula, y desarrollo de hipocotilo. En ese orden le siguió el biosólido de piscicultura y el testigo por último, el lodo urbano fue el que presentó los menores valores, especialmente cuando las dosis de lodo aplicado al suelo alcanzaron los 150 mg ha⁻¹.

Salcedo *et al.*, (2007) evaluaron el uso de lodo residual de una empresa de manufactura electrónica, el compost de los mismos lodos con residuos de jardinería, y fertilización minera para la producción de maíz los tratamientos fueron 10 y 20t ha⁻¹ de lodo así como 10 y 20t ha⁻¹ del compost y la fertilización química con 150 kg ha⁻¹ de 18-46-00 y 200kg ha⁻¹ de urea. Ellos también evaluaron el lodo en el desarrollo inicial de *Pinus douglasiana* utilizaron tres tratamientos 0, 30, 60, 100g de lodo por árbol. Los resultados mostraron que la aplicación del lodo y el compost incrementaron el rendimiento del grano y forraje en un 18 y 22% respectivamente con respeto a la fertilización química. En la plantación forestal de pino se incrementó la sobrevivencia hasta 83%, la altura y diámetro del tallo hasta un 18% con la mayor dosis del lodo a comparación del control.

La aplicación superficial de biosólidos deshidratados de una planta tratadora de aguas residuales, incrementó la producción de forraje y la proteína cruda del zacate navajita (*Bouteloua gracilis*) durante dos años de estudio, con efectos residuales en el segundo año. Las dosis fueron 0 t ha⁻¹ como testigo, 15, 30, 45, 60, 75 y 90 t ha⁻¹ de biosólido. La digestibilidad de zacate se incrementó con la aplicación del biosólido, solo durante el primer año. La producción y germinación de la semilla se incrementó en las dosis intermedias con la aplicación de biosólidos durante el primer año. Con estos resultados los biosólidos podrían ser una alternativa para la rehabilitación de pastizales medianos en zonas semiáridas además se puede incrementar la carga animal (Jurado *et al.* 2006).

Un estudio realizado por Mata *et al.*, (2007) determinaron el efecto de dos lodos industriales uno de la empresa IBM y el otro de la empresa Hylasal y una composta de residuos de rastro comparándolos con la fertilización convencional sobre el crecimiento y rendimiento de chile poblano variedad Caballero, donde los mejores resultados fueron con el uso de composta tanto para las variables de altura, diámetro del tallo y rendimiento, en el caso del lodo industrial fue el que presentó de manera general menor valor para las variables evaluadas.

En cuantificaciones de coliformes totales y fecales antes y después del composteo realizadas al lodo residual así como el análisis de fertilidad y metales pesados Montes *et al.*, (2004) determinaron el potencial del lodo compostado como sustrato para las plantas de agave *Agave durangensis*, utilizando tres tratamientos: uno lodo fresco 40 kg, dos lodo fresco 40kg, 10kg del alfalfa, 10kg de

estiércol fresco y tres suelo agrícola. El tratamientos dos resultó ser el mejor sustrato para el agave debido a que presentó mayor porcentaje de materia orgánica, menor cantidad de coliformes fecales comparados con el tratamiento uno y presentó menor cantidad de metales pesados.

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. Los autores observaron sin embargo en lechuga y otras especies un impacto negativo sobre el crecimiento cuando los materiales industriales se utilizaron en gran concentración (igual o mayor al 25%). Los impactos negativos se derivaron al parecer de la alta concentración de sales, la cantidad de bicarbonatos y desbalance de cationes como el sodio y el magnesio. En el caso de algunos minerales necesarios para las plantas como el hierro y el zinc se encontró que los subproductos fueron una buena fuente

Rodríguez y Paniagua (2006) utilizaron el método de vermicomposteo para el manejo y tratamiento de los lodos residuales residenciales, estiércol de bovino y aguas tratadas a través del crecimiento poblacional de la lombriz (*Eisenia fetida*) para reducir su impacto sobre el medio ambiente. Analizaron el crecimiento de la población, la cantidad de proteína y grasa en *E. festida*. De acuerdo con los resultados los lodos residuales humedecidos con aguas tratadas obtuvieron lombrices en mayor cantidad y peso, así mismo comprobaron que el vermicomposteo es un método efectivo para estabilizar los lodos residuales y el

agua tratada. Aún más, la combinación del vermicomposteo de los lodos residuales y aplicando agua tratada incrementó la estabilización de la materia orgánica y presentó una bioconversión del nitrógeno en biomasa proteica total. Concluyen que con esta investigación favorecieron el punto de vista de tener un producto de alto contenido nutricional y un método de reciclar los desechos orgánicos.

Moreno *et al.*, (2000) utilizaron la radiación gamma, a dosis de 15 kGy para destruir compuestos orgánicos tóxicos como fenoles, detergentes grasas y aceites y los microorganismos patógenos de los lodos residuales, para evaluarlos como acondicionador de suelos en el cultivo de avena (*Avena sativa L.*) La irradiación del lodo residual destruyó en promedio: grasas y aceites (33%); detergentes (92%), fenoles (50%) y más del (99%) de la cuenta del total de microorganismos. Por lo cual el lodo irradiado en mezcla con suelo franco arenoso en proporciones de 40/60 respectivamente se puede usar como acondicionador de suelo en el cultivo de avena. Sin embargo mencionan que al aplicar el lodo residual como acondicionador de suelos, es necesario que la concentración de metales no sobrepase los límites máximos permisibles para el tipo de suelo y cultivo correspondiente.

APLICACIÓN DE LODO INDUSTRIAL CRUDO EN LA PRODUCCIÓN DE LILIS EN MACETA

J.A. Torres-González¹, A. Benavides-Mendoza¹, H. Ramírez-¹, V. Robledo-Torres¹, J. A. González-Fuentes¹, V. Díaz-Núñez²

¹Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923 C.P. 25315 Buenavista, Saltillo Coahuila, México.
²Centro de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad No.940, Ciudad Universitaria. C.P. 20100.

RESUMEN

El propósito del estudio fue evaluar el efecto del lodo industrial textil crudo como parte del sustrato en la producción de plantas ornamentales de *lilium sp*; en maceta bajo invernadero, la cual es una opción para aprovechar el lodo residual de origen industrial, en particular de fábricas de textiles, para ser utilizado como insumo en la producción agrícola. Se utilizó el diseño experimental completamente al azar con tres dosis 2, 5 y 10% de lodo industrial con peat moss (volumen/volumen) y un testigo con treinta repeticiones. Las variables evaluadas fueron: longitud y diámetro del tallo, longitud y diámetro del botón floral, diámetro de flor, concentraciones de minerales: N, K, Ca, Mg, Fe, Zn y Cu y metales pesados como Pb, Cr, Cd, Ni y Al en las plantas. Los resultados muestran que existieron diferencias significativas en el diámetro ($p \leq 0.001$) y longitud del tallo, así también en el diámetro de la flor y la longitud del botón floral de las plantas de lilis ($p \leq 0.05$). El contenido de elementos está dentro de lo normal para este tipo de plantas por lo cual no se presentó ningún síntoma de deficiencia o toxicidad. De esta forma 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, industria textil, planta ornamental, *lilium sp.*

Industrial Raw Mud Application in Flowerpot Lilis Production

SUMMARY

The purpose of this study was to evaluate the textile industrial raw mud as growing substrate part in the ornamental plants flowerpot *lilium sp*, production on greenhouse, plants effect. It is a viable option to approach wastewater sludge that industrials origin in textile mills particularly. It will use like agriculture production input. A complete randomized experimental design with three dosages 2, 5 and 10 % mud with peat moss (volume/volume) and control with thirty replicates were used. The diameter and length stem, diameter and length bloom, diameter flower, minerals like N, K, Ca, Mg, Fe, Zn and Cu and heavy metals Pb, Cr, Cd, Ni and Al concentrations on plant were analyzed. The results indicated that diameter ($p \leq 0.001$) and length stem, diameter and length bloom, diameter flower ($p \leq 0.05$) had significant differences, minerals levels were normal whereas heavy metals concentrations did not exceed toxic levels. The plants did not show deficiency or toxicity symptoms. It is feasible to use the textile industrial mud in the *lilium sp*. production and it is a viable option to decrease the mud quantity when the mud is deposited under inadequate way, it could the environmental pollute and contribute with soil deteriorate.

Index words: textile mills, 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 los 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.

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 agotados (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 (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. Los autores observaron sin embargo en lechuga y otras especies un impacto negativo sobre el crecimiento cuando los materiales industriales se utilizaron en gran concentración (igual o mayor al 25%). Los

impactos negativos se derivaron al parecer de la alta concentración de sales, la cantidad de bicarbonatos y desbalance de cationes como el sodio y el magnesio. En el caso de algunos minerales necesarios para las plantas como el hierro y el zinc 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, lodos y biosólidos -especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final marca 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 objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del lodo industrial textil crudo en la producción de plantas ornamentales en macetas de lili cultivar Brunello en condiciones de invernadero. El estudio se enmarca en una estrategia de generación de opciones para el uso seguro de subproductos industriales cuya meta es contar con alternativas para la disminución del volumen de materiales que se confina o se dispone en el ambiente.

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 lili híbrido asiático del 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, número de botones de seis a ocho por tallo.

Establecimiento del experimento. Se establecieron 120 bulbos del cultivar Brunello, fueron plantados en macetas de 8 pulgadas con capacidad de 2.5 litros. Cada maceta fue considerada una unidad experimental; estas fueron llenadas con una mezcla de peat moss y lodo industrial textil crudo, el lodo industrial textil fue obtenido de la empresa Fábrica La Estrella, S.A. de C.V. (FLESA) ubicada en Parras de la Fuente Coahuila, México. La aplicación del lodo industrial fue de forma cruda sin previo tratamiento. Se aplicaron cuatro tratamientos: testigo, 2%, 5% y 10% de lodo mezclado con peat moss volumen/volumen.

Variables evaluadas. Estas fueron: altura de la planta, diámetro de tallo, diámetro de flor, número de botones florales, longitud y diámetro de botón floral, contenido de macro y micronutrientes: sodio, potasio, manganeso, fierro, cobre, zinc, calcio, magnesio y nitrógeno, así también la cantidad de metales pesados presentes en los tejidos de la planta como el cromo, aluminio, cadmio, níquel y plomo, las variables se midieron en 15 plantas por cada tratamiento. En el caso de la

cantidad de minerales y metales pesados se utilizó una mezcla compuesta de tres plantas por cada tratamiento en plena floración separando hojas, tallo, flor y raíz.

Diseño Experimental. El diseño experimental fue completamente al azar. La unidad experimental fue una maceta con una planta y se tuvieron 30 repeticiones por tratamiento. Una vez obtenidos los datos se utilizó el paquete estadístico de STATISTICA FOR WINDOWS para procesarlos. Usando un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confiabilidad del 95%, y la prueba de separación de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$)

Metodología de evaluación. El diámetro del tallo se midió (mm) con vernier, guiándose de la parte superior de la maceta para tener un punto guía de medida. La longitud de la planta se midió (cm) con flexómetro desde la parte superior media de la maceta hasta donde inicia el ápice vegetativo. Se contabilizaron los botones florales de cada planta mediante observación. El diámetro de flor fue tomado con flexómetro (cm), y fue el resultado del promedio de la lectura longitudinal y transversal de la flor. La longitud y diámetro del botón floral se midió (mm) con vernier. Una vez establecidos los bulbos en las macetas se les aplicó un riego diario. En cuanto a la fertilización, en las dos primeras semanas después de la siembra no se aplicó fertilizante, se inició su 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; Poly 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 le agregó nitrato de calcio (15.5-00-00-19) 191.66 g.

Análisis en laboratorio. En el laboratorio de Nutrición Animal del Departamento del mismo nombre de la propia UAAAN se determinó la concentración de minerales así como el peso fresco y seco de la parte aérea y raíz de la planta, usando una muestra compuesta de tres plantas por concentración. Para determinar el peso fresco las plantas se lavaron con agua potable y enjuagaron con agua destilada, después se separó la parte aérea (tallo, hoja y flor) y la raíz, para posteriormente obtener el peso fresco de cada una, en la báscula analítica. Después cada órgano de la planta se puso en bolsas de papel identificadas según la concentración para obtener el peso seco constante en una estufa de secado a 60° C. 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 sodio, potasio, hierro, cobre, zinc, calcio, magnesio y en el caso del nitrógeno se utilizó el método de Kjeldahl (A.O.A.C.1980).

El análisis químico del lodo industrial fue llevado a cabo en el Laboratorio del Patronato para la Investigación del Estado de Coahuila. Las metodologías utilizadas son las descritas por la AOAC (1980). La determinación de metales pesados para la muestra de lodo industrial textil, fue enviado a un laboratorio certificado ubicado en la Ciudad de México, D.F., para determinar la presencia y concentración de coliformes fecales, *Salmonella spp.*, huevos de helmintos, arsénico y metales pesados como el cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc señalados en la NOM-004(SEMARNAT 2002). También se envió muestra del tejido vegetal para determinar la presencia y concentración de

metales pesados en la planta de lili como el cromo, aluminio, cadmio, níquel y plomo conforme al método EPA 6020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la concentración de metales pesados y de arsénico, así como los límites permisibles para patógenos y parásitos en el lodo se presentaron muy por debajo de los límites marcados en la NOM-004 (SEMARNAT 2002) (cuadros 1 y 2), lo cual indica que el lodo utilizado pertenece a la clase A de tipo excelente, es decir, de uso urbano con contacto al público directo durante su aplicación, de uso forestal, mejorador de suelos y uso agrícola, esto coincide con lo reportado por Jurado *et al.* (2006) donde el biosólido utilizado en el experimento es de tipo excelente. Beltrán *et al.* (2006) y Hernández *et al.* (2005) obtuvieron en el resultado del análisis de la concentración de metales pesados en el biosólidos y en el lodo que está por debajo del límite permitido por la NOM-004.

Cuadro 1. Resultados de Metales Pesados y Arsénico en el Lodo Industrial Textil Crudo.

Metal	Lodo industrial textil	Limite Máximo Permisible	
		Excelentes	Buenos
		mg kg^{-1}	
Arsénico	2.08	41	75
Cadmio	1.47	39	85
Cromo	34	1200	3000
Cobre	58.2	1500	4300
Plomo	10.9	300	840
Mercurio	0.8849	17	57
Níquel	20	420	420
Zinc	76.39	2800	7500

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

Cuadro 2. Resultados de Patógenos y Parásitos en el Lodo Industrial Textil.

Parámetro	Lodo industrial textil NMP/gST	Límite Máximo Posible NOM-004-SEMARNAT-2002			Unidades en base seca
		A	B	C	
Coliformes fecales	400.	<1000	<1000	<2000000	NMP/g
Salmonella	ND	<3	<3	<300	NMP/g
Huevos de Helminto	ND	<1	<10	<35	HH/g

ND: no detectado. NMP: número mas probables. HH: huevos de helminto

Análisis de tejido vegetal

Se realizó una prueba de proporciones estadísticas no paramétrica comparando los tratamientos de lodo entre si, teniendo como base el testigo para determinar la mayor concentración de los minerales en estudio. La prueba de proporciones demostró que el Ca, Fe, Zn, Mn, Mg, Na, K y N no presentó influencia de los tratamientos aplicados de lodo en la acumulación de minerales en la hoja de las plantas ($P \geq 0.05$). En el caso del Cu el testigo presentó niveles de acumulación similares al 2% (30 mg kg^{-1} y 14 mg kg^{-1} respectivamente) ($p=0.062$), pero los niveles fueron mayores que aquellos que se presentaron con el resto de los tratamientos ($p \leq 0.05$). Los tratamientos 2%, 5% y 10%, no difirieron estadísticamente entre ellos ($P \geq 0.05$). El análisis estadístico demostró que el contenido de calcio en el Testigo, 2% y 10% fue el que influyó en la mayor acumulación de este mineral en el tallo ($p=0.05$). En lo que concierne al zinc, la mayor acumulación se presentó en el 2% ($p=0.03$), mientras que los demás tratamientos presentaron una acumulación del mineral similar ($p \geq 0.05$). En el manganeso, el 10% influyó la menor acumulación respecto a los demás tratamientos en el tallo de las plantas ($p \leq 0.05$), mientras que el magnesio, el testigo se acumuló en mayor magnitud ($p \leq 0.05$). Tanto para el Na, Fe, Cu, K y N, no existieron diferencias estadísticas entre tratamientos para cada uno de los

minerales ($p \geq 0.05$). La determinación de minerales en las flores demostró que solo el contenido de calcio presentó influencia de los tratamientos de lodo sobre la acumulación de este mineral, en este caso, el 2% presentó la menor cantidad ($p = 0.03$), los tratamientos restantes se comportaron de manera similar ($p \geq 0.05$). En el Fe, Zn, Mn, Mg, Na, Cu, K y N no existieron diferencias estadísticas entre tratamiento ($p \geq 0.05$). Para la raíz la prueba de proporciones demostró que los minerales: Ca, Fe, Zn, Mg, Na, Cu y N, con ninguna de los tratamientos aplicados tuvo influencia en la acumulación de estos minerales en la raíz de las plantas. ($P \geq 0.05$). Solo el manganeso y el potasio presentaron diferencias significativas entre tratamientos. En el primero, tanto el testigo, como el 2% presentaron niveles superiores al resto de los tratamientos (281 y 355 mg kg^{-1} , respectivamente ($p \leq 0.05$), pero los valores fueron similares entre ellos ($P \geq 0.05$). La acumulación de manganeso más baja se presentó en el 5% y 10% de lodo (77 y 97 mg kg^{-1} , 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 Benton (1996) en el cultivo de la lili, solo el contenido de fierro rebaza dichos valores, sin embargo no se presentó ningún síntoma de toxicidad por parte del mineral. Un efecto similar reportado por Ortiz *et al.* (1999) donde observan 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 hierro y el manganeso que se detectaron en concentraciones más elevadas después de la aplicación de lodo residual pero no se observaron síntomas de deficiencia o toxicidad. Así mismo Cuevas y Walter (2004) observaron que el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, están dentro de los límites normales

para el buen desarrollo de las plantas de maíz (*Zea mays* L.) después de la aplicación del compost de lodo durante dos años. En el cuadro 3. Se muestra el contenido de minerales de la planta de lili cultivar Brunello y la comparación con el contenido de minerales reportado por otros autores.

Cuadro 3. Contenido Promedio de Minerales en el Cultivar Brunello

Mineral	Rango de Suficiencia en <i>Lilium sp</i> ¹	Muestra			
		Hoja	Tallo	Flor	Raíz
Macronutrientes		%			
Nitrógeno	3.30- 4.80	3.2	0.5	2.17	0.9
Potasio	3.30- 5	2.7	1.6	2.7	1.08
Calcio	0.60- 1.50	1.3	0.43	0.42	1.4
Magnesio	0.20- 0.70	0.46	0.16	0.37	0.58
Micronutrientes		mg kg ⁻¹			
Fierro	60- 200	320.25	133	123.25	918
Manganeso	35- 200	65.25	12.25	21.25	202.5
Cobre	8- 50	16.25	8.25	8	10.5
Zinc	20- 200	176	143	110.5	177.5
Sodio	20000 ²	7150	9500	2925	9350

¹Harry and Benton (1996). ²Subbarao *et al.* (2000)

La comparación entre el contenido de metales obtenida en la parte aérea del cultivar Brunello, para cada uno de los tratamientos de lodo con las reportadas por Pais and Benton (1996.) y Harry and Benton (1996.), se muestra en el cuadro 4. Los rangos de Cr, Cd, Ni, Pb, Al, se encuentran en niveles nutricionales adecuados (Pais and Benton 1996. y Harry and Benton 1996.), de esta forma no representan problemas de toxicidad para la planta. Esto coincide con Illelera *et al.* (2001) y Salcedo *et al.* (2007), Ellos observaron que contenido 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 (*Zea mays* L.), 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) la concentración promedio de metales pesado en la parte aérea (Cd, Pb, Cu, Ni, Fe, Zn, Mn), en el cultivo del sorgo (*Sorghum vulgare* Pres.) se encuentran en los niveles nutricionales adecuados después de la aplicación del lodo residual. Un efecto similar se presentó con la aplicación de un compost de lodo residual en plantas de maíz, el contenido de metales pesado en la parte aérea (Cu, Zn, Cd, Ni) se encontraron 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). Pero difiere de los resultados obtenidos por Ortiz *et al.* (1999), en el cultivo del maíz, donde no detectaron la presencia de metales pesados como el Cr, Pb, Ni, Cd y Co, esto puede deberse a las características del lodo utilizado ya que éstas varían de acuerdo al origen de donde provenga, clima, composición química. El valor de concentración del Cr, Cd, Ni, Pb en el testigo es mayor que los demás, sin embargo está dentro del rango marcado, en el caso del Al el tratamiento 10% presentó el valor más alto pero está dentro de nivel concentración típica en las plantas.

Cuatro 4. Concentración de Metales en la Parte Aérea (hoja, tallo y flor) del Cultivar Brunello en las Diferentes Dosis de Lodo.

Metal	Testigo	2%	5%	10%	Referencia ^a	Nivel Toxico
mg kg ⁻¹						
Cromo	0.35	0.34	0.32	0.32	0.2-1	-
Cadmio	0.35	0.33	0.20	0.16	0.2-0.8	>2
Níquel	1.9	0.34	0.21	0.28	1	50
Plomo	0.360	0.35	0.39	0.29	0.1-10	-
Aluminio	34.8	33.7	27.7	43.8	60 ^b	-

^a Pais and Benton 1996; ^b Harry and Benton 1996.

Variables Agronómicas

En el análisis realizado el ANOVA demostró que existieron diferencias altamente significativas tanto para el diámetro promedio del tallo de las plantas de lilis ($p \leq 0.001$) así como para la longitud del tallo promedio, de las plantas evaluadas ($p \leq 0.05$) cuadro 5.

Con el uso del lodo industrial textil se incrementó la longitud del tallo, esto coincide con los resultados obtenidos por Salcedo *et al.* (2007) donde las aplicaciones de lodo residual incrementaron la longitud del tallo en plantaciones forestales del pino (*Pinus douglasiana*). Otro caso es reportado por Jurado *et al.* (2006) donde la aplicación de biosólidos incrementó la altura del zacate navajita (*Bouteloua gracilis*). Pero la aplicación del lodo en las lilis, el incremento de la longitud fue con el tratamiento de 2% que es el menor volumen aunque estadísticamente no hubo diferencia significativa con la de 5%, ya que al incrementar el volumen de lodo el tallo disminuyó su longitud. Esto es debido a la conductividad eléctrica (49 mS/cm⁻¹) en el lodo industrial textil crudo lo cual afectó el crecimiento, un efecto similar lo presentó Mirelles *et al.* (2002) los cuales incrementaron la longitud del tallo con la menor dosis de lodo fresco y compostado en plántulas de tomate, rey-grass, espinaca, trigo, lenteja y maíz. Ellos al aumentar la dosis de lodo los valores disminuyeron a causa de la conductividad eléctrica. Dicho lo anterior se afirma el

efecto de la conductividad ya que la variable diámetro de tallo el testigo presentó mayor valor a diferencia de los tres tratamientos de lodo utilizadas en el experimento. Esto difiere con los resultados reportado por Salcedo *et al.* (2007) los cuales evaluaron el lodo residual en una plantación de pino (*Pinus Douglasiana*) donde registraron el incremento del diámetro del tallo en un 18% con la mayor dosis de lodo en comparación con el control. Por lo tanto el lodo industrial no favoreció el diámetro del tallo, aunque dicho diámetro es menor en los tratamientos con lodo no se mostró ningún problema con el trozado del tallo en la floración de las plantas. Con dicha conductividad que presentó el lodo (Fassbender y Bornemisza 1987) reportan que solamente cultivos muy tolerantes a sales crecerán. Pero en este experimento, la relación de volumen de lodo con el peat moss es mucho menor por lo cual la dosis de los elementos que podrían afectar a las plantas es mínima. La longitud del tallo en las lilis es muy importante, Coxflor® 2003 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, se basa en la altura y el número de botones florales por tallo, dicha clasificación muestran diferentes categorías donde la calidad *Plus* es de cuatro a seis botones por tallo y una altura de 90-110cm, la calidad *Exp* es de dos a tres botones por tallo con una altura de 70 a 80 cm, la calidad *Med* es de uno a dos botones por tallo con una altura de 70 cm; en base a lo anterior solo el tratamiento de 2% de lodo entra en la clasificación de *Exp*. Más sin embargo dicha clasificación no especifica si en la altura solo se mide el tallo o también le corresponde la parte del racimo floral. Respecto a la influencia de la aplicación de lodo industrial sobre la producción de botones florales en plantas de lilis, no existieron diferencias

estadísticas entre tratamientos ($p=0.5708$) en promedio se presentó cinco botones florales por tallo para los cuatro tratamientos.

El efecto de lodo industrial sobre el diámetro y longitud de los botones florales: el análisis de varianza demostró que no existieron diferencias significativas en el diámetro de los botones florales; sin embargo, en la longitud del botón floral, el nivel de significancia resultó ser $p<0.05$.

La longitud del botón floral, cuando se utilizó el 2% del lodo industrial, la longitud fue similar a la presentada en la de 5% ($p=0.248$), pero mayor que el 10% ($p=0.0019$) y testigo (0.026). El tratamiento 5% presentó diferencias significativas solamente respecto al de 10% ($P<0.05$), en tanto que la menor longitud del botón floral se encontró en el testigo y aunque la longitud promedio difirió de la tratamiento 2% ($p= 0.026$), es similar al resto de los tratamientos ($p>0.05$)

En cuanto a la variable diámetro de la flor, el análisis demostró que existieron diferencias estadísticas entre tratamientos. En función del volumen de lodo industrial aplicado.

De acuerdo al análisis realizado, el mayor diámetro se registró con el tratamiento 2% (18.36 cm), y es muy similar al 5% (18.25 cm), la cual a su vez es diferente del testigo (17.77 cm) y del 10% (17.67cm).

Cuadro 5 Valores Promedio de la Longitud del Tallo, Botón y Diámetro de Flor de la Plantas de Lilis

Tratamiento	Longitud botones	Diámetro de flor	Longitud de tallo
		cm	
2%	9.43±0.107 a*	18.36±0.216 a*	72.313±1.435 a*
5%	9.30±0.068 a b	18.25±0.140 a b c	69.840±2.165 a
10%	9.06±0.053 c	17.67±0.081 b c	64.726±1.118 b
TESTIGO	9.18±0.069 b c	17.77±0.217 b	68.586±1.125 b a

*Medias seguidas de letras distintas indican diferencia estadística de acuerdo a la prueba de separación de medias Fisher ($\alpha \leq 0.05$)

CONCLUSIONES

La aplicación de lodo mostró efectos positivos debido al incremento de la longitud del botón floral, el diámetro del botón, diámetro de la flor así como la longitud del tallo en las plantas de lili por lo que mejoró su crecimiento. En especial el tratamiento de 2% de lodo industrial textil crudo ya que presentó flores más grandes a comparación de los demás tratamientos por lo cual la hace más atractiva visualmente. El uso del lodo industrial crudo con las características similares al de este experimento puede ser una opción viable para la producción de lilis cultivar Brunello en maceta bajo invernadero

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. 1980. Official Methods of Analysis. 13th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C. 15, 547-562
- Beltrán-Villavicencio M., M Vaca-Mier., A Vázquez-Morillas., R. López-Callejas y R. Hachec. (2006) Fertilización dosificada con biosólidos acondicionados Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencia Ambiental: Investigación Desarrollo y Práctica. Vol. 1 (1)
- Benavides-Mendoza, A., H. Ramírez, N. Ruiz-Torres, A. Perales-Huerta, E. Cornejo-Oviedo, H. Ortega-Ortiz, R.V. Dávila-Salinas. 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. En: M. González-Álvarez, S.M. Salcedo Martínez (Editores). Tópicos Selectos de Botánica. Vol. 3, pp. 147-162. Universidad Autónoma de Nuevo León. ISBN 970-694-414-1.
- Benavides-Mendoza, A., V. Robledo-Torres., R. V. Dávila-Salina., H. Ramírez-Rodríguez 2006. Aplicación De Residuos Industriales De La Compañía Industrial De Parras, S.A. De C. V. En Suelo Calcáreo Cultivado Con Lechuga. En: Memoria del XXXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México.
- Coxflor®. 2003. Clasificación de calidad para la comercialización de la flor de lili Brunello <http://www.coxflor.com/index.php?id=4&le=1> (consultada 20 de agosto del 2008)
- Cuevas. G y I. Walter. 2004. Metales pesados en maíz (*zea mays* l.) Cultivados en un suelo emendado con diferentes dosis de compost de lodos residual.

- Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 20 (2) UNAM México. 59-68.
- Environmental protection Agency EPA. (1994). Method 6020 Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry
- Fassbender. H. W. y E. Bornemisza. 1987. Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- 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.
- Harry-Mills. A. and J. Benton-Jones Jr.. 1996. The Handbook II Plant Analysis. MicroMacro Publishing, Inc. U.S.A.
- Hernández-Herrera. J. M., E. Olivares-Sáenz., I. Villanueva-Fierro., H. Rodríguez-Fuentes., R. Vázquez-Alvarado., J. F. Pissani-Zúñiga. 2005. Aplicación de lodos residuales, estiércol bovino y fertilizantes químicos en el cultivo del sorgo forrajero (*Sorghum vulgare pers.*) Revista Internacional de Contaminación Ambiental. vol.21 (1) UNAM. México. 31-36.
- Illera. V., I. Walter., V. Cala. 2001. Niveles de metales pesados en *Thymus zygis* desarrollado en suelos enmendados con residuos orgánicos urbanos. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. vol. 17 (4) UNAM México. 179-186
- Jurado-Guerra. P., M. Luna-Luna., R. Barretero-Hernández., M. Royo-Márquez., A. Melgoza-Castillo. 2006. Producción y calidad de forraje y semilla del zacate navajira con la aplicación de biosólidos en un pastizal semiárido de jalisco.

- Técnicas Pecuarias en México, vol. 44 (3) Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 289-300
- Lenntech B.V. 1998. Tratamiento de Lodos <http://www.lenntech.com/espanol/tipo-de-lodos.htm> (consultado 10 de junio 2008)
- Mirelles-de Imperial. R., E. Ma. Beltrán., M. A. Porcel., M. Del Mar-Delgado., Ma. L. Beringola., J. Valero-Martin., R. Calvo., I. Walter. 2002. Emergencia De Seis Cultivos Tratados Con Lodo, Fresco Y Compostado, De Estaciones Depuradoras. Revista Internacional de Contaminación Ambiental vol. 18 (3) UNAM México. 139-146.
- Ortiz-Hernández. Ma. L., E. Sánchez-Salinas y M. Gutiérrez-Ruiz. 1999. Efectos de la adición de los lodos residuales sobre un suelo agrícola y un cultivo de maíz. Revista Internacional de Contaminación Ambiental vol. 15 (2) UNAM México. 69-77.
- Pais. I and J. Benton-Jones Jr. 1996. The Handbook of Trace Elements. St. Lucie Press, Delray Beach, FL.
- Quinteiro-Rodríguez. M. P., M. L. Andrade-Couce y E. De Blas-Varela. 1988. Efecto de la adición de un lodo residual sobre las propiedades del suelo: Experiencias de Campo. Edafología N° 5 Diciembre 1998. 1-10.
- Salcedo-Pérez. E., A. Vázquez-Alarcón., L. Krishnamurthy., F. Zamora-Natera., E. Hernández-Álvarez y R. Rodríguez-Macías. 2007. Evaluación De Lodos Residuales Como Abono Orgánico en Suelos Volcánicos de uso Agrícolas y Forestal en Jalisco, México. Interciencia Revista de Ciencia y Tecnología de América vol. 32 (2) Caracas Venezuela. 115-120.

SEMARNAT 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. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Subbarao G.V., Wheeler, R.M., Stutte, G.W. and Levine, L.H. 2000. Low potassium enhances sodium uptake in red-beet under moderate saline conditions. J. Plant Nutr.23:1449 1470.

http://www.abenmen.com/a/elementos_en_plantas.pdf (consultado 24 de octubre 2008)

LITERATURA CITADA

- Benavides-Mendoza, A., H. Ramírez, N. Ruiz-Torres, A. Perales-Huerta, E. Cornejo-Oviedo, H. Ortega-Ortiz, R.V. Dávila-Salinas. 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. En: M. González-Álvarez, S.M. Salcedo Martínez (Editores). Tópicos Selectos de Botánica. Vol. 3, pp. 147-162. Universidad Autónoma de Nuevo León. ISBN 970-694-414-1.
- Benavides-Mendoza, A., V. Robledo-Torres., R. V. Dávila-Salina., H. Ramírez-Rodríguez 2006. Aplicación De Residuos Industriales De La Compañía Industrial De Parras, S.A. De C. V. En Suelo Calcáreo Cultivado Con Lechuga. En: Memoria del XXXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México.
- Beltrán E. Ma., R. Mirelles-de Imperial., M. A. Porcel., J. Valero-Martín., Ma. L. Beringola., R. Calvo y M. del Mar-Delgado. 2005. Influencia de la fertilización con lodos de depuradoras en las propiedades químicas del suelo de dos olivares. Revista Internacional de Contaminación Ambiental vol. 21 (3) UNAM México. 143-150
- Beltrán-Villavicencio M., M Vaca-Mier., A Vázquez-Morillas., R. López-Callejas y R. Hachec. (2006) Fertilización dosificada con biosólidos acondicionados Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencia Ambiental: Investigación Desarrollo y Práctica. Vol. 1 (1)
- Celis J., M. Sandoval, E. Zagal y M. Briones. (2006). Efecto de la adición de biosólidos urbanos y de salmonicultura sobre la germinación de semillas de

- lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un suelo patagónico. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. Vol 6 (3) Chile 13-25
- Cuevas. G y I. Walter. 2004. Metales pesados en maíz (*zea mays* L.) Cultivados en un suelo emendado con diferentes dosis de compost de lodos residual. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 20 (2) UNAM México. 59-68.
- Hernández-Herrera. J. M., E. Olivares-Sáenz., I. Villanueva-Fierro., H. Rodríguez-Fuentes., R. Vázquez-Alvarado., J. F. Pissani-Zúñiga. 2005. Aplicación de lodos residuales, estiércol bovino y fertilizantes químicos en el cultivo del sorgo forrajero (*Sorghum vulgare pers.*) Revista Internacional de Contaminación Ambiental. vol.21 (1) UNAM. México. 31-36.
- Illera. V., I. Walter., V. Cala. 2001. Niveles de metales pesados en *Thymus zygis* desarrollado en suelos enmendados con residuos orgánicos urbanos. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. vol. 17 (4) UNAM México. 179-186
- Jiménez-Cisneros. B E. 2001. La Contaminación Ambiental en México: Causas Efectos y Tecnología Apropiaada. Editorial Limusa, México. 286- 302 de 926.
- Jurado-Guerra. P., M. Luna-Luna., R. Barretero-Hernández., M. Royo-Márquez., A. Melgoza-Castillo. 2006. Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos. Técnicas Pecuarias en México, vol. 42 (3) Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 379-395
- Lenntech B.V. 1998. Tratamiento de Lodos <http://www.lenntech.com/espanol/tipo-de-lodos.htm> (consultado 10 de junio 2008)

- Mata-Gutiérrez L., C. E. Oliman-Nuño., Ma. E. Méndez-Santillán., G. Iñiguez-Covarrubias y G. Virgen-Calleros. 2007. Influencias de lodo industriales y composta en el crecimiento y rendimiento de chile poblano (*Capsicum Annuum* L.) var. Caballero. En el Simposium Internacional de Agricultura Sustentable. Saltillo Coahuila. México
- Méndez L., V. Miyashiro., R. Rojas., M. Cotrado y N. Carrasco. 2004. Tratamiento de Aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio. Revista del Instituto de Investigación de la facultad de geología, minas, metalurgia y ciencias geográficas, vol. 7 (14) Lima Perú. 74-83
- Mirelles-de Imperial. R., E. Ma. Beltrán., M. A. Porcel., M. Del Mar-Delgado., Ma. L. Beringola., J. Valero-Martin., R. Calvo., I. Walter. 2002. Emergencia De Seis Cultivos Tratados Con Lodo, Fresco Y Compostado, De Estaciones Depuradoras. Revista Internacional de Contaminación Ambiental vol. 18 (3) UNAM México. 139-146.
- Moeller-Chávez G. 2002. El lodo y su Producción. En el XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México
- Montes-Rivera G., H. Jimenez-Sánchez y S. Solís-González. 2004. Lodos residuales compostados; una alternativa de sustrato para la producción de planta de *Agave durangensis*. Revista Chapingo. Serie de ciencias forestales y del ambiente vol. 10 (1) México. 21-24.
- Moreno J., A. Colín y M. Gomeztagle. 2000. Irradiación de lodos residuales y su uso en el cultivo de avena. Journal of the mexican Chemical society vol. 44(3) México. 219-223.

- Ortiz-Hernández. Ma. L., E. Sánchez-Salinas y M. Gutiérrez-Ruiz. 1999. Efectos de la adición de los lodos residuales sobre un suelo agrícola y un cultivo de maíz. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* vol. 15 (2) UNAM México. 69-77.
- Pacheco-Salazar. V. F., B. Jáuregui-Rodríguez., Pavón-Silva. T. B y G. V. Mejía-Pedrero. 2003. Control de crecimiento de microorganismos filamentosos en una planta de tratamiento de aguas residuales industriales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* vol. 19. (1) UNAM México. 47-53.
- Rodríguez-Quiroz G y J. Paniagua-Michel. 2006. El vermicomposteo de biosólidos y agua tratada en el noroeste de México. Ecoparque, un caso de estudio. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencia Ambiental: Investigación Desarrollo y Práctica*. Vol. 1 (1)
- Salcedo-Pérez. E., A. Vázquez-Alarcón., L. Krishnamurthy., F. Zamora-Natera., E. Hernández-Álvarez y R. Rodríguez-Macías. 2007. Evaluación De Lodos Residuales Como Abono Orgánico en Suelos Volcánicos de uso Agrícolas y Forestal en Jalisco, México. *Interciencia Revista de Ciencia y Tecnología de América* vol. 32 Nº 002 Caracas Venezuela. 115-120.
- SEMARNAT 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.
- Unión Europea Ministro de Agricultura, pesca y alimentación. 1990. Real decreto 1310/1990 por el que se regula la utilización de los lodos de depuradoras en el sector agrario

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2000. Biosolids Technology Fact Sheet. Alkaline Stabilization of Biosolids. (EPA 832-F-00-052) Office of Water Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2000. Folleto informativo de tecnología de biosólidos Aplicación de biosólidos al terreno (EPA 832-f-00-064.)Office of Water Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 1994. Land Application of Sewage Sludge (EPA/831-B-93-002b) Office of Enforcement and Compliance Assurance Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency. 2007. Method 6020A. Inductively coupled plasma-mass spectrometry