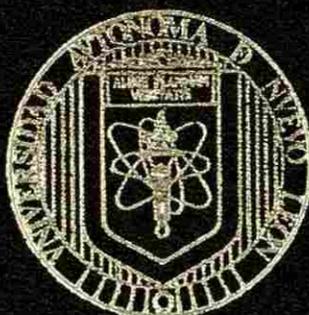


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



EFECTO DEL LODO RESIDUAL EN EL  
RENDIMIENTO Y CONCENTRACION DE  
METALES PESADOS DE HORTALIZAS  
Y GRANOS BASICOS

POR:

JESUS MARTINEZ DE LA CERDA

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO  
DE DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS CON  
ESPECIALIDAD EN AGUA-SUELO

MARIN, N. L.

OCTUBRE DE 2003

TD

25071

FA

2003

.M3



1020150704



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE AGRONOMIA  
SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**EFFECTO DEL LODO RESIDUAL EN EL  
RENDIMIENTO Y CONCENTRACION DE  
METALES PESADOS DE HORTALIZAS  
Y GRANOS BASICOS**

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

**POR:**

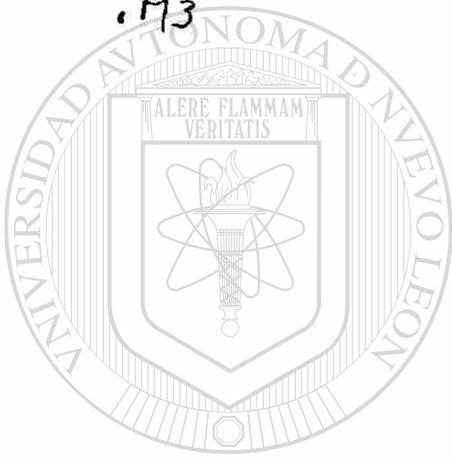
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS  
**JESUS MARTINEZ DE LA CERDA**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO  
DE DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS CON  
ESPECIALIDAD EN AGUA-SUELO**

**MARIN. N. L**

**OCTUBRE DE 2003**

TD  
Z5  
A  
2003  
.M3

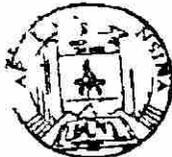


# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



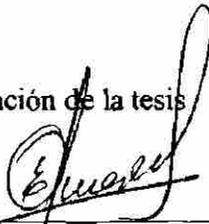
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



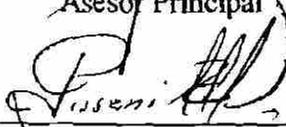
FONDO  
TESIS

**EFFECTO DEL LODO RESIDUAL EN EL RENDIMIENTO Y  
CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS DE HORTALIZAS  
Y GRANOS BÁSICOS**

Aprobación de la tesis



Ph. D. Emilio Olivares Sáenz  
Asesor Principal



Dr. Juan Francisco Pissani Zúñiga  
Co-Asesor



Ph. D. Gilberto E. Salinas García  
Co-Asesor

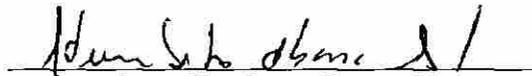


Ph. D. Rigoberto González González  
Co-Asesor

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Ph. D. Rigoberto Vazquez Alvarado  
Co-Asesor



Ph. D. Humberto Ibarra Gil

División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Agronomía  
Universidad Autónoma de Nuevo León.

Marín, N.L. Octubre de 2003

## DEDICATORIA

A mi esposa, de quién he recibido un gran apoyo a través de los años, y con quien he disfrutado una gran cantidad de momentos agradables y siempre ha estado a mi lado suavizando los momentos difíciles.

A Jesús por ser un hijo muy responsable quién a su temprana edad ha superado lo que su padre logró a su edad, lo cual es un orgullo para mí.

A mi hijo Edgar Alberto, quién aún en los momentos difíciles ha sabido tomar la vida cómo debe ser (alegre). Admiro tu forma cariñosa de ser y estaré siempre a tu lado para apoyarte en lo que se requiera.

A mi hija Maricruz, quién con su carácter fuerte y capacidad de líder sé que va a sobresalir en la vida.

A mis padres cuyo apoyo ha sido incesable desde que nací, y siempre se han preocupado por lo que acontece alrededor de un servidor.

A mis hermanos, con quienes siempre me he llevado en forma excelente, y que en todo momento difícil han estado a mi lado para apoyarme.

A mis suegros y cuñados, quienes siempre han mostrado una preocupación por el mejor vivir de mi familia, y de quienes he aprendido que la convivencia entre familia es de un valor incalculable.

A todos mis amigos...

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

### MENSAJE

En la vida se presentan muy pocas oportunidades para sobresalir, quien esté preparado y sea responsable la aprovechará. Quién no cumpla con estas características, sólo las verá pasar y desvanecerse.

## AGRADECIMIENTOS

### A las Instituciones:

Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por mi formación académica recibida en la licenciatura y doctorado.

Universidad Autónoma de Nuevo León, por el apoyo que me otorgó durante los estudios de Maestría y Doctorado.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca concedida para realizar los estudios de doctorado.

Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey I.P.D., por el apoyo en el trabajo de investigación y presentación de ponencias a nivel nacional y en el extranjero. Además, toda las personas con quien he convivido y que le han dado momentos muy agradables a un servidor.

### A las Personas:

Dr. Emilio Olivares Sáenz, por su confianza y apoyo durante toda la estancia de mi doctorado. Por ser una persona con gran capacidad intelectual y buen desempeño en su trabajo.

Dres. Juan Francisco Pissani Zúñiga, Gilberto E. Salmas García, Rigoberto González González, Rigoberto Vazquez Alvarado, Eleazar Reyes Barraza. Por su asesoría durante mi doctorado.

Lic. Nancy por su valiosa revisión del escrito de esta tesis y su amistad por mucho tiempo.

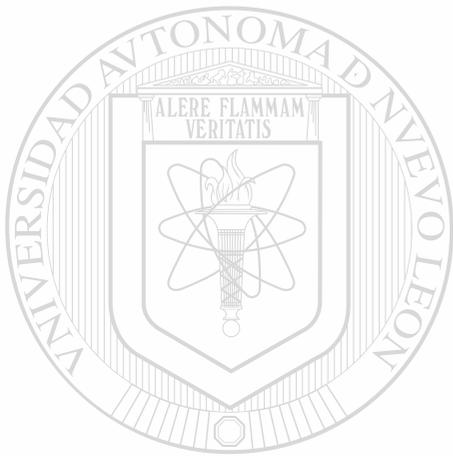
Ms. C. Fermín Montes Cavazos, por su apoyo en mi doctorado y haber sido mi guía compartiendo sus conocimientos y experiencias durante mi profesión en una forma desinteresada. Además, es una persona que respeto mucho y admiro su forma de trabajar.

Ing. Cesáreo Guzmán Flores, por su gran apoyo como director para realizar mis estudios de Doctorado.

Sr. Jesús Hinojosa Tijerina, por su apoyo en las investigaciones de campo y enseñarme una buena disciplina y ética de trabajo. Admiro su honradez, superación constante y servicio a la comunidad.

**M.C. Leonel Romero Herrera, una persona que admiro su forma de trabajar por su disciplina de trabajo, tiempo dedicado y forma de concretar sus metas. Además de su honradez y amplia visión en docencia, investigación y tareas cotidianas.**

**Ing. Fernando Villarreal Palomo, por su apoyo para la culminación de esta tarea. Además, de ser una persona con una gran capacidad, personalidad y respeto.**



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## AUTOBIOGRAFIA

### DATOS GENERALES

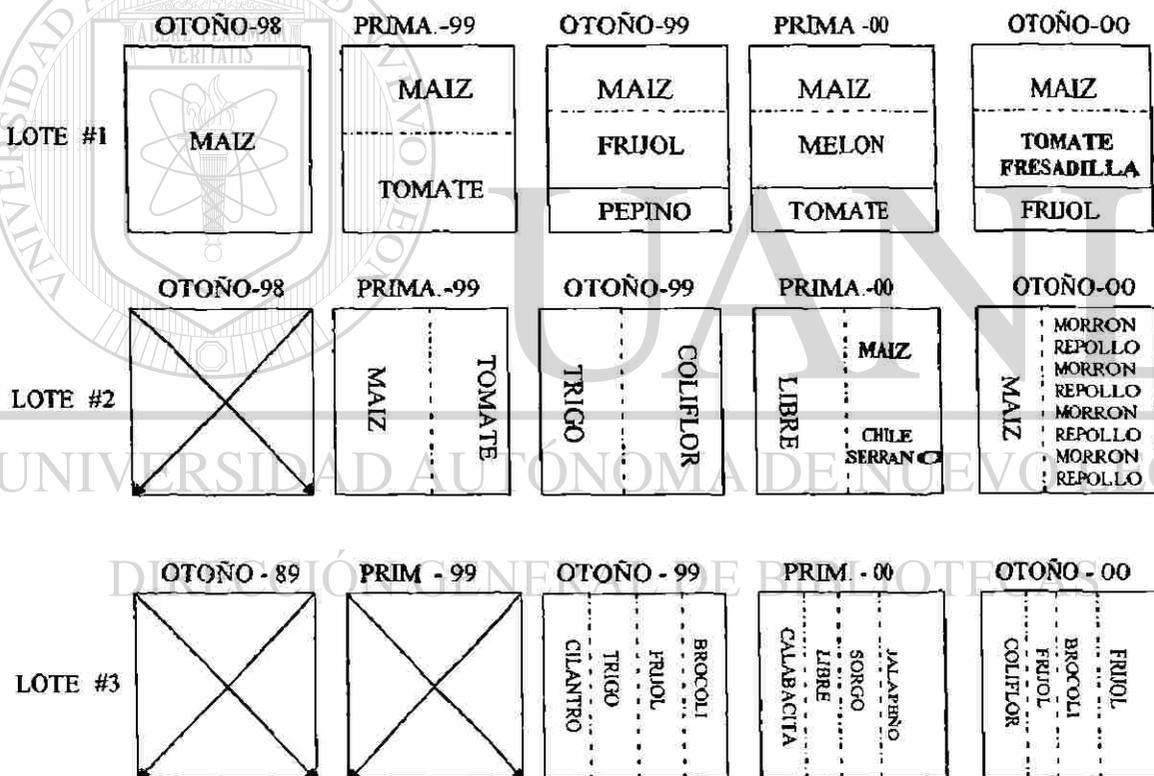
- Nombre: M.C. Jesús Martínez de la Cerda
- Fecha de Nacimiento: 9 de Abril de 1961
- Lugar de Nacimiento: General Terán, N.L.
- Estudios de Primaria: Bridgeport Elementary School. Bridgeport, Washington U.S.A
- Estudios de Secundaria: Bridgeport Jr. High School. Bridgeport, Washington U.S.A
- Estudios Preparatorios: Preparatoria # 16. Montemorelos, N.L.
- Ing. Agrónomo Fitotecnista en la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L. (1985)
- Maestría en Tecnología de Semillas en la Universidad Agraria Antonio Narro. Buenavista, Coahuila. (1990)

### ACTIVIDADES COMO PROFESIONAL:

- Auxiliar de Investigación en la Facultad de Agronomía, U.A.N.L. (1986-1999).
- Instructor en cursos de actualización en cultivos hortícolas, Facultad de Agronomía, U.A.N.L. 1992-1998)
- Catedrático en el ITESM (1998-2000)
- Responsable proyecto de biosólidos en Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D. (1998-2000)
- Responsable de bosques urbanos en Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D. (2000-2003)
- Coordinador de Investigación y Desarrollo en Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D. (2000-2003)
- Vocal de educación de AWWA sección México (2002 a la fecha)

Durante los estudios de posgrado se efectuaron investigaciones con otros cultivos durante varios ciclos de siembra, en donde el lodo utilizado en el lote 1 provino de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Noreste y del lote 2 y 3 de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Dulce Nombres. El programa completo de investigación se muestra en la siguiente figura.

Figura. Programa de investigación del uso de lodos en cultivos de hortalizas y granos básicos.



Del total de trabajos de investigación realizados sobre lodos residuales algunos se presentaron en congresos a nivel nacional é internacional, los cuales se presentan a continuación:

### **Ponencias y Artículos Publicados**

- Seminario de postgrado. Efecto de biosólidos en el rendimiento y calidad de frutos de tomate. Julio-1999. Facultad de Agronomía, U.A.N.L.
- Exposición internacional del agua. 25 al 27 agosto, 1999. Evaluación del potencial de biosólidos en la producción de sistemas agrícolas. Monterrey, N.L.
- Semana Nacional de CONACYT. Uso de biosólidos en agricultura. Oct-99. Facultad de Agronomía, U.A.N.L..
- XIX Simposium internacional de nutrición vegetal. Evaluación del potencial de biosólidos en la producción agrícola. Oct-99. ITESM Monterrey, N.L.
- Seminario de postgrado. Efecto de biosólidos en el rendimiento y calidad de frutos de tomate. Dic. 1999. Facultad de Agronomía, U.A.N.L.
- 5<sup>o</sup> Simposium de CONACYT. Uso de biosólidos en agricultura. 17 y 18 de mayo, 2000. Facultad de agronomía, U.A.N.L.
- Seminario de postgrado. Efecto de biosólidos en el rendimiento y calidad de frutos de tomate. Julio-2000. Facultad de Agronomía, U.A.N.L.
- Wef/awwa/cwea joint residual and biosolid management conference. San Diego, Calif. 21-24 feb 2001. Title: soil survey of essential and trace elements in a plot amended with biosolid after three sowing seasons.

- Seminario de postgrado. Efecto de biosólidos en el rendimiento y calidad de frutos de tomate. Julio 2001. Facultad de Agronomía, U.A.N.L.
- Día mundial del medio ambiente. Reuso del agua residual tratada en el área metropolitana de Monterrey. Junio, 2001. Facultad de Agronomía, U.A.N.L.
- IWA sludge management, regulation, treatment, utilization and disposal. Residual effect of biosolid in cauliflower regarding yield, essential and heavy metal concentration in heads and soil. Acapulco, México 25-27 oct. 2001
- 16<sup>th</sup> Annual residual and biosolids management conference. Biosolids in Mexico success story. March 3-6 2002. Austin, Texas.
- Joint residual and biosolids management conference and exhibition. Biosolid application in urban forest in the metropolitan area of Monterrey, Mexico. Feb. 19-22, 2003. Baltimore, Maryland.

---

#### Poster Presentados

- Paris 2000 1<sup>st</sup> world water congress of international water association, Paris 3-7 July 2000. Plant growth, yield and metal concentration of maize and tomato grown on sewage sludge amended soil.
- Aquatech Amsterdam conference EU guidelines and nutrient removal. Amsterdam, Netherlands. Sept 2000. Biosolid amendment and its effect in yield, trace metal concentration in soil and tomato fruit.

**EFFECTO DEL LODO RESIDUAL EN RENDIMIENTO Y CONCENTRACIÓN  
DE METALES PESADOS EN HORTALIZAS Y GRANOS BÁSICOS**

Contenido		Página
Capítulo 1	Introducción general.	1
Capítulo 2	Efecto del lodo residual en el rendimiento de maíz ( <i>zea mays</i> L.) y concentración de metales pesados en un suelo calcáreo.	7
Capítulo 3	Efecto residual del lodo en el cuarto ciclo de siembra en maíz ( <i>Zea mays</i> L.).	31
Capítulo 4	Efecto residual del lodo en trigo ( <i>Triticum spp.</i> L.).	56
Capítulo 5	Efecto del lodo residual en el rendimiento y calidad de frutos de tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill).	77
Capítulo 6	Efecto de lodo residual en rendimiento de coliflor ( <i>Brassica oleracea</i> var. botrytis) y concentración de metales pesados en el suelo.	103
Capítulo 7	Resumen general.	129

## Capítulo 1

### INTRODUCCIÓN GENERAL

El lodo, un subproducto del proceso de tratamiento de agua residual normalmente se confina en rellenos sanitarios. Sin embargo, cuando este cumple con regulaciones tales como la 503 en los Estados Unidos se le conoce como biosólido cuya definición es la siguiente: Un recurso reciclable con alto contenido de materia orgánica y nutrimentos que puede ser utilizado como fertilizante orgánico o mejorador del suelo. Se debe tomar la precaución debida al utilizar el término biosólido y cuando no se cuenta con el análisis correspondiente es recomendable utilizar lodo residual.

---

El lodo es utilizado ampliamente en países desarrollados, tales como los Estados Unidos de América y Japón, por sus bondades como mejorador del suelo, por su alto contenido de materia orgánica y la lenta liberación de macro y micro nutrimentos; lo que hace que su efecto benéfico como fertilizante orgánico se prolongue por varios ciclos de siembra con aplicación única, igualando o incrementado el rendimiento de los cultivos comparado con fertilizantes inorgánicos. El mejoramiento del suelo mediante el incremento de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, retención de humedad y población de microorganismos, está bien documentada en la literatura relacionada con la aplicación de lodo. El lodo se utiliza principalmente en agricultura de granos básicos y forrajes, sin embargo, también se utiliza en recuperación de suelos

deteriorados, bosques, campos de golf, parques y camellones (Outwater, 1994; Page, 1996).

El uso del lodo ha sido cuestionado debido a que contiene metales pesados que pueden poner en riesgo al consumidor de los productos agrícolas o contaminar el suelo. Los factores más determinantes para que el uso del lodo sea peligroso incluyen: dosis aplicada, concentración de metales pesados presentes, tipo y cantidad de microorganismos, orgánicos y pH del suelo. De tal forma que se han encontrado altas concentraciones de metales pesados en suelo y plantas cuando no se cumplen con las regulaciones establecidas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EUA (Sopper, 1993; USEPA, 1995).

A partir de 1995, cuando se instalaron las plantas de tratamiento de agua residual del gobierno estatal en el área Metropolitana de Monterrey, se generan aproximadamente 150 t de lodo base seca diario que se depositan en un relleno sanitario ubicado en la Planta de Tratamiento de Agua Residual "Dulces Nombres".

En Nuevo León y, en general en el norte del país, el uso adecuado del lodo puede traer beneficios en cultivos tales como sorgo, maíz, trigo, forrajes y hortalizas. No obstante, el mayor beneficio sería la conservación de la fertilidad del suelo y el uso sustentable del mismo. Además, la mayor parte de los suelos del norte de México son alcalinos, factor importante que permite que el uso del lodo presente menor riesgo.

Sin embargo, debido a que en México existen solamente algunos estudios que indiquen el beneficio o detrimento que puede ocasionar la aplicación del lodo, es necesario efectuar investigaciones para ver el comportamiento de los cultivos y del suelo. Se plantearon las siguientes hipótesis:

i) El lodo incrementa la altura de planta y rendimiento de maíz modificando la concentración de metales pesados disponibles y totales en el suelo calcáreo.

ii) El efecto residual del lodo puede modificar el rendimiento de forraje y grano de maíz, hasta después del cuarto ciclo de siembra, sin alterar la concentración de metales pesados en el grano.

iii) El efecto residual del lodo incrementa el rendimiento del trigo en el segundo ciclo de siembra, sin afectar la concentración de metales pesados en el grano.

iv) El efecto del lodo en el primer ciclo mejora el desarrollo e incrementa el rendimiento en tomate, sin incrementar las concentraciones de metales pesados en los frutos.

v) El efecto residual después del segundo ciclo de siembra incrementa el número de pellas comerciales en coliflor, sin afectar la concentración de metales pesados en la pella y suelo.

---

Para probar las hipótesis anteriores, se realizaron trabajos de investigación en campo y laboratorio.

El objetivo general de la presente investigación fué determinar el efecto de lodo líquido o deshidratado de la planta de tratamiento de agua residual Dulces Nombres y Noreste, comparándolo con fertilizante inorgánico y testigo, en cultivos de hortalizas y granos.

Para alcanzar el objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- i) Evaluar el lodo residual para cuantificar su efecto en altura de planta y rendimiento de grano de maíz en el primer ciclo de siembra en un suelo calcáreo. Determinar el contenido de metales pesados disponibles y totales en el suelo y compararlo con los límites de tolerancia permitidos.

- ii) Evaluar el efecto residual del lodo en los parámetros de altura de planta, rendimiento y concentración de metales pesados en grano de maíz.
- iii) Determinar si el efecto residual del lodo después del segundo ciclo de siembra, donde previamente se sembró maíz, iguala o incrementa el rendimiento de trigo comparado con el fertilizante inorgánico y testigo, sin afectar la concentración de metales pesados en el grano.
- iv) Evaluar el lodo en el cultivo de tomate en el primer ciclo de siembra, para ver su efecto en el desarrollo, y rendimiento de tomate. Así, como determinar el contenido de metales pesados en fruto y compararlo con los límites de tolerancia permitidos.
- v) Evaluar el efecto residual del lodo en el segundo ciclo de siembra en el cultivo de coliflor, para observar su efecto en altura de planta, número y calidad de pellas. Así, como el comportamiento de elementos esenciales y metales pesados en el suelo.

Con el fin de conocer los porcentajes de nutrimentos de los lodos se envió una muestra compuesta de cada una de las plantas de tratamiento de agua residual a un laboratorio certificado, obteniéndose los resultados que se muestran en el Cuadro 1.1.

Cuadro 1.1. Contenido de nutrimentos del lodo deshidratado de las plantas de tratamiento de agua residual.

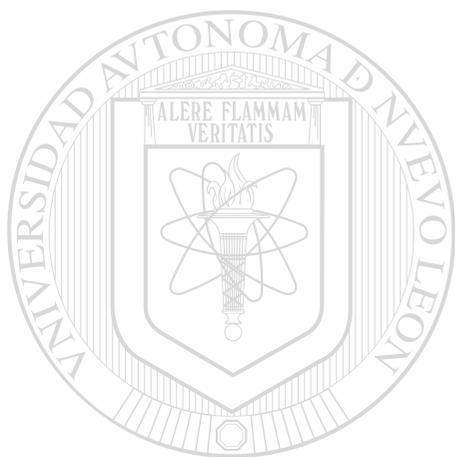
Parámetro	Unidades	Noreste	Dulces Nombres
Materia orgánica	%	28.25	20.96
Nitrógeno total	%	6.10	5.70
Fósforo total	%	2.26	1.67
Potasio	%	0.59	0.24
Magnesio	%	0.34	0.31
Calcio	%	2.31	4.44
Cobre	%	<0.01	0.02
Fierro	%	0.33	1.15
Zinc	%	0.06	0.24

Además, se analizó una muestra compuesta del suelo para conocer los principales características del testigo (sin aplicación) obteniéndose los resultados que se muestran en el Cuadro 1.2.

Cuadro 1.2. Resultados de análisis del suelo de una muestra compuesta del testigo.

Parámetro	Unidades	Resultados
pH		7.80
Arena	%	33.40
Limo	%	25.28
Arcilla	%	41.32
Materia orgánica	%	3.70
<b>Cationes intercambiables</b>		
Potasio	Meq/100 g	0.46
Magnesio	Meq/100 g	4.50
Calcio	Meq/100 g	75.00
CIC	Meq/100 g	20.00
<b>Porcentaje saturación</b>		
Potasio	%	2.30
Magnesio	%	22.40
Calcio	%	75.00

Del total de los trabajos de investigación, solamente se eligieron cinco para cumplir con los requisitos para la obtención del grado, los cuáles forman el cuerpo de esta tesis. Dichos trabajos se presentan como cinco capítulos, los cuales fueron redactados como artículos científicos, y para el efecto, se apegaron a las normas de estilo de las revistas a las cuales se someterán a consideración para su publicación.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## Capítulo 2

### EFFECTO DEL LODO RESIDUAL EN EL RENDIMIENTO DE MAIZ (*Zea mays L.*) Y CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN UN SUELO CALCAREO\*

#### RESUMEN

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la planta de tratamiento de agua residual en Dulces Nombres, municipio de Pesquería, N.L. México. El diseño experimental utilizado fue un bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación de lodo líquido con dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$  y deshidratado con dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$ , fertilización inorgánica (120-40-00) y testigo (sin aplicación). Los resultados indicaron que la mayor altura de planta se obtuvo con la aplicación de lodo líquido  $8 \text{ t ha}^{-1}$ . El mayor rendimiento se obtuvo con aplicación de lodo  $8 \text{ t ha}^{-1}$  en forma líquida y deshidratada. Los análisis de suelo con respecto a cobre, cadmio, plomo, níquel y zinc disponibles y totales adsorbidos, indicaron que las concentraciones se encontraron por debajo de los límites de tolerancia; por lo tanto, el uso de lodo no incrementó significativamente la concentración de metales pesados en el suelo. Se recomienda continuar con el experimento para ver el efecto residual del lodo en el suelo y en rendimiento de cultivos.

**Palabras clave:** *Adsorción, materia orgánica, metales pesados, precipitación*

\* Para ser enviado a la revista Terra

**EFFECT OF THE SEWAGE SLUDGE IN CORN YIELD (*Zea mays L.*) AND  
HEAVY METAL CONCENTRATION IN A CALCAREOUS SOIL**

**SUMMARY**

The survey was conducted at the wastewater treatment plant of Dulces Nombres, located in the municipality of Pesqueria, Nuevo Leon, Mexico. The experimental design was a complete randomized block with five treatments and four replications. The treatments consisted in liquid sewage sludge ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ) and dewatered sewage sludge ( $4$  and  $8 \text{ t ha}^{-1}$ ), inorganic fertilizer (120-40-00) and the negative. Results indicated that plant height was enhanced when liquid sewage sludge was applied. Best yield were

---

obtained when either  $8 \text{ t ha}^{-1}$  of liquid or dewatered sewage sludge were applied. Soil analysis regarding available and total adsorbed copper, cadmium, lead, nickel, zinc and total adsorbed chromium indicated that levels were below the tolerance limits.

Therefore, the amount of sewage sludge applied did not increase heavy metal concentration in soil. It is recommended to continue with the experiment is recommended in order to observe the residual effect of sewage sludge in soil and crop yield.

**Key words:** *Adsorpción, heavy metals, organic matter, precipitation*

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz ha jugado un papel importante en la dieta mexicana; sin embargo, en la mayor parte de las regiones donde se siembra se obtienen rendimientos bajos, debido a que se cultiva con tecnología de baja calidad, en términos de los implementos utilizados, siembra de temporal, material genético y suelos deteriorados por mal manejo. Existen entidades donde se aplica alta tecnología con buenos rendimientos tales como Jalisco, Tamaulipas y Sinaloa; sin embargo, los agricultores normalmente no agregan materia orgánica, indispensable para mejorar el suelo, pudiendo ocasionar un deterioro de éste a través del tiempo. Los estiércoles más comunes son el guano, gallinaza, bovino, caprino y lodo. Se sabe que el uso del estiércol

---

aporta materia orgánica y nutrimentos esenciales para las plantas, además de mejorar características físico-químicas del suelo, tales como retención de humedad, capacidad de intercambio catiónico, disponibilidad de nutrimentos, actividad de microorganismos en el suelo y otros, etc. Debido a estas bondades, en los países orientales se han podido mantener los suelos productivos; por otra parte, en los países occidentales se ha tenido que abandonar algunos campos agrícolas dejando atrás suelos infértiles por falta de esta práctica tan sencilla. Si bien es cierto que a corto plazo el uso de fertilizantes inorgánicos es más económico, con resultados más rápidos y fáciles de aplicar, a largo plazo el uso de estiércol tiene mayores beneficios, pudiendo obtener los mismos o mejores rendimientos sin el deterioro del suelo (USEPA, 1995; Sopper, 1993; Lynne *et al.*, 2002).

El lodo, como un subproducto del tratamiento del agua residual, se ha venido utilizando desde principios de 1900 con buenos resultados en el rendimiento de cultivos. El lodo se puede aplicar en forma líquida o deshidratada. Se han reportado incrementos en rendimientos con una sola aplicación de lodo al suelo, observándose incrementos inmediatos con el uso de lodo líquido, pero con poco efecto residual; después del tercer ciclo de siembra. En contraste, los efectos benéficos con el lodo deshidratado inician después de 6 meses de su aplicación, pero observándose efecto residual benéfico comparado con el testigo, incluso hasta cuatro años después de su aplicación (Outwater, 1994).

En el cultivo de maíz se ha estudiado el efecto inmediato y residual de la aplicación de lodo con dosis de 12, 35 y 50 t ha<sup>-1</sup> por 14 años consecutivos, encontrándose un aumento en el rendimiento de grano. Además, se han encontrado incrementos en el rendimiento de maíz de hasta 2.66 t ha<sup>-1</sup> con aplicaciones de 56 t ha<sup>-1</sup>

de lodo. Con dosis de 22 a 45 t ha<sup>-1</sup> se incrementó el rendimiento de sorgo y maíz (Sopper, 1993). Dosis de 0, 224 y 448 t ha<sup>-1</sup> se tuvieron un efecto directamente proporcional en el rendimiento de maíz, con 1.07, 3.04 y 4.99 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Hinesly y Redborg, 1984). Otro estudio donde se comparó sulfato de amonio en dosis de 0, 111, 222 y 333 kg N ha<sup>-1</sup> y lodo equivalente a 222 y 444 N ha<sup>-1</sup>, se encontró que 6 de 9 tratamientos con lodo, superaron al fertilizante inorgánico con dosis de 222 N ha<sup>-1</sup> (Kiemnec *et al.*, 1990; Logan y Miller, 1985). En Nebraska, donde el 90% del lodo producido se aplica en agricultura, se encontró que la dosis óptima para maíz de riego fue de 69 t ha<sup>-1</sup>, requiriendo 167 kg de N con fertilizante inorgánico por ciclo para obtener resultados similares. Se obtuvo en promedio un incremento del 33% en el primer ciclo después de la aplicación del lodo. Del 80% del N total en forma orgánica, se liberó

el 40% en el primer año (Darren *et al.*, 2001). Comparando dosis de 20 t ha<sup>-1</sup> de lodo contra 25 t ha<sup>-1</sup> de estiércol se observó que todos los índices de crecimiento, rendimiento y valor nutritivo de maíz fueron superiores con el uso de lodo (Sergiento *et al.*, 1991).

La mayor preocupación del uso de lodo es con respecto a los metales pesados. Estos pueden contaminar los suelos y ser absorbidos por las plantas y acumularse en niveles peligrosos para el consumo animal o humano; por ejemplo, con aplicaciones de 40 a 80 t ha<sup>-1</sup> se observó un incremento en la concentración de hierro, manganeso, zinc, cobre, níquel, cromo y plomo en el primer año (Haroon y Ramulu, 1990). En otros experimentos, aplicaciones de lodo en dosis de 32 t ha<sup>-1</sup> incrementaron la concentración de cobre, manganeso, cadmio, cromo y níquel en el suelo comparado con el testigo (Kirkham, 1983). Con dosis de 50 t ha<sup>-1</sup> de lodos en dos años consecutivos, se agregaron 37.0 kg ha<sup>-1</sup> de cobre, 34 kg ha<sup>-1</sup> de zinc y 5.9 kg ha<sup>-1</sup> de plomo, observándose un incremento de la concentración de metales pesados en el perfil del suelo de 0 a 4 cm en

el primer año y con niveles más elevados en el tercer año en cobre, pero sin cambios en plomo. Se observó además que las proporciones extraíbles de zinc y cobre fueron más altas en suelos con lodo que en testigo, y que el zinc extraíble siguió un patrón proporcional a la concentración del zinc total (O'Riordan *et al.*, 1994). Con dosis de 40 a 160 t ha<sup>-1</sup> se presentó un incremento significativo en la concentración de metales pesados en suelos calcáreos (Mashhady, 1984); con dosis de 250 t ha<sup>-1</sup> los niveles de los metales en el suelo se incrementaron a niveles no recomendados para cultivos agrícolas (Gasiunas *et al.*, 1995). Suelos que recibieron 20 t ha<sup>-1</sup> por un período de 5 años tuvieron niveles más altos de metales que cuando se aplicaron 100 t ha<sup>-1</sup> de lodo en aplicación única (Hargitai, 1990). En suelo podsólico con dosis de 0 hasta 1,000 t ha<sup>-1</sup> de lodo se observó un incremento significativo los niveles de plomo, cobre y zinc a partir

de una dosis de  $500 \text{ t ha}^{-1}$ , pero los niveles bajaron sustancialmente el segundo año (Turski, 1982). Con aplicaciones de  $1,000 \text{ t ha}^{-1}$  en suelo areno-limoso en maceta se incrementaron los niveles de metales pesados en el siguiente orden; zinc, plomo y cadmio; con el tiempo decreció el plomo y zinc significativamente, pero no el cadmio (Pietz *et al.*, 1983).

En otras investigaciones se encontró que la aplicación de lodos al suelo no incrementó significativamente la concentración de metales pesados a niveles tales que se consideren nocivos para la salud de plantas y animales. En un estudio se aplicaron dosis de 0, 10, 30, 50 y  $80 \text{ t ha}^{-1}$ , encontrando que los niveles de zinc, cobre y manganeso se incrementaron en el suelo sin llegar en ningún caso a niveles tóxicos (Trinidad *et al.*, 1993). Con dosis de 138 a  $145 \text{ t ha}^{-1}$  las concentraciones de metales se encontraron en los niveles bajos a medios sin haber ningún riesgo para el suelo. Además, se encontró poca influencia en el contenido de plomo y cadmio (Seaker, 1991). Aplicaciones de lodo

de  $8 \text{ t ha}^{-1}$  en suelo arenoso no tuvieron efecto significativo sobre la concentración de metales pesados en el suelo (Gasiunas *et al.*, 1995); con dosis de  $184 \text{ t ha}^{-1}$  en un período de 5 años hubo ligeros incrementos en algunos metales en la superficie del suelo pero las concentraciones se encontraron dentro del rango de tolerancia para suelos de Estados Unidos de América (Seaker y Sopper, 1984);

La especiación de los metales pesados en el suelo determina la disponibilidad para la absorción por las raíces, normalmente una porción de los metales contenidos en el lodo se encuentra en la fase sólida y sólo el 10% es intercambiable del total de los metales (Lake *et al.*, 1984), otros investigadores encontraron que menos del 1% del contenido total se encontró en forma soluble en agua e intercambiable (Taylor *et al.*, 1995). La forma predominante de los metales es en carbonatos de cadmio, níquel y zinc

y fracciones orgánicas de cobre. Además, se encontró que las fracciones de cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc en suelos fueron gobernados por el contenido total de metales pesados en el lodo y dosis aplicada (Taylor *et al.*, 1995). Sin embargo, se ha observado que la fracción soluble de fierro, manganeso, zinc y cobre fueron relativamente bajas comparadas con el contenido total de estos metales (Seedq *et al.*, 1992). Otros mencionan que la movilidad y disponibilidad de los metales en el suelo dependen del pH del suelo, incrementando la disponibilidad de los metales en suelos ácidos (Okomoto *et al.*, 1990; Yamada *et al.*, 1985).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto residual para cuantificar su efecto en altura de planta y rendimiento de grano de maíz en el primer ciclo de siembra en un suelo calcáreo. Determinar el contenido de metales pesados disponibles y totales en el suelo y compararlo con los límites de tolerancia permitidos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la planta de tratamiento de agua residual localizada en Dulces Nombres municipio de Pesquería, N.L. con coordenadas geográficas de 25° 47" de latitud norte y 100° 02" de longitud oeste. El suelo donde se desarrolló el experimento es calcáreo con textura franco-arcillosa con un pH de 7.8.

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones; los tratamientos consistieron en:

1. Testigo (sin aplicación)
2. Fertilizante inorgánico: se efectuó una fertilización de presembrado con una dosis de 60-40-00 y la segunda al inicio de floración con dosis de 60-00-00.
3. Lodo deshidratado en dosis de 4 t ha<sup>-1</sup> base seca.
4. Lodo deshidratado en dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> base seca.
5. Lodo líquido en dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> base seca.

Los tratamientos se aplicaron al suelo el día 17 de febrero de 1999. El lodo líquido utilizado se obtuvo de digestores anaerobios procedentes de la planta de tratamiento Dulces Nombres con 3% de sólidos, la aplicación se efectuó utilizando una pipa colocando el lodo en la superficie del suelo e incorporando al siguiente día con el uso de la rastra. El lodo deshidratado se obtuvo después de haber pasado por filtros prensa con 20% de sólidos y se aplicó a través de estercoladora, incorporándola mediante una rastra el mismo día.

La siembra se efectuó del 15 al 18 de Marzo de 1999 colocando dos semillas del híbrido Pioneer 3025W por punto para posteriormente dejar una planta por punto. La unidad experimental fue de 5 surcos de 1.83 m a doble hilera, con una distancia entre plantas de 20 cm, y una longitud de surcos de 24 m, utilizando los tres centrales como parcela útil.

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo de acuerdo al diseño experimental planteado utilizando el paquete estadístico “Diseños Experimentales FAUANL” (Olivares, 1994). La comparación de medias se efectuó por medio de la prueba diferencia mínima significativa (DMS) cuando se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ). Las variables analizadas fueron las siguientes:

**Altura de planta:** se obtuvo del promedio de diez plantas tomadas al azar de cada unidad experimental a los 60 días después de la siembra.

**Rendimiento de grano:** después de realizar la cosecha de cada parcela útil, el grano se colocó en la estufa a 65° C por 24 hr con el objetivo de homogenizar la humedad del grano y posteriormente obtener el peso total del grano de cada unidad experimental.

**Metales pesados en suelo:** se obtuvo una submuestra compuesta de 500 g de cada tratamiento, proveniente de muestras simples de cada unidad experimental tomadas del perfil 0 a 15 cm, se secó al ambiente y en estufa a 85° C por 24 h. Esta submuestra se envió al laboratorio de Suelos de la Universidad Estatal de Pennsylvania para la cuantificación de cobre, zinc, plomo, níquel y cadmio disponible, con el método Diagnostic Soil Test (Diagnostic Soil Test, Sin año) y cobre, zinc, plomo, níquel, cromo y cadmio total adsorbido, a través del método EPA 3050/3051 (EPA 3050/3051, 1986).

## RESULTADOS Y DISCUSION

**Altura de planta:** Se encontró diferencia estadística a los 60 días después de la siembra. La mayor altura de planta se obtuvo con el lodo líquido  $8 \text{ t ha}^{-1}$ , seguido por lodo deshidratado  $8 \text{ t ha}^{-1}$ . Se encontró además que lodo deshidratado  $4 \text{ t ha}^{-1}$  y fertilizante inorgánico (120-40-00) fueron similares entre sí y a su vez este último fue similar al testigo (Cuadro 2.1). Los resultados obtenidos coinciden con lo mencionado en la literatura revisada en donde se indica que los nutrientes del lodo líquido están disponibles inmediatamente después de su aplicación, comparado con el lodo deshidratado, en donde la descomposición del material orgánico es más lenta y la liberación de los nutrientes se realiza en varios ciclos (Outwater, 1994; Sopper, 1993).

El lodo deshidratado  $8 \text{ t ha}^{-1}$  tuvo un mejor efecto sobre la altura de la planta comparado con el fertilizante inorgánico, esto muestra que aún cuando la liberación de nutrientes es más lenta que el lodo líquido, la cantidad de nutrientes que se liberan son suficientes para competir con aplicaciones de fertilizantes químicos. Además se espera que en el segundo ciclo de siembra exista un efecto residual del lodo deshidratado (Haarón y Ramulu, 1990; Okamoto *et al.*, 1990). En otros estudios se han reportado incrementos en altura de planta de maíz con la aplicación de lodos con dosis de  $20 \text{ t ha}^{-1}$  (Sergiento *et al.*, 1991); 15 a  $120 \text{ t ha}^{-1}$  (Sopper, 1993) y 22 a  $45 \text{ t ha}^{-1}$  en rendimiento de pasto (Fresquez *et al.*, 1991).

Cuadro 2.1. Resultados de variables altura de planta y rendimiento en el cultivo de maíz comparando el uso de lodos vs. fertilización inorgánica y testigo.

Tratamiento	Altura planta (cm)	Rendimiento grano (t ha <sup>-1</sup> )
Testigo	134 D	5.91 B
Fertilizante (120-40-00)	144 CD	6.96 B
Lodo deshidratado 4 t ha <sup>-1</sup>	150 C	6.32 B
Lodo deshidratado 8 t ha <sup>-1</sup>	155 B	7.36 AB
Lodo líquido 8 t ha <sup>-1</sup>	183 A	8.64 A
DMS (0.05)	10.58	1.75

**Rendimiento de grano:** Los resultados indicaron, que el mayor rendimiento de grano se obtuvo con lodo líquido y deshidratado 8 t ha<sup>-1</sup>, seguido por fertilizante inorgánico (120-40-00), lodo deshidratado 4 t ha<sup>-1</sup> y testigo (Cuadro 2.1). Los resultados obtenidos en rendimiento de maíz, coinciden con los reportados en otros trabajos, en donde indican que los mejores resultados inmediatos se obtienen cuando se aplica lodo líquido, debido a que una mayor cantidad de nutrientes está disponible en forma inmediata (Sopper, 1993). En base al análisis realizado al lodo utilizado en este experimento, contiene 5.7% de nitrógeno total, por lo tanto aporta 90 y 45 kg ha<sup>-1</sup> al año aplicando 8 y 4 t ha<sup>-1</sup> de lodo deshidratado, respectivamente. Esto nos indica que a pesar de que la dosis aplicada del fertilizante es mayor, la disponibilidad es mayor con la aplicación del lodo. En el caso del lodo líquido se estima que el 60% del nitrógeno está disponible el primer año, equivalente a 273 kg ha<sup>-1</sup>. El análisis del lodo utilizado tiene 7.26% de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y se estima que el 50% está disponible el primer año cuando se aplica en forma líquida y deshidratada. Por lo tanto, la cantidad disponible de fósforo es de 290 y 145 kg ha<sup>-1</sup> por año, al aplicar 8 y 4 t ha<sup>-1</sup> de lodo respectivamente, lo cual explica el mayor rendimiento obtenido con este tratamiento.

Resultados de otros estudios indican incrementos de rendimiento en maíz con dosis de 22 a 45, 56 y 15 a 120 t ha<sup>-1</sup> (Sopper, 1993); 69 t ha<sup>-1</sup> (Darren *et al.*, 2001); 224 y 448 t ha<sup>-1</sup> (Hinesley y Redborg, 1984). No se encontró diferencia entre fertilizante inorgánico y testigo debido a que una parte del nitrógeno y fósforo se pierde por lixiviación o precipitación en el suelo. En el caso de lodo deshidratado 4 t ha<sup>-1</sup> los nutrimentos disponibles son pocos por la dosis aplicada que repercute en bajo contenido de nutrimentos disponibles y como consecuencia bajo rendimiento de grano (Outwater, 1994; Sopper, 1993).

#### **Metales pesados en suelo:**

**Cobre Total Adsorbido.** La concentración se incrementó con la aplicación de lodo deshidratado y líquido en dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> comparado con el testigo y fertilizante inorgánico (Cuadro 2.2). Sin embargo, todos los tratamientos se encontraron por debajo del rango permitido. Esto coincide con lo esperado, debido a que el lodo contiene cobre

y como consecuencia incrementa su nivel en el suelo después de la aplicación (Adam y Sanders, 1984). Resultados similares se han encontrado con aplicaciones de 10, 30, 50 y 80 t ha<sup>-1</sup> (Trinidad *et al.*, 1993); 30 t ha<sup>-1</sup> (Kirkham, 1983); 40 a 80 t ha<sup>-1</sup> (Haroon y Ramulu, 1990); 40 a 160 t ha<sup>-1</sup> (Mashhady, 1984); 184 t ha<sup>-1</sup> (Seaker y Sopper, 1984); pero en todos los casos los niveles se encontraron por debajo del límite de tolerancia para suelos agrícolas. Sin embargo, existen estudios que han encontrado niveles por encima del límite cuando se aplican dosis por arriba de 250 t ha<sup>-1</sup> (Gasiunas *et al.*, 1995) y 500 t ha<sup>-1</sup> (Turski, 1982). En estudios donde se aplicó 50 t ha<sup>-1</sup> se agregó 0.74 kg t<sup>-1</sup> de cobre total adsorbido (O'Riordan *et al.*, 1994).

**Cobre Disponible.** La concentración se incrementó con la dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> de lodo deshidratado y líquido, pero está dentro del rango bajo como se puede apreciar en

el Cuadro 2.2, lo que indica que no existe peligro de toxicidad para el cultivo de maíz. Se observó que sólo una pequeña fracción total del cobre está disponible y se debe a que se precipita con el suelo permaneciendo en la fase sólida como fracción orgánica de cobre (Seedq *et al.*, 1992) y se reporta que la disponibilidad del cobre es gobernada por el contenido total y dosis aplicada (Taylor *et al.*, 1995). Diversos estudios indican que sólo el 10% (Lake *et al.*, 1984) y menor del 1% del total está disponible (Taylor *et al.*, 1995) los resultados obtenidos en este experimento indican en promedio 6.7% de cobre en forma disponible.

**Cuadro 2.2. Concentración de metales pesados totales adsorbidos y disponibles en suelo comparando lodo líquido, lodo deshidratado, fertilizante inorgánico y testigo vs. los límites de tolerancia (EPA method 3050/3051, 1986)**

Metal pesado	Tratamientos					Rango **		
	T1	T2	T3	T4	T5	Bajo	Intermedio	Alto
Cobre total* (kg ha <sup>-1</sup> )	3.12	2.94	3.30	3.49	3.67			77
Cobre disponible (kg ha <sup>-1</sup> )	0.11	≤0.07	≤0.07	0.26	0.22	0.0-0.7	0.7 - 14.7	14.7 - 25.7
Zinc total* (kg ha <sup>-1</sup> )	13.95	12.85	15.6	23.50	19.09			25.7
Zinc disponible (kg ha <sup>-1</sup> )	0.26	0.26	0.48	6.50	2.90	0.0-0.7	0.7 - 27.5	27.5 - 36.7
Plomo total* (kg ha <sup>-1</sup> )	2.39	2.02	2.20	2.57	2.57			19.3
Plomo disponible (kg ha <sup>-1</sup> )	0.33	0.33	0.29	0.62	0.73	0.0-0.2	0.2 - 7.3	7.3 - 18.7
Níquel total* (kg ha <sup>-1</sup> )	3.12	2.94	3.30	3.30	3.30			7.7
Níquel disponible (kg ha <sup>-1</sup> )	≤0.04	0.07	≤0.04	0.18	0.11	0.0-0.2	0.2 - 1.8	1.8 - 9.2
Cadmio total* (kg ha <sup>-1</sup> )	≤0.07	≤0.07	<0.07	≤0.07	≤0.07			0.13
Cadmio disponible (kg ha <sup>-1</sup> )	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01	0.0 - 0.04	0.04 - 0.18	0.18 - 0.73
Cromo total* (kg ha <sup>-1</sup> )	3.12	2.75	3.67	3.67	3.67			6.43

\* Adsorbido

\*\* Rango de acuerdo con EPA method 3050/3051, 1986)

T1= testigo

T2= fertilización

T3= lodo deshidratado 4 t ha<sup>-1</sup>

T4= lodo deshidratado 8 t ha<sup>-1</sup>

T5= lodo líquido 8 t ha<sup>-1</sup>

**Zinc Total Adsorbido.** Los niveles se incrementaron con dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> de lodo, encontrándose por debajo del límite de tolerancia (Cuadro 2.2). Se observó que el

lodo deshidratado  $8 \text{ t ha}^{-1}$  está cerca del límite para zinc total. Algunos estudios indican incrementos en zinc con la aplicación de lodos con aplicaciones de 10, 30, 50 y  $80 \text{ t ha}^{-1}$  (Trinidad *et al.*, 1993);  $30 \text{ t ha}^{-1}$  (Kirkham, 1983); 40 a  $80 \text{ t ha}^{-1}$  (Haarón y Ramulu, 1990); 40 a  $160 \text{ t ha}^{-1}$  (Mashhady, 1984);  $184 \text{ t ha}^{-1}$  (Seaker y Sopper, 1984); pero en todos los casos, al igual que los resultados obtenidos en este experimento los niveles se encontraron por debajo del límite de tolerancia para suelos agrícolas. Sin embargo, existen estudios que han encontrado niveles por encima del límite cuando se aplican dosis por arriba de  $250 \text{ t ha}^{-1}$  (Gasiunas *et al.*, 1995) y  $500 \text{ t ha}^{-1}$  (Turski, 1982). Los resultados del testigo mostraron que los niveles encontrados en el suelo son aproximadamente la mitad del límite de tolerancia, lo que indica que el suelo tiene suficiente zinc total adsorbido. En otro estudio se aplicó  $50 \text{ t ha}^{-1}$  agregando  $7.48 \text{ kg t}^{-1}$  de zinc total (O'Riordan *et al.*, 1994).

**Zinc Disponible.** En la aplicación de lodo de  $8 \text{ t ha}^{-1}$ , se encontró un nivel de zinc disponible en el rango medio (Cuadro 2.2), el cual es el óptimo para el desarrollo de los cultivos. Los datos en la presente investigación mostraron mayor disponibilidad de zinc en el lodo con dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$ , lo que coincide con la literatura, en donde se menciona que después del nitrógeno y fósforo, el zinc es el elemento que más efecto tiene sobre los incrementos en rendimiento de los cultivos (Trinidad *et al.*, 1993; Haarón y Ramulu, 1990; Fresquez *et al.*, 1991). El efecto del zinc es de particular interés en los suelos del noreste de México porque tienen un alto pH debido a su condición calcárea, en donde el zinc es uno de los elementos que limitan el rendimiento de los cultivos.

Los resultados en la presente investigación mostraron que el zinc disponible se incrementó hasta 25 veces en el lodo deshidratado ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ) y 11.15 veces en el lodo

líquido ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ), comparado con el testigo. Sin embargo, el zinc adsorbido total tuvo un incremento de 1.68 y 1.37 veces en los tratamientos antes señalados, respectivamente. Este resultado coincide con otras investigaciones, en donde se ha observado que la proporción de zinc disponible es más alta en suelos con lodo y que tiene un patrón proporcional con la concentración de zinc total (O'Riordan *et al.*, 1994; Yamada *et al.*, 1985).

Es necesario que el lodo cumpla con la norma y dosis aplicada debido a que diversos estudios indican que se han encontrado suelos con altos niveles de zinc, ocasionando toxicidad en cultivos (Diez, 1982). Se menciona que sólo el 10% (Lake *et al.*, 1984) y menor del 1% del total de zinc está disponible (Taylor *et al.*, 1995).

**Plomo Total Adsorbido.** Ligeros incrementos en los niveles del plomo total adsorbido se presentaron con la aplicación de lodo líquido y deshidratado en  $8 \text{ t ha}^{-1}$  (Cuadro 2.2). Resultados similares se han encontrado al aplicar lodo en dosis de 40 a  $80 \text{ t ha}^{-1}$  (Haroon y Ramulu, 1990). En otro experimento con dosis de 10, 30, 50 y  $80 \text{ t ha}^{-1}$  encontraron poca influencia en los niveles de plomo total adsorbido (Trinidad *et al.*, 1993). Se ha reportado que con dosis de  $50 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo se agregó  $0.12 \text{ kg t}^{-1}$  de plomo total (O'Riordan *et al.*, 1994). Es importante tener en cuenta la dosis aplicada debido a que a pesar de que el lodo cumple con la norma se han encontrado altas concentraciones en suelo con dosis de  $250 \text{ t ha}$  (Gasiunas *et al.*, 1995) y  $1,000 \text{ t ha}^{-1}$  (Turski, 1982). Los resultados de este experimento indican que el testigo contiene niveles de plomo total adsorbido similares al resto de los tratamientos, indicando que el suelo en forma natural contiene plomo y su forma predominante en el suelo es como carbonato de plomo (Taylor *et al.*, 1995).

**Plomo Disponible.** En todos los tratamientos se encontraron niveles de plomo disponible en el rango intermedio (Cuadro 2.2), pero con ligero incremento cuando se aplicó lodo en dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$ , comparado con testigo y fertilizante inorgánico. Al igual que el resto de los metales las fracciones del contenido de plomo está gobernado por el contenido total de plomo y la dosis aplicada (Taylor *et al.*, 1995). En diversos estudios se ha encontrado que en suelo monitoreado durante 10 años solamente, se incrementó el nivel de plomo en 4.1 veces con incrementos de 24 veces la dosis del lodo, lo que indica que el plomo disponible no sigue una proporción directa a la concentración de plomo total (Hargitai, 1990). Resultados de otros estudios indican que sólo el 10% (Lake *et al.*, 1984) y menos del 1% del total del plomo está disponible (Taylor *et al.*, 1995), mientras que los resultados obtenidos en este experimento indicaron que en promedio el 26% del plomo total adsorbido se encontró en forma disponible.

**Níquel Total Adsorbido.** Ligeros incrementos se observaron de acuerdo con los resultados presentados en el Cuadro 2.2. Además, se observó que los niveles encontrados son aproximadamente el 50% del límite de tolerancia y que al igual que los demás elementos, el suelo lo posee por naturaleza debido a que se encontraron en el testigo. Existen estudios que indican que el nivel de níquel se incrementa con la aplicación de lodo en dosis de 40 a  $80 \text{ t ha}^{-1}$  (Haroon y Ramulu, 1990),  $32 \text{ t ha}^{-1}$  (Kirkam, 1983), incluso en algunos casos por encima del límite de tolerancia (Diez, 1982).

**Níquel Disponible.** A pesar de que se observaron incrementos hasta tres veces mayores con la aplicación de lodo en dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$ , comparado con el testigo, fertilizante inorgánico y lodo deshidratado  $4 \text{ t ha}^{-1}$ ; todos los tratamientos se encontraron en el nivel bajo (Cuadro 2.2). Lo que indica que el uso de lodo respecto a este elemento

es seguro considerando la calidad, dosis utilizada y tipo de suelo en donde se realizó el experimento. Se observó mayor concentración en níquel total comparado con el disponible debido a que la mayor parte del níquel se encontró en la forma sólida como carbonatos de níquel (Taylor *et al.*, 1995). Monitoreos del níquel durante 10 años, agregando 24 veces la dosis de lodo, solamente incrementó la porción móvil en 4.1 (Hargitai, 1990), lo que indica que no existe una relación directa entre el níquel total adsorbido y disponible. Resultados de otras investigaciones indicaron que sólo el 10% (Lake *et al.*, 1984) y menor del 1% del níquel total está disponible (Taylor *et al.*, 1995); mientras que los resultados obtenidos en este experimento indicaron que en promedio 4.4% del níquel total está en forma disponible.

**Cadmio Total Adsorbido.** Los resultados obtenidos en todos los tratamientos se encontraron por debajo del límite de detección del equipo (Cuadro 2.2), indicando que la concentración de cadmio en el lodo y la dosis aplicada son seguros para los cultivos

agrícolas. Sin embargo, debido a que se han reportado casos donde los niveles se encontraron por encima del límite de tolerancia (Mashhady, 1984; Adams y Sanders, 1984), es necesario conocer la calidad del lodo y no sobrepasar la dosis recomendada.

**Cadmio Disponible.** Al igual que el cadmio total adsorbido, el cadmio disponible se encontró por debajo del límite de detección del equipo indicando que el lodo en las dosis utilizadas es seguro para cultivos agrícolas en suelos calcáreos de Nuevo León (Cuadro 2.2). Se ha reportado que con incrementos de 24 veces la dosis del lodo durante 10 años se incrementó el cadmio móvil en 12.1 veces (Hargitai, 1990) y que el resto se encontró en forma de carbonatos de cadmio en la fase sólida no disponible para la absorción por las raíces (Taylor *et al.*, 1995). El cadmio es el elemento más estudiado debido a que tiene la característica de ser tóxico a animales a

niveles **no** fitotóxicos, el caso típico es la enfermedad itai-itai provocada por consumos de arroz contaminado con cadmio sin presentar fitotoxicidad (Outwater, 1994). En este caso no fue posible calcular el porcentaje de cadmio disponible con respecto al total, debido a que los niveles encontrados están por debajo del límite de detección del equipo.

**Cromo Total Adsorbido.** Los resultados mostraron ligeros incrementos con la aplicación de lodo, pero en todos los casos por debajo del límite de tolerancia (Cuadro 2.2). Los resultados difieren con la literatura revisada, la cual indica que los fertilizantes principalmente los fosforados contienen mayor cantidad de cromo, comparado con lodo. El consejo nacional de investigación de Canadá reportó que los fertilizantes fosforados contienen de 30 hasta 3,000 mg kg<sup>-1</sup> de cromo comparado con el estiércol con rangos de 6 a 56 mg kg<sup>-1</sup> (Alloway, 1992). Otros estudios que indican incrementos en cromo se han encontrado con aplicaciones de lodo en dosis de 32 t ha<sup>-1</sup> (Kirkam, 1983) y de 40 a 80 t ha<sup>-1</sup> (Haroon y Ramulu, 1990) pero dentro de los límites de tolerancia. Sin embargo, se han reportados estudios donde los límites exceden la tolerancia (Diez, 1982).

## CONCLUSIONES

1. Se obtuvo una mayor altura de plantas de maíz con la aplicación de lodo líquido con una dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$ .
2. Aplicando  $8 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo en forma líquida o deshidratada se obtuvo el mayor rendimiento de grano.
3. No se encontró diferencia significativa en el rendimiento de grano entre el fertilizante y el testigo.
4. Se encontraron niveles superiores de zinc total adsorbido y disponible en el suelo con la aplicación de lodo deshidratado en dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$ .
5. Las concentraciones de cobre y zinc disponibles en el suelo, para las plantas se incrementaron con la aplicación de lodo, incrementando la fertilidad del suelo en cuanto a estos elementos.
6. La concentración de metales pesados totales adsorbidos (cobre, zinc, plomo, níquel, cadmio y cromo) y disponibles (cobre, zinc, plomo, níquel y cadmio) en el suelo se encontraron por debajo del límite de tolerancia.
7. La hipótesis planteada se cumple debido a que se incrementa el rendimiento del cultivo sin incrementar los niveles de los metales pesados en el suelo.

## BIBLIOGRAFIA

Adams, T.McM. and J.R. Sanders. 1984. The forms of zinc, copper and nickel in sludge treated soils and their relation to the composition of the soil solution.

Environmental Contamination. 400-405; 6 ref. Edinburg, U.K.:

Alloway, B.J. 1992. Heavy metals in soil. John Wiley and Sons, Inc. New York, U.S.A.

Darren, L.B.; H.S. Dobermann; D.H. Sander and K.G. Cassman. 2001. Potential benefits of land applying lodo in eastern Nebraska. 16<sup>th</sup> Annual Residual and Biosolids Management Conference. San Diego, USA.

Diagnostic Soil Test. Sin Año. Standard test method for diagnostic soil test for plant

growth and food chain protection. ASTM Designation: D 5435-93. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 14.02 American Society for Testing and Materials. 1916 Race St. Phila. PA, 19103.

Diez, T. 1982. Improvement and contamination of soils by very high levels of sewage sludge near a big city and possibilities for their future use and amelioration. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. 33, 159-169; 12 ref.

EPA Method 3050/3051. 1986. Test methods for evaluating solid waste. Volume IA: 3<sup>rd</sup> Edition. EPA/SW-846. National technical information service. Springfield, Va.

Fresquez,-PR; R. Aguilar; R.E. Francis and E.F. Aldon. 1991. Heavy metal uptake by blue grama growing in a degraded semiarid soil applied with sewage sludge. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Albuquerque, NM 87106, USA. Water,-Air,-and-Soil-Pollution. 1991, 57-58, 903-912; 25 ref.

Gasiunas, V; J. Fkeckenstein and E. Schug. 1995. Effect of sewage sludge applications on heavy metal concentrations of Lithuanian soils. Landbauforschung Volkenrode. 45: 1, 1-3; 4 ref.

Hargitai, L. 1990. The mobility of toxic heavy metals as affected by the environment protectional capacity of soils. Transtactions 14<sup>th</sup> International Congress of Soil Science, Kyoto, Japan. Volume II, 102-107; 3 ref.

Haroon, A.R.M. and U.S. Ramulu. 1990. Trace behaviour of certain vegetables to trace metal additions through application of high rates of sewage sludge to soils. Volume IV. 1990, 192-197; 5 ref. Kyoto, Japan; International society of Soil Science.

Hinesly, T.D. and K.E. Redborg. 1984. Long term use of sewage sludge on agricultural and disturbed lands. NTIS Bulletin, PB 84-224427, 83 pp.; 11 ref. Cincinnati, Ohio, USA.

Kazemi, A. 1984. Accumulation and mobility of lead, cadmium and zinc in the soil with the application of composted municipal wastes. Zeitschrift fur Kulturtechnik und Flurbereinigung. 25: 3, 181-187; 11 ref.

Kiernec, G:L; D.D. Hemphill; M. Hickey; T.L. Jackson and V.V. Volk. 1990. Sweet corn yield and tissue metal concentration after seven years of sewage sludge applications. Journal of crop science. 3: 2, 232-237; 29 ref.

Kirkham, M.B. 1983. Elemental content of soil, sorghum and wheat on sludge injected agricultural land. *Agriculture, ecosystems and Environment*. 9: 3, 281-292; 25 ref.

Laboratory, Cicero, IL 60650, USA. *Water,-Air,-and-Soil-Pollution*. 1991, 57-58, 891-902; 12 ref.

Lake, D.L.; P.W. Kirk and J.N. Lester. 1984. Fractionation, Characterization, and speciation of heavy metals in sewage sludge and sludge amended soils. *Journal of Environmental Quality*. 13: 2, 175-183; 89 ref.

Logan, T and R.H. Miller. 1985. Effects of low application rates of digested sewage sludge on yield and elemental uptake of corn, soybeans and wheat. *Research Bulletin, Ohio Agricultural Research and Development Center*. No. 1167, 19 pp.; 6 ref.

Lynne, H.M.; E. Epstein and T. Logan. 2001. Comparing the characteristics, risks and benefits of soil amendments and fertilizers used in agriculture. 16<sup>th</sup> Annual Residual and Biosolids Management Conference. San Diego, USA.

Mashhady, A.S. 1984. Heavy metals extractable from a calcareous soil treated with sewage sludge. *Environmental Pollution, B*. 8: 1, 51-62; 23 ref.

Okamoto, T.; M. Hirobe; K. Wachi and T. Matsuzaki. 1990 Changes in form, mobility and availability of some heavy metals in a soil with long-term applications of sewage sludge. Agricultural Research Institute of Kanagawa Prefecture, Hiratsuka, Japan. *Transactions 14th International Congress of Soil Science, Kyoto, Japan, August 1990, Volume IV*. 1990, 216-221; 4 ref.

O'Riordan, E.G; V.A. Dodd; G.A. Fleming and H. Tunney. 1994. Repeated applications of a metal rich sewage sludge to grassland 1. Effects on meta

levels in soil. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 33: 1, 41-51; 38 ref.

Outwater, A.B. 1994. Reuse of sludge and minor wastewater residuals. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida, U.S.A. pp 67-76.

Pietz, R.I.; J.R. Peterson; T.D. Hinesly; E.L. Zielger; K.E. Redborg and C. Lue-Hing. 1983. Sewage sludge application to calcareous strip-mine spoil: II. Effect on spoil and corn cadmium, copper, nickel, and zinc. *Journal of Environmental Quality*. 12: 4, 463-467; 26 ref.

Seaker, E.M. 1991. Zinc, copper, cadmium, and lead in minespoil, water, and plants from reclaimed mine land amended with sewage sludge. *Water, Air, and Soil Pollution*. 57-58, 849-859; 28 ref.

Seaker, E.M. and W.E. Sopper. 1984. Trace metal and nitrate-nitrogen concentrations in a mine spoil environment following reclamation with sewage sludge. *Environmental Contamination* 1984, 448-493; 9 ref. Edinburgh, UK.

Seedq, M.A.; S. Soliman and N. Salem. 1992. Movement and distribution of Fe, Mo, Zn and Cu in sandy soil as affected by the application of sewage sludge. *Egyptian Journal of Soil Science*. 32: 3, 319-330; 12 ref.

Sergiento, L.I.; N.A. Mosienko and V.P. Tyan. 1991. Content of heavy metals in ecosystems following use of sewage sludge as fertilizer. *Doklady Vsesoyuznoi Ordena Lenina I Ordena Trudovogo Krasnogo Znameni Akademii Sel Skokhozyaistvennykh Nauk im. V.I. Lenina*. No. 8, 56-58; 10 ref.

Sopper, W.E. 1993. **Municipal sludge use in land reclamation**. Lewis Publishers.

Washington, D.C. USA.

Taylor, R.W.; H. Xiu, A.A. Mehadi; J.W. Shuford and W. Tadesse. 1995.

**Fractionation of residual of cadmium, copper, nickel, lead, and zinc in previously sludge amended soil**. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 26: 13-14, 2193-2204; 18 ref.

Trindade, A.V.; C.A. Vildoso; L.M. Costa; R.C. Muchovej and J.F. Gallardo. 1993.

**Effect of sewage effluent on the content of heavy metals in soil, the growth and nutrition of maize**. Departamento de Microbiología, Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, Brazil. **El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación**. *Actas del 12 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, Salamanca, Sevilla (España) 19 a 26 de Septiembre de 1993. 1993, 1776-1783; 10 ref.

Turski, R. 1982. **Heavy metal contents in sites after fertilization with sewage sludge**.

*Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*. 33, 171-175; 3 ref., 2 fig.

U.S.E.P.A. 1995. **Land application of biosolids (Process Design Manual)**. Technomic

Publishing Co. Inc. Lancaster, Pennsylvania, U.S.A.

Yamaha, M.; T. Ebihara and K. Matsumura. 1985. **Influence on soil and crops of cumulative applications of sludge**. *Gunma Journal of Agricultural Research*,

A. No. 2 43-52; 15 ref.

### Capítulo 3

#### EFFECTO RESIDUAL DEL LODO EN EL CUARTO CICLO

#### DE SIEMBRA EN MAIZ (*Zea mays* L.)<sup>\*</sup>

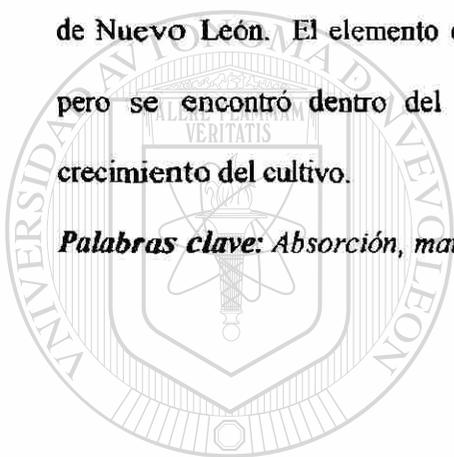
#### RESUMEN

El experimento se llevó a cabo en el Campo Experimental Dulces Nombres, localizado en la planta de tratamiento de agua residual que pertenece a Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D. en el municipio de Pesquería, N.L. El objetivo fue evaluar el efecto residual del lodo, después de cuatro ciclos de siembra en forma consecutiva de maíz y efectuando la comparación con fertilizante inorgánico. El diseño experimental fue un bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Las variables analizadas fueron altura de planta, rendimiento de forraje, rendimiento de grano y la concentración de cadmio, cobre, cobalto, níquel, plomo, zinc y molibdeno en el grano. Los resultados indicaron que el lodo deshidratado obtuvo la mayor altura de planta, todos los tratamientos con lodo y fertilizante inorgánico fueron similares entre sí y superiores al testigo en lo que respecta a rendimiento de forraje. El lodo deshidratado 8 t ha<sup>-1</sup> produjo el mayor rendimiento de grano aún después del cuarto ciclo de siembra con aplicación única de lodo. El lodo deshidratado 4 t ha<sup>-1</sup> y

<sup>\*</sup> Artículo para ser enviado a la revista Agrociencia

líquido  $8 \text{ t ha}^{-1}$  obtuvieron resultados similares al fertilizante inorgánico; sin embargo, el fertilizante se aplicó en cada ciclo de siembra de acuerdo con las necesidades del cultivo de maíz. Esto indica que el efecto residual benéfico del lodo perdura por más de cuatro ciclos de siembra. La concentración de todos los metales pesados en el grano se encontró por debajo del límite de tolerancia, lo que indica que la aplicación de lodo en las dosis utilizadas es segura para el cultivo de maíz en los suelos calcáreos del Estado de Nuevo León. El elemento que se incrementó con la aplicación del lodo fue el zinc, pero se encontró dentro del rango que se considera como esencial para un buen crecimiento del cultivo.

*Palabras clave:* Absorción, materia orgánica, metales pesados, pH.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

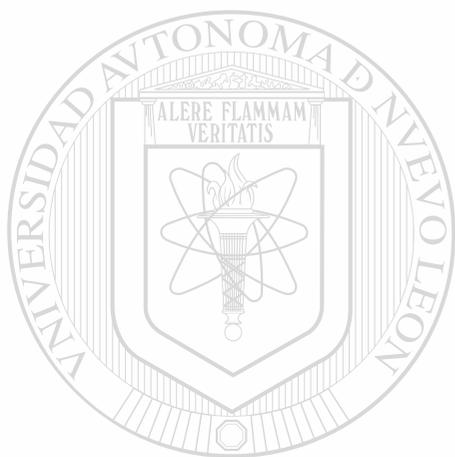
**RESIDUAL EFFECT OF SEWAGE SLUDGE IN THE FOURTH  
SOWING SEASON IN MAIZE (*Zea mays* L.)**

**SUMMARY**

This survey was conducted at the experimental station located at Dulces Nombres in the Wastewater treatment plant in the municipality of Pesqueria, N.L. The objective was to evaluate the residual effect of sewage sludge, after growing maize four consecutive seasons, in comparison with inorganic fertilization. The experimental design was a random block design with five treatments and four replicates. The variables analyzed were plant height, forage yield, grain yield and cadmium, copper, cobalt, nickel, lead, zinc and molibdenum concentration in grain. The results indicated that dewatered sewage sludge produced the tallest plants and that all sewage sludge treatments and the inorganic fertilizer produced similar effects, but superior to the negative, regarding forage yield. A single application of dewatered sewage sludge  $8 \text{ t ha}^{-1}$  produced the highest grain yield even after four sowing seasons with maize. The dewatered sewage sludge  $4 \text{ t ha}^{-1}$  and liquid sewage sludge  $8 \text{ t ha}^{-1}$  had similar effects in comparison to inorganic fertilizer even though fertilizer was applied every season according to crop requirements. These results indicate the beneficial residual effect of sewage sludge is at least four sowing season. All heavy metal concentration in grains were below tolerance limits, which indicates that amendment of sewage sludge in the

dosage applied is safe for maize production. The element that increased with the application of sewage sludge was zinc, but was in the range were it is considered as essential for a good crop growth.

*Index words: Absorción, heavy metals, organic matter, pH*



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## INTRODUCCIÓN

La agricultura se ha venido practicando por miles de años con diferentes sistemas de producción; sin embargo, sólo algunas culturas han podido mantener el suelo fértil, mientras que otras en unas cuantas décadas o centenares de años han tenido que abandonar el suelo debido a que el deterioro es tan drástico que se torna incosteable la producción de cultivos. Este deterioro del suelo puede deberse a varios factores, entre los que se encuentran: salinidad, erosión, lixiviación de nutrientes y falta de materia orgánica. Las culturas que disponen de grandes superficies de tierras, normalmente manejan el suelo en forma inadecuada; en cambio, las culturas orientales que tienen poco territorio por habitante, la conservación del suelo fértil es de primordial importancia. Por ejemplo, en Japón la sustentabilidad se ha mantenido principalmente debido a la aplicación de estiércol animal o humano mejorando con esto las características físico-químicas del suelo y agregando nutrientes en forma de lenta liberación (Lynne *et al.*, 2001; Outwater, 1994). En contraste, los países occidentales han preferido la fertilización inorgánica, la cual ha tenido gran éxito a corto plazo, debido a que es más económica y de fácil aplicación, sin embargo, a largo plazo tiene efectos negativos. Otro problema asociado al uso de fertilizantes inorgánicos es la fijación de nutrientes al suelo vía adsorción y precipitación, lo cual es común en suelos calcáreos; en cambio, cuando el pH del suelo es bajo, normalmente ocurre lixiviación de los nutrientes con riesgo de contaminar acuíferos (Outwater, 1994; Sopper, 1993).

El lodo, un subproducto del tratamiento del agua residual, es un material similar al estiércol animal que se ha utilizado desde inicios de 1900, debido a que posee cualidades benéficas para el suelo por su alto contenido de materia orgánica y nutrientes esenciales para cultivos agrícolas. Elementos tales como fósforo y zinc, cuyas deficiencias son frecuentes en suelos con pH alto, se han corregido con la aplicación de lodo, repercutiendo favorablemente en el rendimiento, con resultados similares o mejores que el uso de fertilizante inorgánicos (Lynee *et al.*, 2001); en otro estudio se encontró que el zinc, hierro, manganeso y cobre estuvieron en niveles deficientes en suelos sembrados por décadas y estas deficiencias fueron subsanadas adecuadamente con la aplicación de lodo (Fresquez *et al.*, 1991; Outwater, 1994). Además, el lodo posee la característica de liberar lentamente sus nutrientes, por lo que existe un efecto residual que se ha reportado de hasta cinco ciclos con aplicación única. Existen evidencias que indican que con la aplicación del lodo se incrementa la cantidad

---

de microflora en el suelo por lo que la descomposición de la materia orgánica y los ciclos de los nutrientes en donde intervienen microorganismos son más eficiente, lo que repercute en mayor cantidad de nutrientes disponibles para las plantas (USEPA, 1995; Outwater, 1994; Fresquez *et al.*, 1991)

El uso de lodo en el cultivo de maíz trae consigo incrementos en el rendimiento por ejemplo, con dosis de 12, 35 y 50 t ha<sup>-1</sup> de lodo por 14 años consecutivos se incrementó el rendimiento en maíz comparado con el testigo, se observó que en los últimos años el rendimiento fue superior comparado con los primeros, otros han encontrado incrementos en el rendimiento de maíz de 2.66 t ha<sup>-1</sup> con aplicaciones de 56 t ha<sup>-1</sup> de lodo y con dosis de 22 hasta 45 t ha<sup>-1</sup> se menciona que se incrementó el rendimiento de sorgo y maíz (Sopper, 1993); utilizando dosis de 0, 224 y 448 t ha<sup>-1</sup> se

tuvo un gran impacto en el rendimiento de maíz, comportándose directamente proporcional a la dosis aplicada de lodo, los rendimientos obtenidos fueron 1.07, 3.04 y 4.99 t ha<sup>-1</sup> de grano, respectivamente (Hinesly y Redborg, 1984); otro estudio donde se comparó sulfato de amonio en dosis de 0, 111, 222 y 333 kg N ha<sup>-1</sup> y lodo con 222 y 444 N ha<sup>-1</sup> anuales aplicado por un periodo de 7 años, se encontró que 6 de cada 9 tratamientos con lodo superaron al fertilizante inorgánico con dosis de 222 kg N ha<sup>-1</sup> (Kiemnec *et al.*, 1990; Outwater, 1994; Logan y Miller, 1985); En Nebraska, donde el 90% del lodo producido se aplica en agricultura, se comparó de 0 hasta 222 kg N ha<sup>-1</sup> en rangos de 44 kg, contra dosis de 0, 27, 54 y 108 t ha<sup>-1</sup> de lodo. Los resultados indicaron que 69 t ha<sup>-1</sup> de lodo fue la dosis óptima para maíz de riego equivalente a 527 kg N orgánico ha<sup>-1</sup>. Requiriendo 167 kg de nitrógeno con fertilizante inorgánico por ciclo en cuatro años para obtener resultados similares, los incrementos obtenidos en grano fueron de 3,825 a 7,923 t ha<sup>-1</sup>, obteniéndose en promedio un incremento de 33, 21, 14 y 9% en el primero, segundo, tercero y cuarto año respectivamente después de la aplicación del lodo. Del 80% del nitrógeno total en forma orgánica, se liberó el 40%, 20%, 10% y 5% del nitrógeno el primero, segundo, tercero y cuarto año, respectivamente (Darren *et al.*, 2001); en otras investigaciones se han encontrado incrementos en rendimiento de frijol, soya y forraje de maíz con dosis desde 15 hasta 120 t ha<sup>-1</sup> de lodo (Sopper, 1993); Fresquez *et al.* (1991), con aplicaciones de 22 a 45 t ha<sup>-1</sup> de lodo, indican que se mantienen los niveles de nutrimentos más favorables en la producción de forraje en pastos en zonas áridas con incrementos de hasta 2 y 3 veces comparado con el testigo; comparando dosis de 20 t ha<sup>-1</sup> de lodo contra 25 t ha<sup>-1</sup> de estiércol se observó que todos los índices de crecimiento y valor nutritivo del forraje de

maíz fueron superiores con el uso de lodo (Sergiento *et al.*, 1991; Outwater, 1994; Trinidad *et al.*, 1993).

El uso de lodo en ocasiones ha sido cuestionado por la presencia de metales pesados, debido a que pueden ser absorbidos por las plantas y sufrir efectos negativos o ser vías para una posible toxicidad en el humano o animales. Estudios indican que se deben cumplir ciertos requisitos para que el uso del lodo sea seguro, de los cuales resalta la calidad, dosis de lodo y pH del suelo. Existen regulaciones que establecen los límites de tolerancia con respecto a metales pesados para evitar toxicidad, al mismo tiempo denota que el pH del suelo debe ser superior a 6.5 para evitar que los metales pesados se encuentren disponibles. (Sopper, 1993; USEPA; 1995; Trinidad *et al.*, 1993). La bioacumulación de metales pesados por encima del límite de tolerancia es la principal limitante del uso de los lodo, por ejemplo, se ha encontrado que con aplicaciones de 11 y 13 t ha<sup>-1</sup> de lodo en maíz incrementó el fósforo, cadmio y zinc total; cadmio y zinc extraíbles, con la ventaja de que en ningún caso sobrepasó el límite de tolerancia; en cambio con dosis de 5.5 y 6.5 t ha<sup>-1</sup> no se presentó este incremento (Logan y Miller, 1985; Hinesly *et al.*, 1984); otros investigadores encontraron una reducción en hierro y manganeso en grano de maíz con aplicaciones de lodo, ligeros incrementos en cobre y níquel e incrementos mayores en cadmio y zinc (Hinesly y Redborg, 1984; Juste y Solda, 1986; Fresquez *et al.*, 1991); Trinidades *et al.*, (1993), encontraron mayor concentración de zinc, cobre y manganeso, sin presentarse fitotoxicidad; en un estudio similar se encontró que todos los metales incrementaron su nivel con excepción del hierro, pero por debajo del límite de toxicidad (Tsadillas *et al.*, 1995; Sauerbeck, 1991; Darren *et al.*, 2001; Investigaciones en maíz han demostrado que el comportamiento no concuerda con la predicción de la bioacumulación de cadmio, cobre y zinc en hojas y

granos de maíz debido a que no se presentó fitotoxicidad con cargas de 3, 13, 16 y 28 veces más altas comparado con el valor indicado por el modelo USEPA y denota la importancia del pH del suelo en la absorción de metales pesados por las plantas (Granato *et al.*, 1991). Sin embargo, se ha observado fitotoxicidad en maíz cuando se aplicó lodo con altas concentraciones de cadmio y dosis de  $100 \text{ t ha}^{-1}$  en suelos ácidos afectando el rendimiento (Juste y Solda, 1986; Pites *et al.*, 1983). Los contenidos de cadmio, zinc y níquel son influenciados por el pH, pero no el cobre, plomo y cromo (Sauderbeck, 1994).

El uso del lodo cuando se aplica en forma correcta es seguro para la agricultura y se obtienen beneficios al incrementar el rendimiento, además mejora las características físico-químicas del suelo tales como capacidad de intercambio catiónico, retención de humedad, disponibilidad de nutrientes y contenido de materia orgánica (Outwater, 1994; Sopper, 1993).

---

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto residual del lodo en los parámetros de altura de planta, rendimiento y concentración de metales pesados en grano de maíz.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la estación experimental localizada en la planta de tratamiento de agua residual Dulces Nombres ubicada en el municipio de Pesquería en la entidad de Nuevo León, México, con coordenadas geográficas de 25° 47" de latitud norte y 100° 02" de longitud oeste. El suelo donde se desarrolló el experimento es calcáreo con textura franco-arcillosa con un pH de 7.8.

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones; el arreglo de las parcelas en el experimento se estableció el año 1998, en donde se evaluó el efecto residual del lodo durante cuatro ciclos de siembra en maíz. Los tratamientos consistieron en:

1. Testigo: (sin aplicación)
2. Fertilizante inorgánico: Se efectuó una fertilización de presembrado (1 de febrero del 2000) con una dosis de 60-40-00 y la segunda al inicio de floración con dosis de 60-00-00.
3. Lodo deshidratado en dosis de 4 t ha<sup>-1</sup> base seca: Se aplicó el 12 de Agosto de 1998.
4. Lodo deshidratado en dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> base seca: Se aplicó el 12 de Agosto de 1998.
5. Lodo líquido en dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> base seca: Se aplicó el 12 de Agosto de 1998.

La fertilización inorgánica que se aplicó de acuerdo con la necesidad del cultivo de maíz en cada uno de los tres ciclos anteriores y presente. El lodo líquido utilizado procedió de digestores aerobios de la planta de tratamiento de agua residual Noreste con 3% de sólidos, su aplicación se efectuó utilizando una pipa esparciéndolo en la superficie del suelo e incorporando al siguiente día con el uso de una rastra. El lodo en forma deshidratada se obtuvo de la misma planta, después de haber pasado por filtros prensa, con un contenido de 20% de sólidos y se aplicó con una de estercoladora, incorporándolo mediante una rastra el mismo día.

La siembra se efectuó el 12 de Febrero de 2000 colocando dos semillas por punto del híbrido Pioneer 3025 W para posteriormente dejar una planta por punto. La unidad experimental fue de 5 camas de 1.80 m a doble hilera, con una distancia entre planta de 20 cm y longitud de camas de 7.0 m, utilizando las tres centrales como útiles.

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo de acuerdo al diseño experimental planteado utilizando el paquete estadístico "Diseños Experimentales FAUANL" (Olivares, 1994). La comparación de medias se efectuó por medio de la prueba diferencia mínima significativa (DMS) cuando se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ). Las variables analizadas fueron las siguientes:

**Altura de Planta.** Se obtuvo del promedio de diez plantas tomadas al azar de cada unidad experimental a los 38 días después de la siembra.

**Precocidad de Elote.** La cosecha de elote se obtuvo de la mitad de la unidad experimental, cuando el 80% del elote se encontraba en estado lechoso-mazoso.

**Rendimiento de Forraje.** Se evaluó el forraje obtenido en la mitad de la parcela útil al momento de realizar la cosecha de elote.

**Rendimiento de Grano.** El peso del grano se obtuvo de la segunda mitad de la unidad experimental. Después de la cosecha el grano se colocó en la estufa a 65° C por 24 hr. con el objetivo de homogenizar la humedad del grano.

Para la evaluación de metales pesados en el grano de maíz se obtuvo una muestra compuesta de grano de cada tratamiento producto de dos submuestras tomadas aleatoriamente de cada unidad experimental. Posteriormente el grano de maíz se colocó en la estufa a una temperatura de 65°C por espacio de 24 horas. De la muestra compuesta se envió a la Universidad Estatal de Pennsylvania una submuestra de 500 g. El envío del grano debió cumplir con las siguientes especificaciones: datos del remitente, grano seco, envase hermético, permiso de exportación donde indica que es producto de una investigación y que posterior a su análisis el laboratorio tiene la obligación de incinerarlo. En el laboratorio se realizó la digestión via microondas en un recipiente cerrado sometido a presión y temperatura utilizando ácido nítrico como agente oxidante (Miller, 1998), el análisis de los metales pesados se realizó a través del método Dry ash inductively coupled plasma atomic emission spectrometer (Dahlquist y Knoll, 1978), analizando los siguientes metales pesados: cobre, zinc, plomo, cadmio, cromo, molibdeno y níquel presentándose los resultados en mg de metal pesado por kilogramo de grano. Los datos de los metales pesados no se sometieron a un análisis estadístico debido a que se usaron únicamente muestras compuestas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

**Altura de Planta.** Los resultados mostraron diferencia significativa, donde el lodo deshidratado con dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$  obtuvo la mayor altura (Cuadro 3.1). Este resultado concuerda con otros estudios donde el efecto benéfico de lodo deshidratado se manifiesta en menor grado el primer ciclo pero a partir del segundo hasta el quinto ciclo los efectos son más notorios (Sergienko *et al.*, 1991; Outwater, 1994; Trinidad *et al.*, 1993; Fresquez *et al.*, 1991). Sin embargo, también se puede apreciar que tanto el lodo líquido  $8 \text{ t ha}^{-1}$  como el lodo deshidratado  $4 \text{ t ha}^{-1}$  fueron similares estadísticamente al fertilizante inorgánico, lo que indica que el uso del lodo tiene un efecto residual benéfico en la altura de planta de al menos cuatro ciclo de siembra. Además, se puede apreciar que el suelo donde se llevó a cabo el experimento requiere de nutrientes disponibles debido a que responde a la aplicación de fertilizante inorgánico o aplicación de lodo (Cuadro 3.1).

**Precocidad de Cosecha de Elote.** En el cuadro 3.1 a pesar de no efectuarse el análisis estadístico se observó mayor precocidad cuando se aplicó lodo deshidratado y fertilizante inorgánico, seguido por lodo líquido y testigo. El efecto en la precocidad ha sido reportado por varios autores (Outwater, 1994; Sopper, 1993), quienes indican que el lodo deshidratado tiene mayor efecto residual benéfico por lo que acelera el ciclo del cultivo. La precocidad de diez días inducida por la aplicación de lodo, comparada con la del testigo es importante principalmente para la producción de elote ya que generalmente las cosechas precoces tienen un valor monetario más alto en el mercado,

además, diez días de adelanto en la cosecha implican en ocasiones un menor costo de producción o escape a inclemencias del tiempo.

**Rendimiento de Forraje.** El mayor rendimiento se obtuvo aplicando lodo y fertilizante inorgánico comparado con el testigo (Cuadro 3.1). Es importante recalcar que aunque el fertilizante inorgánico obtuvo buen rendimiento de forraje no se agrega materia orgánica lo que implica que aceleramos el deterioro del suelo, mientras que con la aplicación del lodo se aportan nutrimentos y materia orgánica con el fin de mantener el suelo sustentable (Lynne *et al.*, 2001). Además, el fertilizante inorgánico se aplicó en cada uno de los ciclos en base a los requerimientos de cada cultivo, a diferencia de la aplicación del lodo que fue única y aún después de cuatro ciclos se observó su efecto benéfico en el rendimiento de forraje. Existen estudios que han encontrado incrementos en forraje con la aplicación de lodo en maíz (Outwater, 1994; Sergienko *et al.*, 1991) y otros encontraron los mismos resultados en forraje con pasto (Fresquez *et al.*, 1991;

Sopper, 1993). Cuando el objetivo de la siembra de maíz es doble propósito, el rendimiento del forraje es muy importante para los productores debido a que se obtienen mayores ganancias. Sin embargo, acelera el deterioro del suelo debido a que se extrae del suelo la mayor parte de la porción aérea, a diferencia de cuando solamente se cosecha el grano y se incorpora el resto de la planta incrementando la materia orgánica del suelo (Lynne *et al.*, 2001).

**Rendimiento de Grano.** En relación a esta variable (Cuadro 3.1) la aplicación del lodo deshidratado  $8 \text{ t ha}^{-1}$  superó al lodo deshidratado  $4 \text{ ton ha}^{-1}$ , lodo líquido  $8 \text{ ton ha}^{-1}$  y fertilizante inorgánico con similitud estadística, lo que indica que el efecto residual aún después de cuatro ciclos es mejor que la fertilización inorgánica. Este resultado fue el esperado ya que la literatura (Hinesly y Redborg, 1984; Kiemnec *et al.*,

1990; Darren *et al.*, 2001; Lynne *et al.*, 2001) menciona que el efecto residual del lodo es de hasta cinco ciclos con una sola aplicación de lodo. El rendimiento de grano es la variable más importante en este experimento debido a que refleja el ingreso del productor y en base a los resultados obtenidos es recomendable realizar un estudio económico para ver la factibilidad del uso del lodo debido a que tanto el transporte como la aplicación tienen un mayor costo que la aplicación de fertilizante inorgánico, sin embargo, si se acumula el costo del fertilizante de cinco ciclos de siembra y se compara con una sola aplicación de lodo probablemente el costo sea menor con la aplicación del lodo, principalmente deshidratado. El rendimiento del testigo está muy por debajo del resto de los tratamientos lo que indica que el suelo es pobre debido a que responde favorablemente con los tratamientos del experimento, por lo tanto, se recomienda utilizar fertilizante inorgánico o lodo para incrementar los rendimientos de grano de maíz en la región en donde se realizó el estudio.

#### **Metales Pesados en Grano.**

**Cadmio:** No se encontró diferencia entre los tratamientos respecto a concentración de cadmio en grano de maíz y los valores están por debajo del límite de tolerancia (Cuadro 3.2), incluso por debajo del límite de detección del equipo. Estudios con similares resultados se han encontrado con dosis de 5 a 6 t ha<sup>-1</sup> (Logan y Miller, 1985) y 22 a 45 t ha<sup>-1</sup> con ligeros incrementos (Fresquez *et al.*, 1991), otros han reportado incrementos mayores de cadmio con dosis de 11 a 13 t ha<sup>-1</sup> (Logan y Miller, 1985); 27 a 108 t ha<sup>-1</sup> (Darren *et al.*, 2001); 12 a 50 t ha<sup>-1</sup> (Hinesley y Redborg, 1984); 224 y 448 t ha<sup>-1</sup> (Sopper, 1993). En todos los casos la concentración se encontró por debajo del límite de tolerancia de los cultivos agrícolas. Sin embargo, otros han reportado niveles por encima del límite de tolerancia con presencia de fitotoxicidad en

maíz cuando la carga del cadmio en el lodo es alta y suelo ácido (Pietz *et al.*, 1983), debido a que la absorción del cadmio por las raíces está inversamente relacionada con el pH del suelo (Sauerbeck, 1991).

Cuadro 3.1. Comparación de medias de variables analizadas del cuarto ciclo, en el cultivo de maíz, comparando el uso de lodo vs fertilización inorgánica y testigo.

Tratamiento	Altura Planta (cm)	Cosecha elote (días)	Rendimiento forraje (kg)	Rendimiento grano (t ha <sup>-1</sup> )
Testigo	24.30 C	104	11 93 B	2 37 C
Fertilizante (120-40-00)	34.30 B	94	16 20 A	4 51 B
Lodo deshidratado 4 t ha <sup>-1</sup>	36.45 AB	96	16,36 A	4 71 B
Lodo deshidratado 8 t ha <sup>-1</sup>	41.27 A	94	19 27 A	6 00 A
Lodo líquido 8 t ha <sup>-1</sup>	35.37 B	100	17 55 A	4 48 B
D.M.S (0.05)	5.48		3.72	1 23

**Cobre:** Los valores obtenidos son iguales entre los tratamientos y al igual que el cadmio se encontraron por debajo del límite de tolerancia (Cuadro 3.2). Con dosis de

lodo de 5 y 6 t ha<sup>-1</sup> no se encontró incremento en la concentración de cobre en maíz (Logan y Miller, 1985), pero ligeros incrementos se encontraron con dosis de 20 t ha<sup>-1</sup> (Sergienko *et al.*, 1991); 27 a 108 t ha<sup>-1</sup> (Darren *et al.*, 2001), 35 a 50 t ha<sup>-1</sup> (Hinesley y Redborg, 1984); 100 t ha<sup>-1</sup> (Juste y Solda, 1986); 22 a 45 t ha<sup>-1</sup> (Fresquez *et al.*, 1991); 224 y 448 t ha<sup>-1</sup> (Hinesley y Rodberg, 1984). Todos los estudios anteriores denotan que la concentración del cobre en el grano de maíz se encontraron por debajo del límite de tolerancia. Sin embargo, se han encontrado concentraciones por encima del límite de tolerancia cuando se utiliza lodo en dosis mayores a 250 t ha<sup>-1</sup> y altas concentraciones de cobre y (Pietz *et al.*, 1983; Sopper, 1993). Además, se ha determinado que la absorción

del cobre no depende del pH del suelo (Sauerbeck, 1991) como normalmente sucede con la mayoría de los metales pesados (Sopper, 1993).

**Cobalto:** La concentración en grano se encontró por debajo del límite de tolerancia con valores incluso por debajo del límite de detección del equipo en todos los tratamientos (Cuadro 3.2). El interés principal de este elemento es su rol esencial en animales rumiantes y microorganismos fijadores de nitrógeno debido a que se requiere para la simbiosis con leguminosas (Alloway, 1992). Se midió la absorción del cobalto en maíz y pasto bromegrass durante varios años en tres campos agrícolas en los cuales se comparó lodo vs. nitrato de amonio, se encontró que había poco efecto en la concentración del cobalto en ambos cultivos (Soon y Bates, 1985) y se debe a que el cobalto se encuentra en forma insoluble como carbonatos, óxido e hidróxidos, por lo tanto en suelos alcalinos es inmóvil. A diferencia en suelo ácido ocurre lo contrario ocasionando una disolución y lixiviado, por lo tanto existen mayores concentraciones de cobalto disponible en suelos alcalinos que en suelos ácidos (Alloway, 1992).

**Molibdeno:** La concentración fue ligeramente superior, con la aplicación de lodo deshidratado  $8 \text{ t ha}^{-1}$ , seguido por lodo líquido y fertilizante inorgánico con valores iguales. El testigo y lodo deshidratado  $4 \text{ t ha}^{-1}$  obtuvieron los valores más bajos (Cuadro 3.2). Otros estudios han encontrado ligeros incrementos en la absorción de molibdeno en maíz y pasto bromegrass con la aplicación de lodo comparado con fertilizante inorgánico y se observó un mayor incremento en la absorción con la aplicación de lodo con elevado pH (Soon y Bates, 1985). Otros investigadores concuerdan y mencionan que la absorción del molibdeno es directamente proporcional al pH del suelo (Sauerbeck, 1991) y que es de los pocos nutrimentos vegetales en forma de anión, asociado principalmente con óxidos de aluminio y fierro con una interacción de

antagonismo y sinergismo significativa con otros elementos del suelo. El molibdeno tiene un papel esencial en el metabolismo del nitrógeno en las plantas y altas concentraciones causan molibdenosis una deficiencia de cobre en ganado (Alloway, 1992).

**Níquel:** Se observó diferencia ligera entre los tratamientos, obteniendo valores más altos cuando se agregó lodo líquido y deshidratado en dosis de 8 t ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, todos los tratamientos se encontraron por debajo del límite de tolerancia (Cuadro 3.2). Se ha encontrado que con dosis de 12 a 50 t ha<sup>-1</sup> (Hinesley y Redborg, 1984), 27 a 108 t ha<sup>-1</sup> (Darren *et al.*, 2001) y 224 a 448 t ha<sup>-1</sup> (Sopper, 1993) se presentó un ligero ascenso en la concentración de níquel, lo que concuerda con los resultados obtenidos en este experimento, pero en ningún caso indica que el incremento haya sido significativo y todos los casos se reportaron por debajo del límite de tolerancia. Se ha determinado que la absorción del níquel está influenciado por el pH del suelo y se encuentra inversamente proporcional al pH del suelo (Sauerbeck, 1991), lo que explica la baja absorción de este material por la planta en este trabajo de investigación debido a pH alcalinos con valores cerca de 7.8.

**Plomo:** Se observó que la concentración se encontró por debajo del límite de detección del equipo en todos los tratamientos (Cuadro 3.2), resultados similares se han encontrado en maíz con dosis de 11 a 13 t ha<sup>-1</sup> (Logan y Miller, 1985), 224 a 448 t ha<sup>-1</sup> (Sopper, 1993), y en pastos con dosis de 22 y 45 t ha<sup>-1</sup> (Fresquez *et al.*, 1991), Otros investigadores encontraron ligeros aumentos con dosis de 27 a 108 t ha<sup>-1</sup>, pero dentro de los límites de tolerancia (Darren *et al.*, 2001). Se ha determinado que la absorción del níquel no se encuentra influenciado por el pH del suelo (Sauerbeck, 1991). Estudios con lodo indican que la absorción del plomo por las raíces rara vez ocurre, pero que debe

tenerse cuidado debido a que la acumulación de altas concentraciones en el suelo afecta la actividad microbiana del suelo y como consecuencia afecta la degradación de la materia orgánica (Sopper, 1993).

**Zinc:** Las concentraciones fueron superiores con lodo deshidratado  $8 \text{ t ha}^{-1}$ , seguido por lodo líquido  $8 \text{ t ha}^{-1}$ , sin embargo, ambos tratamientos se encontraron por debajo del límite de tolerancia para cultivos agrícolas (Cuadro 3.2). Similares resultados se han encontrado con dosis de  $11$  a  $13 \text{ t ha}^{-1}$  (Logan y Miller, 1985);  $12$  a  $50 \text{ t ha}^{-1}$  (Hinesly y Redborg, 1984);  $100 \text{ t ha}^{-1}$  (Juste y Solda, 1986),  $222$  a  $444 \text{ N acre}^{-1}$  (Kiemec *et al.*, 1990),  $224$  y  $448 \text{ t ha}^{-1}$  (Sopper, 1993),  $20 \text{ t ha}^{-1}$  (Sergienko *et al.*, 1991),  $27$  a  $108 \text{ t ha}^{-1}$  (Darren *et al.*, 2001) y  $22$  a  $45 \text{ t ha}^{-1}$ , observando incremento directo con la dosis aplicada, con niveles favorables de zinc para un buen crecimiento y producción de forraje (Fresquez *et al.*, 1991). En todos los casos el nivel del zinc se encontró por debajo del límite de tolerancia para cultivos agrícolas (Sopper, 1993). Los

resultados obtenidos de concentraciones dentro de los límites de tolerancia de zinc en grano de maíz concuerda con lo esperado, debido a que las dosis aplicadas son las recomendadas, el pH del suelo es alto por lo que la absorción por las raíces es baja (Sauerbeck, 1991), e incluso se ha reportado que aún y que la absorción del zinc se efectuó, la mayor parte se deposita en el follaje seguido por el tallo, raíz y grano respectivamente.

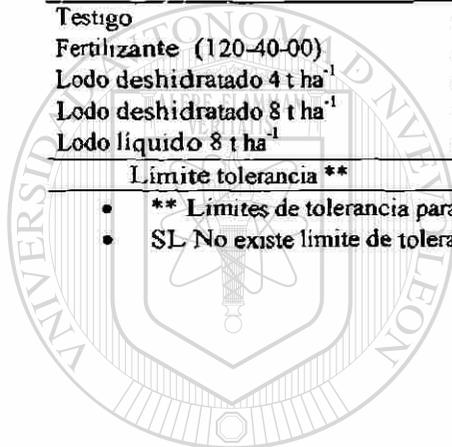
Con la dosis aplicada, el uso del lodo en ningún caso sobrepasó los límites de tolerancia para ningún metal pesado, lo que indica que su uso en el cultivo de maíz es seguro y que con la aplicación de lodo deshidratado  $8 \text{ t ha}^{-1}$  se incrementó el rendimiento aún en el cuarto ciclo de siembra con aplicación única, comparado con el uso de fertilizante inorgánico y testigo. Los factores que deben considerarse al momento de

realizar la aplicación son; calidad y cantidad de lodo, pH del suelo, cantidad de metales pesados presentes en el suelo antes de la aplicación y necesidades de nutrientes de los cultivos a sembrar, con el fin de obtener el máximo provecho del lodo sin afectar la calidad de grano.

Cuadro 3.2. Comparación de la concentración de metales pesados en testigo, fertilización inorgánica, lodo líquido y deshidratado en granos de maíz ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Tratamiento	Cadmio	Cobre	Cobalto	Niquel	Plomo	Zinc	Molibdeno
Testigo	$\leq 0.04$	2	$\leq 0.04$	0.13	$< 0.25$	25	0.59
Fertilizante (120-40-00)	$\leq 0.04$	2	$\leq 0.04$	0.18	$< 0.25$	26	0.77
Lodo deshidratado 4 t ha <sup>-1</sup>	$\leq 0.04$	2	$\leq 0.04$	0.18	$< 0.25$	24	0.61
Lodo deshidratado 8 t ha <sup>-1</sup>	$< 0.04$	2	$< 0.04$	0.28	$\leq 0.25$	46	0.95
Lodo líquido 8 t ha <sup>-1</sup>	$\leq 0.04$	2	$\leq 0.04$	0.22	$\leq 0.25$	33	0.77
Límite tolerancia **	3	150	SL	50.00	10	300	SL

- \*\* Límites de tolerancia para cultivos agrícolas (Sopper, 1993)
- SL No existe límite de tolerancia.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## CONCLUSIONES

1.- Se encontró efecto residual benéfico en la aplicación de lodo después del cuatro ciclos de siembra.

2.- El mayor rendimiento de grano se obtuvo con lodo deshidratado  $8 \text{ t ha}^{-1}$

3.- El comportamiento del rendimiento en forraje fue similar entre todos los tratamientos con lodo y fertilizante inorgánico, pero superiores al testigo.

4.- Se considera que el suelo es bajo en nutrimentos debido a que responde a aplicaciones de fertilizante inorgánico y lodo.

5.- La concentración de zinc fue superior cuando se aplicó lodo deshidratado en dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$ .

6.- Las concentraciones de metales pesados en grano se encontraron por debajo del límite de tolerancia para cultivos agrícolas.

7.- Se cumple la hipótesis planteada debido a que el rendimiento se incrementó y sin alterar los niveles de metales pesados en grano.

**BIBLIOGRAFIA**

Alloway, B.J. 1992. Heavy metals in soil. John Wiley and Sons, Inc. New York, U.S.A.

Dahlquist, R.L. and J.W. Knoll. 1978. Inductively coupled plasma atomic emission spectrometer: analysis of biological materials and major, trace and ultra-trace elements. *Applied Spectroscopy*. 32 (2): 1-29.

Darren, L.B.; H.S. Dobermann; D.H. Sander and K.G. Cassman. 2001. Potential benefits of land applying lodo in eastern Nebraska. 16<sup>th</sup> Annual Residual and Biosolids Management Conference. San Diego, USA.

Fresquez,-PR; R. Aguilar; R.E. Francis and E.F. Aldon. 1991. Heavy metal uptake by blue grama growing in a degraded semiarid soil amended with sewage sludge. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Albuquerque, NM 87106, USA. *Water Air and Soil Pollution*. 1991, 57-58, 903-912; 25 ref.

Granato,T.C.; G.R. Richardson; R.I. Pietz and C. Lue-Hing. 1991. Prediction of phytotoxicity and uptake of metals by models in proposed USEPA 40 CFR Part 503 sludge regulations: comparison with field data for corn and wheat. Metropolitan Water Reclamation District of Greater Chicago Research and Development Laboratory, Cicero, IL 60650, USA. *Water Air and Soil Pollution*. 1991, 57-58, 891-902; 12 ref.

Hinesly, T.D.; L.G. Hansen and D.J. Bray. 1984. Use of sewage sludge on agricultural and disturbed land. NTIS Bulletin, PB 84-224419, 250 pp. Cincinnati, Ohio, USA.

Hinesly, T.D. and K.E. Redborg. 1984. Long term use of sewage sludge on agricultural and disturbed lands. NTIS Bulletin, PB 84-224427, 83 pp.; 11 ref. Cincinnati, Ohio, USA.

Juste, C. and P. Solda. 1986. Heavy metal availability in long term experiments. Factors influencing sludge utilization practices in Europe. 13-23; 4 ref. Barking, Essex, UK; Elsevier Applied Science Publishers.

Kiemnec, G.L.; D.D. Hemphill; M. Hickey; T.L., Jackson; V.V., Volk. 1990. Sweet corn yield and tissue metal concentration after seven years of sewage sludge applications. Journal of crop science. 3: 2, 232-237; 29 ref.

Lynne, H.M.; E. Epstein and T. Logan. 2001. Comparing the characteristics, risks and benefits of soil amendments and fertilizers used in agriculture. 16<sup>th</sup> Annual Residual and Biosolids Management Conference. San Diego, USA.

Logan, T and R.H. Miller. 1985. Effects of low application rates of digested sewage sludge on yield and elemental uptake of corn, soybeans and wheat. Research Bulletin, Ohio Agricultural Research and Development Center. No. 1167, 19 pp.; 6 ref.

Miller, R.O. 1998. Microwave digestion of plant tissue in a closed vessel. In Y.P. Kaira (ed.) Handbook and Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, New York.

Outwater, A.B. 1994. Reuse of sludge and minor wastewater residuals. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida, U.S.A. pp 67-76.

Pietz, R.I.; J.R. Peterson; T.D. Hinesly; E.L. Zielger; K.E. Redborg and C. Lue-Hing.

1983. Sewage sludge application to calcareous strip-mine spoil: II. Effect on spoil and corn cadmium, copper, nickel, and zinc. *Journal of Environmental Quality*. 12: 4, 463-467; 26 ref.

Sauerbeck, D.R. 1991. Plant, element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge. Institute of Plant

Nutrition and Soil Science, German Federal Agricultural Research Centre, 3300 Braunschweig, Germany. *Water,-Air,-and-Soil-Pollution*. 1991, 57-58, 227-237; 11 ref.

Sergiento, L.I; N.A. Mosienko and V.P. Tyan. 1991. Content of heavy metals in ecosystems following use of sewage sludge as fertilizer. *Doklady Vsesoyuznoi Ordena Lenina I Ordena Trudovogo Krasnogo Znameni Akademii Sel Skokhozyaistvennykh Nauk im. V.I. Lenina*. No. 8, 56-58; 10

ref.

Soon, Y.K and T.E. Bates. 1985. Molybdenum, cobalt and boron uptake from sewage sludge amended soils. *Canadian Journal of Soil Science*. 65: 3, 507-517; 36 ref., 6 tab.

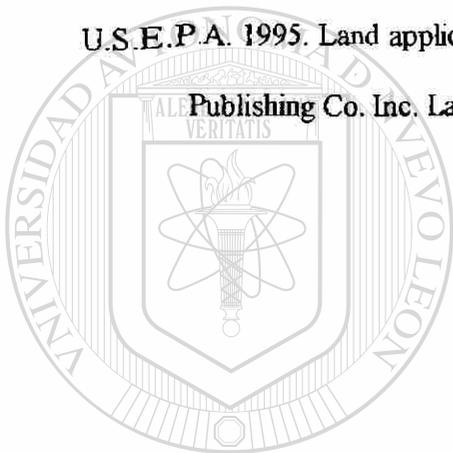
Sopper, W.E. 1993. *Municipal sludge use in land reclamation*. Lewis Publishers. Washington, D.C. USA.

Trindade, A.V.; C.A. Vildoso; L.M. Costa; R.C. Muchovej and J.F. Gallardo. 1993. Effect of sewage effluent on the content of heavy metals in soil, the growth and nutrition of maize. Departamento de Microbiología, Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, Brazil. El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación. *Actas del 12 Congreso Latinoamericano de la*

Ciencia del Suelo, Salamanca, Sevilla (España) 19 a 26 de Septiembre de 1993. 1993, 1776-1783; 10 ref.

Tsadilas, C.D.; T. Matsi; N. Barbayiannis and D. Dimoyiannis. 1995. Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fraction. *Communications in soil Science and Plant Analysis*. 26: 15-16, 2603-2619; 25 ref.

U.S.E.P.A. 1995. Land application of biosolids (Process Design Manual). Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster, Pennsylvania, U.S.A.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## Capítulo 4

### EFFECTO RESIDUAL DEL LODO EN TRIGO (*Triticum spp. L.*)<sup>\*</sup>

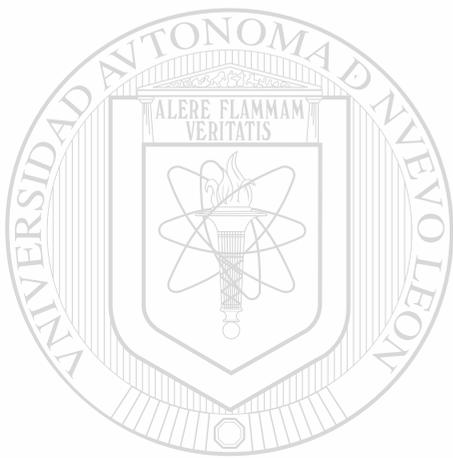
#### RESUMEN

La investigación se efectuó en el Campo Experimental de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey ubicado en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Dulces Nombres en el municipio de Pesquería, Nuevo León. Se estudió el efecto residual de la aplicación única de lodo en el rendimiento de trigo y las concentraciones de metales pesados en grano en el segundo ciclo de siembra donde se había establecido un experimento con maíz previamente utilizando los mismos tratamientos que en el actual experimento. Los tratamientos consistieron en la aplicación de lodo en forma líquida (8 t ha<sup>-1</sup>) y deshidratada (4 y 8 t ha<sup>-1</sup>) aplicados en el ciclo anterior, fertilización inorgánica (113-70-00) y testigo en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los resultados indicaron que después de dos ciclos de siembra el rendimiento de grano fue similar entre fertilizante inorgánico, biosólido líquido (8 t ha<sup>-1</sup>) y deshidratado (8 t ha<sup>-1</sup>). Las concentraciones de metales pesados en el grano estuvieron por debajo del límite de tolerancia en todos los tratamientos, lo que indica que después de dos ciclos de siembra la absorción de metales pesados por las raíces fue

<sup>\*</sup> Para ser enviado a la revista Crop Research

mínima y por lo tanto segura para la producción de trigo con las dosis aplicadas de lodos.

*Palabras clave: Absorción, materia orgánica, metales pesados, lodo, trigo*



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## RESIDUAL EFFECT OF SEWAGE SLUDGE IN WHEAT (*Triticum spp. L.*)

### SUMMARY

The research was conducted at the Experimental Station of Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey located at the wastewater treatment plant in Dulces Nombres, Nuevo Leon, Mexico. The residual effect of sewage sludge amended was studied regarding yield and heavy metal concentration in wheat grain in the second sowing season where maize was grown previously. Treatments consisted of liquid sewage sludge (8 t ha<sup>-1</sup>) and dewatered sewage sludge (4 y 8 t ha<sup>-1</sup>), inorganic fertilizer (113-70-00) and negative, in a randomized complete block design with four replications. Results indicate

that residual effect of liquid and dewatered sewage sludge (8 t ha<sup>-1</sup>) were similar to inorganic fertilizer. Heavy metal concentration in wheat grain were below tolerance limit and similar between treatments, which indicates that heavy metal uptake by roots was minimum and therefore, safe for wheat production with the sewage sludge dosage used.

**Index words:** *Absorción, heavy metals, organic matter, sewage sludge, wheat*

## INTRODUCCIÓN

La práctica de la agricultura de cultivos básicos como el trigo, se ha efectuado por miles de años debido a que este cultivo ha sido fundamental en la alimentación de muchas culturas por su gran valor alimenticio y relativa facilidad de producción. Sin embargo, algunas civilizaciones han fracasado debido a los inadecuados sistemas de producción y mal manejo del suelo, ocasionando que los suelos sufran deterioro debido al empobrecimiento de los mismos y erosión severa por falta de aplicación de materia orgánica. En cambio, existen culturas orientales que poseen suelos cultivados por miles de años con poco o nulo deterioro debido a los sistemas de producción que incluyen la aplicación de materia orgánica a través de estiércol de ganado ó humano, este último denominado tierra de noche (Outwater, 1993).

La práctica de la aplicación de desechos humanos a suelos agrícolas se ha llevado a cabo desde el mismo inicio de la agricultura; sin embargo, su aplicación extensiva es reciente, y data del inicio del tratamiento de aguas residuales en donde se obtiene un subproducto llamado lodo. Dicho lodo tiene cualidades similares al estiércol de ganado y puede utilizarse para mejorar suelos debido a su alto contenido de materia orgánica y elementos esenciales. En los Estados Unidos de América se utiliza aproximadamente el 60% de los lodos en cultivos básicos con buenos resultados en lo que respecta a rendimiento. Por ejemplo, en investigaciones realizadas en trigo de temporal por un período de 18 años consecutivos se ha encontrado que con la aplicación de lodos se

igual o incrementa el rendimiento comparado con fertilizante inorgánico en años de poca precipitación y se obtienen rendimientos superiores en años lluviosos (Dennis *et al.*, 2001

La aplicación de lodos tiene como limitante la concentración de metales pesados, principalmente cuando proceden de plantas de tratamiento de agua residual industrial. Sin embargo, debido a que la carga de metales pesados en el agua residual afecta directamente los procesos biológicos en el tratamiento, se han implementado programas de control de descargas disminuyendo la concentración de metales pesados garantizando que la calidad del lodo generado cumpla con la calidad para ser utilizado en agricultura (USEPA, 1995; Outwater, 1993). Algunos estudios realizados en cultivos básicos, hortalizas, árboles frutales, especies nativas y pastos en donde se ha aplicado lodo, han demostrado que los niveles de metales pesados se encontraron por debajo del límite de tolerancia; e incluso, en la mayor parte de los casos el plomo y cadmio se encontraron por debajo del límite de detección del equipo. Otros metales como el cobre y zinc se incrementaron ligeramente sin sobrepasar el límite de tolerancia, considerándose como esenciales en lugar de tóxicos en las concentraciones encontradas (Sopper, 1993; Fresquez *et al.*, 1991; Haroon y Ramulu, 1990; Shata *et al.*, 1990; Chang *et al.*, 1982; ). Investigaciones realizadas en Colorado, en donde se evaluó el lodo en forma líquida, deshidratada y composteado durante 16 años con dosis que van de 1 hasta 40 t ha<sup>-1</sup> en base seca aplicados cada dos años. La concentración de metales pesados en el suelo no sobrepasó los límites de tolerancia para cultivos agrícolas (Dennis *et al.*, 2001; Sopper, 1993).

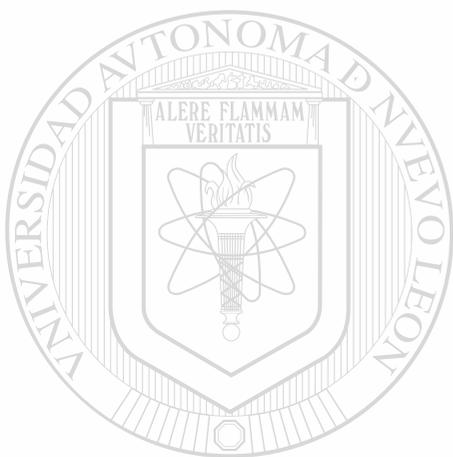
Se han reportado diferencias entre especies de plantas en la absorción de metales pesados; por ejemplo, normalmente las dicotiledóneas absorben mayor cantidad

comparadas con las monocotiledóneas. Además, existen diferencias de concentración dentro de la planta, la distribución de los metales pesados es mayor en hojas, seguido por tallo, raíz, fruto y semilla (Chang *et al.*, 1982; Vlamis *et al.*, 1985; Shata *et al.*, 1990; Sauerbeck, 1991). Sin embargo, existen investigaciones que indican, que cuando se aplica lodo cumpliendo las normas, la concentración de metales pesados en raíz, follaje, tallo y fruto está por debajo del límite de tolerancia para productos agrícolas (Sopper, 1993; Dennis *et al.*, 2001). En resumen, las condiciones de calidad y cantidad de lodo y el pH del suelo son de gran relevancia tanto en el rendimiento del cultivo como en la concentración de metales pesados en los cultivos (Trindade *et al.*, 1993; Okamoto *et al.*, 1990; Seaker, 1991).

Existen normas que regulan el uso del lodo con el fin de que la aplicación a terrenos agrícolas sea segura y evitar la contaminación de productos agrícolas y el ambiente. La norma de Estados Unidos de América y Mexicana son similares en lo

que respecta a metales pesados; pero los Estados Unidos de América le dan gran importancia al pH del suelo, debido a que es un factor que está inversamente relacionado con la solubilidad de los metales. Los suelos de la mayor parte del Norte de México son calcáreos, alcalinos, con poca materia orgánica; lo cual implica que una buena parte de los fertilizantes inorgánicos se pierdan por lixiviación y precipitación. Este fenómeno que no sucede en la misma proporción con el uso de lodos debido a que los nutrientes se liberan lentamente; además, debido al alto pH de los suelos, se espera que una porción de los metales pesados contenidos en los lodos reaccionen para formar compuestos insolubles y de esta forma evitar la absorción de metales pesados por los cultivos sea alta (USEPA, 1995; Lubben y Saurebeck, 1991; Granato *et al.*, 1991; Fresquez *et al.*, 1991; Dixon *et al.*, 1995; Preer *et al.*, 1995).

El objetivo de la presente investigación fue determinar si el efecto residual del fósforo después del segundo ciclo de siembra, donde previamente se sembró maíz, iguala o incrementa el rendimiento de trigo comparado con el fertilizante inorgánico y testigo, sin afectar la concentración de metales pesados en el grano.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Agua Residual localizada en Dulces Nombres propiedad de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey en el municipio de Pesquería, NL, con coordenadas geográficas de 25° 47" de latitud norte y 100° 02" de longitud oeste. El suelo donde se desarrolló el experimento es calcáreo con textura franco-arcillosa con un pH de 7.8.

El diseño experimental utilizado fue bloques completo al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Las unidades experimentales fueron parcelas de 9 x 24 m; la parcela útil consistió de 7 x 20 m en la porción central de la unidad experimental; los tratamientos consistieron en:

1. Testigo (sin aplicación)
2. Fertilizante inorgánico.- Sé efectuó una fertilización de presembrado con una dosis de 113-70-00.
3. Lodo deshidratado en dosis de 4 t ha<sup>-1</sup> base seca.- Se aplicó el 17 de Febrero de 1999.
4. Lodo deshidratado en dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> base seca.- Se aplicó el 17 de Febrero de 1999.
5. Lodo líquido en dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> base seca.- Se aplicó el 17 de Febrero de 1999.

La aplicación de lodo se realizó el primer ciclo de siembra donde se sembró maíz y la fertilización inorgánica se aplicó de acuerdo con las necesidades del cultivo en cada ciclo de siembra. El lodo líquido utilizado provenía de digestores anaerobios con 3% de

sólidos, su aplicación se efectuó utilizando una pipa sobre la superficie del suelo e incorporando al siguiente día con la rastra. El lodo en forma deshidratada se obtuvo después de haber pasado por filtros prensa con un contenido de 20% de sólidos aproximadamente y se aplicó a través de estercoladora incorporándolo también mediante una rastra. La siembra se efectuó el 16 de noviembre de 1999 y se llevó a cabo con sembradora mecánica.

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo de acuerdo al diseño experimental planteado utilizando el paquete estadístico "Diseños Experimentales FAUANL" (Olivares, 1994). La comparación de medias se efectuó por medio de la prueba diferencia mínima significativa (DMS) cuando se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ). Las variables analizadas fueron las siguientes:

**Altura de Planta.** Esta variable consistió en medir la altura de 10 plantas por cada unidad experimental a los 63 días después de la siembra, tomadas en forma

aleatoria. Para el análisis estadístico se consideró el promedio de las 10 plantas como observación en cada unidad experimental.

**Número de Hijuelos.** El número de hijuelos se evaluó en 10 plantas tomadas al azar de cada unidad experimental a los 63 días después de la siembra. Para el análisis estadístico se consideró el promedio de las 10 plantas como observación en cada unidad experimental.

**Rendimiento Forraje.** El rendimiento se obtuvo del peso total de forraje de la parcela útil.

**Rendimiento de Grano.** El rendimiento de grano se obtuvo del peso total de la parcela útil al momento de la cosecha, ésta se realizó con una trilladora manual.

**Metales Pesados en Grano.** Se obtuvo una muestra compuesta de grano de cada tratamiento producto de dos submuestras tomadas aleatoriamente de cada unidad experimental. De la muestra compuesta se envió a la Universidad Estatal de Pennsylvania una submuestra compuesta de 500 g. Los granos de trigo se colocaron en la estufa a una temperatura de 65<sup>o</sup> C por un periodo de 2 horas, indispensable para cumplir con requisitos de envío de las muestras. Posteriormente se enviaron las muestras al laboratorio donde se realizó la digestión vía microondas en un recipiente cerrado sometido a presión y temperatura utilizando ácido nítrico como agente oxidante (Miller, 1998), el análisis de los metales pesados se realizó a través del método Dry Ash (Dahlquist y Knoll, 1978) inductively coupled plasma atomic emission spectrometer, analizando los siguientes metales pesados: cobre, zinc, plomo, cadmio, cromo, molibdeno y níquel; presentándose los resultados en mg kg<sup>-1</sup> de metal pesado por kg de grano.

## RESULTADOS Y DISCUSION

**Altura de Planta.** Los resultados obtenidos del análisis de varianza mostraron diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadro 4.1). Todos los tratamientos con lodo y fertilizante inorgánico fueron iguales estadísticamente y superiores al testigo. Estos resultados coinciden con otras investigaciones, donde se reporta un efecto benéfico al aplicar lodo y fertilizante inorgánico en altura de planta de trigo (Pritchard *et al.*, 2002) y diversas especies cultivadas (Haroon y Ramulu, 1990; Fresquez *et al.*, 1991). El crecimiento de la planta está directamente relacionado con la cantidad de nitrógeno disponible para la planta, el testigo en este experimento obtuvo la menor altura, lo que indica que el nitrógeno disponible no fue suficiente para un óptimo

crecimiento de la planta. Los resultados indicaron que la cantidad de nitrógeno disponible, reflejado en mayor altura en todos los tratamientos con lodos y fertilizante inorgánico, fueron similares y coinciden con otros estudios que indican que el efecto residual del lodo en trigo perdura en varios ciclos de siembra (Dennis *et al.*, 2001). Otro factor que impacta en el crecimiento del trigo es el fósforo; se ha encontrado que cuando se aplica lodo los resultados obtenidos son similares al uso de fertilizantes inorgánicos como sucedió en este experimento (Pritchard *et al.*, 2002).

**Número de Hijuelos por Planta.** El análisis de varianza mostró diferencia significativa entre los tratamientos para esta variable (Cuadro 4.1). El mayor número de hijuelos se obtuvo aplicando fertilizante inorgánico y lodo 8 t ha<sup>-1</sup> en forma líquida o deshidratada. Otras investigaciones indican que el número de hijuelos por planta está

determinado por bajas temperaturas, así como disponibilidad de nitrógeno (Mengel y Kirby, 1982) y fósforo (Pritchard *et al.*, 2002) en las etapas iniciales del cultivo del trigo. Los resultados indicaron que la cantidad de nitrógeno y fósforo aportados con la aplicación de lodo en altas dosis y fertilización inorgánica fueron adecuadas en las etapas iniciales del cultivo del trigo debido a que se presentó mayor número de hijuelos por planta en estos tratamientos. El testigo y lodo deshidratado 4 t ha<sup>-1</sup> obtuvieron el menor número de hijuelos por planta, lo que indicó que las cantidades de fósforo y nitrógeno disponible no fueron suficientes para tener un adecuado número de hijuelos.

**Rendimiento de Forraje.** Se encontró diferencia estadística en el rendimiento de forraje por parcela, los mejores rendimientos se obtuvieron con lodo líquido 8 t ha<sup>-1</sup> y fertilizante inorgánico. Estadísticamente no se encontró diferencia entre lodo deshidratado 8 y 4 t ha<sup>-1</sup> y el testigo (Cuadro 4.1). Esto indica que el nitrógeno disponible con la aplicación del lodo en forma deshidratada en la primera etapa de

crecimiento fue suficiente pero no durante todo el ciclo de crecimiento de la planta de trigo. La literatura indica que hasta un 20% del nitrógeno está disponible el primer año después de la incorporación del lodo deshidratado a diferencia de hasta un 60% cuando se aplica en forma líquida. Esto explica el porqué se obtuvo mayor rendimiento de forraje cuando se aplicó lodo líquido. Sin embargo, debido a que está disponible en menor tiempo, su efecto residual únicamente se extiende hasta tres ciclos de siembra, a diferencia del lodo deshidratado cuyo efecto se ha encontrado aún después de cinco ciclos de siembra (Shata *et al.*, 1990; Okamoto *et al.*, 1990; Vlarnis *et al.*, 1985; Outwater, 1993). En el caso del fertilizante inorgánico, la aplicación se realizó en cada ciclo de siembra, aplicando la cantidad requerida para cada cultivo, por lo que no es posible medir el efecto residual.

**Rendimiento Grano.** El rendimiento de grano fue similar estadísticamente entre fertilizante inorgánico y lodo 8 t ha<sup>-1</sup> líquido y deshidratado. También se observó que existe similitud entre lodo deshidratado 4 t ha<sup>-1</sup> y testigo (Cuadro 4.1). Esto coincide con la literatura revisada que indica que con la aplicación de lodo en dosis iguales o superiores a 6 t ha<sup>-1</sup> en aplicaciones únicas se iguala o supera el rendimiento respecto a la aplicación de fertilizante inorgánico. Además, estudios indican que aplicar 6.6 t ha<sup>-1</sup> de lodo equivale a una dosis de fertilización inorgánica adecuada para obtener un buen rendimiento de trigo debido a que cada tonelada de lodo aporta 20 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno disponible por año (Dennis *et al.*, 2001). Sin embargo, en base al análisis realizado al lodo utilizado en este experimento, contiene 5.7% de nitrógeno total; por lo tanto, aporta 90 y 45 kg ha<sup>-1</sup> al año aplicando 8 y 4 t ha<sup>-1</sup> de lodo deshidratado, respectivamente. En el caso del lodo líquido, se estima que el 60% del nitrógeno está disponible el primer año, equivalente a 273 kg ha<sup>-1</sup>. Lo que explica el mayor rendimiento

de grano al aplicar lodo líquido; sin embargo, se espera que su efecto residual sea menor comparado con el deshidratado. A pesar de que se aplicaron 113 unidades de nitrógeno por ciclo a través del fertilizante inorgánico, se encontró que el rendimiento fue igual que el observado en el lodo en dosis de 8 t ha<sup>-1</sup>. Este efecto residual benéfico del lodo coincide con otros autores, quienes encontraron que el efecto residual puede ser hasta de cinco ciclos con el uso de lodo deshidratado y tres ciclos cuando se aplica en forma líquida, dependiendo de los cultivos establecidos (Shata *et al.*, 1990; Okamoto *et al.*, 1990; Vlamis *et al.*, 1985).

En estudios realizados con lodos, se ha encontrado que los cultivos que obtienen mayor beneficio son aquellos que requieren altas cantidades de fósforo, debido a que es el elemento que mayor se aporta con la aplicación del lodo (Haroon y Ramulu, 1990;

Lubben y Sauerbeck, 1991; Fresquez *et al.*, 1991; Shata *et al.*, 1990; Okamoto *et al.*, 1990; Trinidad *et al.*, 1993). El análisis del lodo utilizado tiene 7.26% de fósforo, ( $P_2O_5$ ) y se estima que el 50% está disponible el primer año cuando se aplica en forma líquida y deshidratada. Por lo tanto, la cantidad disponible de fósforo es de 290 y 145 kg  $ha^{-1}$  por año, al aplicar 8 y 4 t  $ha^{-1}$ , respectivamente. A pesar de que el trigo producido en el estado de Nuevo León no manifiesta deficiencias visibles de este elemento, estas existen debido a que los cultivos responden a la fertilización inorgánica con fósforo. Los resultados obtenidos manifestaron el efecto residual del uso de lodos con aplicaciones únicas, por lo que se recomienda dar seguimiento al efecto residual al menos en dos ciclos de siembra posteriores (Pritchard *et al.*, 2002; Outwater, 1993).

Cuadro 4.1. Comparación de medias para las variables altura de planta, número de hijuelos, rendimiento de forraje y rendimiento de grano de trigo, comparando el uso de lodos vs. fertilización inorgánica y testigo.

Tratamiento	Altura planta (cm)	Hijuelo (#)	Rendimiento forraje (kg)	Rendimiento grano (t $ha^{-1}$ )
Testigo	34.77 B	2.03 C	770 C	2.29 C
Fertilizante (113-70-00)	46.37 A	4.57 A	1163 AB	3.24 AB
Lodo deshidratado 4 t $ha^{-1}$	42.77 A	3.17 BC	792 C	2.75 BC
Lodo deshidratado 8 t $ha^{-1}$	44.27 A	3.73 AB	980 BC	3.05 AB
Lodo líquido 8 t $ha^{-1}$	44.60 A	4.00 AB	1233 A	3.51 A
D.M.S (0.05)	6.4359	1.2830	2.4956	0.6278

**Metales Pesados en Grano.** Se encontró que todos los metales pesados en todos los tratamientos estuvieron por debajo del límite de tolerancia (Cuadro 4.2). El cadmio y plomo se encontraron cerca o por debajo del límite de detección del equipo. El cobre y zinc mostraron valores medibles en el equipo utilizado para el análisis; sin embargo, los niveles encontrados son considerados como adecuados.

Todos los tratamientos observaron concentraciones similares, lo que indica que el suelo sin tratamiento tiene estos elementos por naturaleza y la cantidad agregada con

fertilizante inorgánico y lodo es mínima, debido a que no se manifiestan alteraciones en la concentración de metales pesados en el grano.

**Cuadro 4.2.** Concentración de metales pesados desarrollados en suelos normales (testigo), fertilización inorgánica, lodo líquido y deshidratado en granos de trigo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Tratamiento	Cadmio	Cobre	Cobalto	Níquel	Plomo	Zinc	Molibdeno
Testigo	$\leq 0.04$	6.0	0.14	1.23	$\leq 0.25$	75	1.03
Fertilizante (113-70-00)	0.06	5.0	0.09	0.59	$\leq 0.25$	62	0.79
Lodo deshidratado 4 t ha <sup>-1</sup>	0.05	5.0	0.10	0.80	$\leq 0.25$	73	0.71
Lodo deshidratado 8 t ha <sup>-1</sup>	0.05	3.0	0.06	0.67	$\leq 0.25$	77	0.81
Lodo líquido 8 t ha <sup>-1</sup>	$\leq 0.04$	4.0	0.06	0.36	$\leq 0.25$	66	0.69
Límite tolerancia **	3	150	nd	50.00	10	300	nd

- \*\* Límites de tolerancia para cultivos agrícolas (Sopper, 1993)
- nd No determinado

Los resultados obtenidos coinciden con otras investigaciones realizadas, donde indican que la semilla, acumula menor cantidad de cadmio y zinc, por lo que es difícil que las concentraciones superen los límites de tolerancia permitidos, comparado con el

resto de órganos de la planta; principalmente en hojas, donde se acumula mayor cantidad de cadmio y zinc, con un orden de ascendencia de concentración de la siguiente forma;

hojas, tallos, raíces y porción comestible. Otros elementos tales como el cobre, níquel y plomo son absorbidos en muy bajas concentraciones, debido a que se adhieren a las paredes de las raíces de las plantas evitando, así la acumulación dentro de los tejidos vegetales (Schauer *et al.*, 1980; Lubben y Sauerbeck, 1991; Sauerbeck, 1991; Vlamis *et al.*, 1985; Chang *et al.*, 1982).

La concentración de cadmio, cobre, níquel y plomo del testigo y tratamientos con lodo en el grano de trigo en "Dulces Nombres" fueron inferiores a las obtenidas en un estudio similar en el estado de Colorado, EE.UU. (Dennis *et al.*, 2001), lo que indica que

el testigo y dosis de lodos aplicadas se encontraron en rangos seguros en lo que respecta a metales pesados en el cultivo de trigo con el lodo utilizado (Cuadro 4.2).

Los suelos del Norte de México normalmente tienen altos pH's (7.8-8.3), lo que explica que una porción de los metales pesados precipiten, por lo que disminuye la disponibilidad para ser absorbidos por las raíces; por lo tanto, la concentración esperada en el grano es baja. El pH tiene un gran impacto en la disponibilidad de los metales pesados y elementos esenciales en la absorción por las raíces. Por ejemplo, cuando el pH del suelo es menor a 6.5 la disponibilidad del zinc y cadmio se incrementan, pudiendo ser tan altos que sobrepasen los límites de tolerancia, principalmente el cadmio que es un elemento que causa toxicidad al humano y animales con concentraciones menores a los niveles fitotóxicos. A diferencia del zinc, el cual es fitotóxico, por lo que el cultivo sufre daños severos e incluso la muerte de la planta en caso extremo. Otros metales como el plomo, níquel y cobre, aunque la planta no los absorbe en cantidades altas, existe la posibilidad de contaminación de acuíferos debido a lixiviaciones. En suelos con pH superior a 6.5, parte de los elementos se encuentran precipitados principalmente con carbonatos de calcio, lo que hace que estén poco disponibles aunque se encuentran presentes en el suelo (Lubben y Sauerbeck, 1991; Granato *et al.*, 1991; Sauerbeck, 1991; Seaker, 1991; Okamoto *et al.*, 1990; Chaney *et al.*, 1993; Seaker y Sopper, 1984; Preer *et al.*, 1995; Dixon *et al.*, 1995).

## CONCLUSIONES

1.- Lodo líquido en dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$  y fertilizante inorgánico obtuvieron los mayores rendimientos estadísticamente en grano de trigo.

2.- El efecto residual del lodos en dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$  se manifestó con resultados positivos en el segundo ciclo de siembra del trigo con respecto al tratamiento de lodo en dosis de  $4 \text{ t ha}^{-1}$  y testigo.

3.- Las concentraciones de metales pesados en el grano de trigo se encontraron por debajo del límite de tolerancia.

4.- La hipótesis se cumple parcialmente debido a que no se encontró diferencia entre la aplicación de lodo y fertilizante. Sin embargo, se cumple

---

con respecto a que no se incrementaron los niveles de metales pesados en el grano.

**BIBLIOGRAFIA**

Chaney, R.L.; C.E. Clapp; W.E. Larson and R.H. Dowdy. 1993. Trace metal movement: soil-plant systems and bioavailability of biosolids-applied metals.

Land utilization and the environment: Sherat Airport Inn, Bloomingt, MN, USA, 11-13, August, 27-31; 7 ref.

Chang, A.C.; A.L. Page and F.T. Bingham. 1982. Heavy metal absorption by winter wheat following termination of cropland sludge applications. *Journal of Environmental Quality*. 1982, 11: 4, 705-708; 17 ref.

Dahlquist, R.L. and J.W. Knoll. 1978. Inductively coupled plasma atomic emission

spectrometer: analysis of biological materials and major, trace and ultra-trace elements. *Applied Spectroscopy*. 32 (2): 1-29.

Dennis, W.S.; J.C. Caudill; E.J. Tallent; K.A. Barbarick and J.A. Ipollito. 2001.

Long term biosolids research on dryland wheat farms. WEF/AWWA/CWEA Joint Residual and Biosolids Management Conference. San Diego, Calif. U.S.A.

Dixon, F.M; J.R., Preer and A.N., Abdi. 1995. Metal levels in garden vegetables raised on biosolids amended soil. *Compost Science and Utilization*. 1995, 3: 2, 55-63; 33 ref.

Fresquez, P.R.; R. Aguilar; R.E. Francis and E.F. Aldon. 1991. Heavy metal uptake by blue grama growing in a degraded semiarid soil amended with sewage

sludge. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Albuquerque, NM 87106, USA. *Water,-Air,-and-Soil-Pollution*. 1991, 57-58, 903-912; 25 ref.

Granato,T.C.; G.R. Richardson; R.I. Pietz and C. Lue-Hing. 1991. Prediction of phytotoxicity and uptake of metals by models in proposed USEPA 40 CFR Part 503 sludge regulations: comparison with field data for corn and wheat.

Metropolitan Water Reclamation District of Greater Chicago Research and Development Laboratory, Cicero, IL 60650, USA. *Water,-Air,-and-Soil-Pollution*. 1991, 57-58, 891-902; 12 ref.

Haroon, ARM and U.S. Ramulu. 1990. Trace behaviour of certain vegetables to trace metal additions through application of high rates of sewage sludge to soils. Volume IV. 1990, 192-197; 5 ref. Kyoto, Japan; International Society of Soil Science.

Lubben, S. and D. Sauerbeck. 1991. The uptake and distribution of heavy metals by spring wheat. Institute of Plant Nutrition and Soil Science, German Federal Research Centre of Agriculture, D-3300 Brunswick, Germany. *Water,-Air,-and-Soil-Pollution*. 1991, 57-58, 239-247; 11 ref.

Mengel, K. and E.A. Kirby. 1982. *Principles of plant nutrition*. 3<sup>rd</sup> Edition. International Potash Institute. Worblaufen-Bern/Switzerland.

Miller, R.O. 1998. Microwave digestion of plant tissue in a closed vessel. In Y.P. Kaira (ed.) *Handbook and Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press, New York.

Okamoto, T.; M. Hirobe, K. Wachi and T. Matsuzaki. 1990. Changes in form, mobility and availability of some heavy metals in a soil with long-term

applications of sewage sludge. Agricultural Research Institute of Kanagawa Prefecture, Hiratsuka, Japan. Transactions 14th International Congress of Soil Science, Kyoto, Japan, August 1990, Volume IV. 1990, 216-221; 4 ref.

Ourwater, A.B. 1994. Reuse of sludge and minor wastewater residuals. Lewis

Publishers. Boca Raton, Florida, U.S.A. pp 67-76.

Preer, J.R.; A.N. Abdi and H.S. Sekhon; G.B. Jr. Murchison. 1995. Metals in urban gardens: effect of lime and sludge. Journal of Environmental Science and Health Part A, environmental science and engineering and toxic and hazardous substance control. 1995, 30: 9, 2041-2056; 22 ref.

Pritchard, D.L.; L.D. Martin; J.W. Bowden and N. Penney. 2002. Biosolids down under: effects of soil incorporation on phosphorus availability. 16<sup>th</sup> Annual Residual and Biosolids Management Conference. Austin, Tx. U.S.A.

Sauerbeck, D.R. 1991. Plant, element and soil properties governing uptake and

availability of heavy metals derived from sewage sludge. Institute of Plant Nutrition and Soil Science, German Federal Agricultural Research Centre, 3300 Braunschweig, Germany. Water Air and Soil Pollution. 1991, 57-58, 227-237; 11 ref.

Schauer, P.S.; W.R. Wright, and J. Pelchat. 1980. Sludge borne heavy metal availability and uptake by vegetable crops under field conditions. J. Environ.,Qual. Vol 9, no 1, 1980. pp 69-73.

Seaker, E.M. 1991. Zinc, copper, cadmium, and lead in minespoil, water, and plants from reclaimed mine land amended with sewage sludge. Environmental Consultant, 1917 E. Branch Road, State College, Pennsylvania 16801 USA. Water Air and Soil Pollution. 1991, 57-58, 849-859; 28 ref.

Shata, S.M.; M.H. Rabie and E.A., Abdel-Latif. 1990. The content of heavy metals in dried sludge and its relation to agricultural uses in sandy soils. Dep. Soils & Water Use, National Res. Cent., Cairo, Egypt. Egyptian Journal of Soil Science. 30: 1-2, 379-387; 7 ref.

Sopper, W.E. 1993. Municipal sludge use in land reclamation. Lewis Publishers. Washingt, D.C. USA.

Trindade, A.V.; C.A. Vildoso; L.M. Costa; R.C. Muchovej and J.F. Gallardo. 1993. Effect of sewage effluent on the content of heavy metals in soil, the growth and nutrition of maize. Departamento de Microbiología, Universidade Federal de Vicoso, Vicoso, Brazil. El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación. Actas del 12 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Salamanca, Sevilla (España) 19 a 26 de Septiembre de 1993.

U.S.E.P.A. 1995. Land application of biosolids (Process Design Manual). Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster, Pennsylvania, U.S.A.

Vlarnis, J.; D.E. Williams; J.E. Corey; A.L. Page; and T.J. Ganje. 1985. Zinc and cadmium uptake by barley in field plots fertilized seven years with urban and suburban sludge. Soil Science. 1985, 139: 1, 81-87; 17 ref.

## Capítulo 5

### EFFECTO DEL LODO RESIDUAL EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTOS DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill)\*

#### RESUMEN

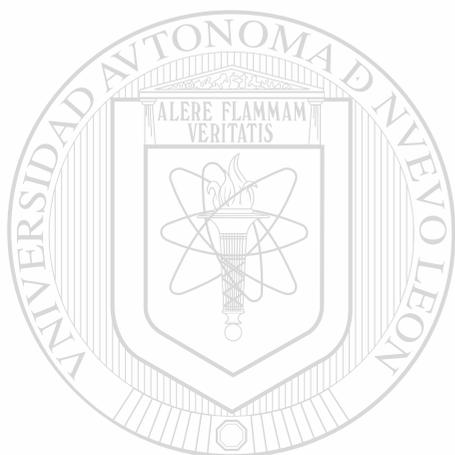
El tratamiento secundario del agua residual en el área metropolitana de Monterrey se realiza a través de una serie de procesos físico-biológicos que mejoran la calidad del agua del efluente, con el objeto de poder reutilizarla sin que ésta represente riesgo en la salud. Un subproducto que se genera es el lodo, el cual debe confinarse en

un relleno sanitario, siendo un proceso costoso. La alternativa es la utilización de este subproducto en la agricultura, debido a que posee nutrimentos y materia orgánica que pueden mejorar las características físico-químicas del suelo calcáreo del norte de México. El trabajo de investigación se llevó a cabo en la planta de tratamiento de agua residual en Dulces Nombres, municipio de Pesquería, N.L. El diseño experimental utilizado fue un bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación de lodo líquido ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ) y deshidratado ( $8 \text{ t ha}^{-1}$  y  $4 \text{ t ha}^{-1}$ ), fertilización inorgánica (180-180-100) y testigo. Los resultados indicaron que el mayor rendimiento y precocidad en la cosecha de tomate se obtuvo al aplicar lodo líquido ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ), seguido por lodo deshidratado ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ). No se encontró

\* Para ser enviado a la revista Chapingo Serie Horticultura

diferencia en el contenido de metales pesados en frutos de tomate y las concentraciones de metales pesados en todos los tratamientos se encontraron por debajo del límite de tolerancia para cultivos agrícolas.

**Palabras clave:** *Absorción, agricultura, nutrimentos, metales pesados.*



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## SEWAGE SLUDGE IN YIELD AND TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill)

### FRUIT QUALITY

#### SUMMARY

The wastewater treatment plants in the metropolitan area of Monterrey consists on a secondary treatment with a physical biological process which obtains an effluent with a water quality that can be reused with no risk. In the process of wastewater treatment large amount of sewage sludge are produced with high cost of sanitary landfilling. An alternative would be to use this sewage sludge in agriculture due to the fact that they contain plant nutrients and organic matter that can improve soil physical-

chemical characteristics in the calcareous soils of Northern part of Mexico. This research was conducted in the wastewater treatment plant of "Dulces Nombres" located in the municipality of Pesqueria in the state of Nuevo Leon, Mexico. The experiment design was a complete randomized block with five treatments and four replications, treatments consisted of the application of liquid ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ) and dewatered sewage sludge ( $8 \text{ t ha}^{-1}$  and  $4 \text{ t ha}^{-1}$ ), inorganic fertilizer (180-180-100) and control. Results indicated increased total and early yield when liquid sewage sludge ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ) was applied followed by dewatered sewage sludge ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ). No difference was encountered between treatments regarding metal accumulation in tomato fruits. Metal concentration in all treatments were below tolerance limits for agricultural crops.

**Index words:** *Absorption, agriculture, nutrients, heavy metals*

## INTRODUCCIÓN

En la entidad de Nuevo León, el agua residual no tratada procedente del área metropolitana de Monterrey se utilizó por mucho tiempo en la agricultura sin ninguna restricción. Es decir, el agua residual sin tratar se utilizaba para regar frutales, hortalizas, granos y forrajes; posteriormente, se limitó el uso de este tipo de agua a cultivos cuyos frutos o porciones comestibles no tuvieran contacto directo con el suelo. En la actualidad, la restricción es tal que no se permite utilizar en cultivos de hortalizas, aunque el fruto o porción comestible no tenga contacto directo con el suelo. En países desarrollados no está permitido el uso de agua residual sin tratamiento en la agricultura (U.S. Environmental Protection Agency, 1995).

El gobierno de Nuevo León en los últimos años se ha preocupado por el tratamiento del agua residual que proviene del drenaje de alcantarillados del área metropolitana de Monterrey, instalando plantas con la finalidad de tratar y recuperar el agua y reutilizarla en la industria. El restante del efluente se deposita en el Río Pesquería con una calidad superior a las normas vigentes. Sin embargo, al tratar el agua surgen otros problemas, como decidir qué hacer con los lodos o lodos generados. En la actualidad se confinan en lugares controlados denominados rellenos sanitarios, con costos de manejo elevados; incluso, el manejo del lodo puede representar hasta el 50% del costo total del tratamiento del agua residual. En los Estados Unidos actualmente se utiliza en la agricultura cerca del 50% de los lodos generados en las plantas de tratamiento, debido a las bondades del material en el mejoramiento del suelo e

incremento en rendimiento de cultivos (U.S. Environmental Protection Agency, 1995; Sopper, 1993; Cuningham *et al.*, 1975).

El lodo contiene nutrientes y materia orgánica que son de gran valor para los suelos agrícolas. Los nutrientes que contiene el lodo en mayor concentración son nitrógeno y fósforo; sin embargo, también contiene micro nutrientes en menor concentración tales como el cobre, hierro y zinc. Además de incrementar la fertilidad del suelo, el lodo mejora la estructura e infiltración del agua en el suelo, así como la capacidad de intercambio catiónico y la densidad de microorganismos benéficos que intervienen en las reacciones químicas y biológicas que hacen disponibles los nutrientes para las plantas (Epstein *et al.*, 1976; Fresquez *et al.*, 1991; Shata *et al.*, 1990; Diez, 1992; Falahi *et al.*, 1988).

La aplicación del lodo se puede realizar en forma líquida con un contenido de 2 a 7% de sólidos, en donde el 60% del nitrógeno está disponible el primer año y el restante se libera lentamente durante los dos ó tres años subsecuentes. El lodo también se deshidrata en filtros prensa o centrifugas en las plantas tratadoras, obteniendo un producto con un contenido de 20 a 35% de sólidos. Esta forma de lodo se degrada más lentamente en el suelo, por lo que únicamente el 20% del nitrógeno está disponible en el primer año, liberando el resto del nitrógeno hasta en un periodo de cinco años. En lo que respecta al fósforo, el 50% está disponible el primer año para ambos casos (Outwater, 1994; Diez, *et al.*, 1992). La alta cantidad de materia orgánica que contiene el lodo es de gran utilidad para mejorar características del suelo, tales como retención de humedad, capacidad de intercambio catiónico y estructura; sin embargo, algunos estudios indican que es necesario aplicar cantidades por encima de 100 t ha<sup>-1</sup> para que esto ocurra (Sopper, 1993; Lubben y Sauerbeck, 1991; Sposito *et al.*, 1983; Shata *et al.*, 1990;

Seaker, 1991). Vajjala *et al.*, 1987 encontraron que la aplicación de lodo incrementó el contenido de humus, nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en el suelo. Además, los experimentos indicaron buenos resultados en tomate de invernadero con rendimientos de 78.5 t ha<sup>-1</sup> y plántulas de pepino; Sin embargo, las lechugas fertilizadas con lodo acumularon niveles de metales pesados en cantidades mayores a las permitidas.

El uso de lodo en forma inadecuada puede ser riesgoso debido a la acumulación de metales pesados en el suelo, lo que ocasiona una transferencia a la cadena alimenticia. La acumulación de metales pesados en cultivos agrícolas desarrollados en suelos donde se aplicó lodo en altas dosis y/o repetidas ocasiones, principalmente en suelo con pH menores a 6.5, está bien documentada. Este potencial de acumulación y absorción de metales pesados aplicados a través de lodos, varía dependiendo de la carga de metales, características del lodo, propiedades del suelo y cultivo sembrado. Los metales pesados de mayor preocupación son arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio,

plomo, molibdeno, selenio, zinc y níquel (U.S. Environmental Protection Agency, 1995; Cox *et al.*, 2002). Sin embargo, la absorción de estos metales es diferente entre especies, dentro de la misma especie e incluso dentro de la misma planta. Por ejemplo Binham *et al.* (1975) encontraron que concentraciones de 4 a 13 mg kg<sup>-1</sup> de cadmio causaron reducción en el rendimiento de espinaca, soya y lechuga, pero sin causar efecto negativo en el rendimiento en el cultivo de tomate y col e incluso hasta concentraciones de 170 mg kg<sup>-1</sup>. Otros investigadores que analizaron la concentración de cadmio, cromo y plomo en porciones comestibles de rábano, zanahoria, col, ejote, maíz dulce y tomate en suelos con tratamientos de 90 y 180 t ha<sup>-1</sup> de lodo, no encontraron diferencias entre las concentraciones de los metales pesados estudiados (Keefner, *et al.*, 1984). La mayoría de las investigaciones concuerda que cuando se aplica lodo que cumple con la norma, en

dosis recomendada, suelos con pH superiores a 6.5 y prácticas correctas de aplicación; la concentración de metales encontradas en porciones comestibles están por debajo del límite de tolerancia (U.S. Environmental Protection Agency, 1995; Cox *et al.*, 2002).

Se ha encontrado que la acumulación de metales pesados es diferente entre los órganos de las plantas; por ejemplo, se observó que la concentración de cadmio tuvo una fluctuación entre 10 y 25 mg kg<sup>-1</sup> en acelga y espinaca cuyas porciones comestibles son las hojas, las cuales fueron superiores a betabel y zanahoria (raíces) con valores de 2 hasta 4 mg kg<sup>-1</sup>; en tomate (fruto) se observaron concentraciones menores consistiendo entre 1 y 3 mg kg<sup>-1</sup> y con la menor concentración se encontró el ejote (semilla) con valores menores a 1 mg kg<sup>-1</sup>. En el caso del zinc se observó el mismo patrón con respecto al cadmio. Estos resultados muestran que deberá tenerse cuidado con la concentración de cadmio en aquellas especies en donde la parte comestible sean las hojas o raíces, por ejemplo, (Cox *et al.*, 2002) cuando se aplicaron 100 t ha<sup>-1</sup>, las

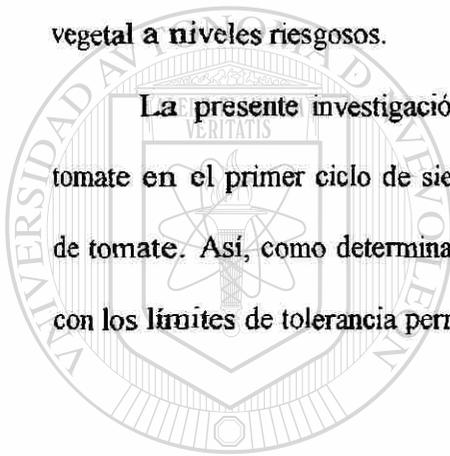
concentraciones de metales pesados en espinaca y acelga sobrepasaron el límite de tolerancia; mientras que para ejote, tomate y betabel permanecieron por debajo de este límite (Cox *et al.*, 2002).

Aplicaciones de altas dosis de lodo incrementan la concentración de metales pesados en la solución del suelo; sin embargo, a medida que pasa el tiempo esta concentración disminuye debido a que los metales pesados reaccionan con los minerales nativos en el suelo formando compuestos insolubles e inmovilizando los metales pesados. Estos resultados fueron comprobados en una investigación a largo plazo utilizando lodos con concentraciones de 200 a 300 mg kg<sup>-1</sup> y 3,300 a 4,800 mg kg<sup>-1</sup> de cadmio y zinc, respectivamente en dosis de 0, 20, 40, 80 y 100 t ha<sup>-1</sup> anuales por un periodo de 5 años. Las concentraciones de cadmio y zinc en espinaca, acelga, betabel,

zanahoria, ejotes y tomate, fueron monitoreadas por un periodo de 15 años después de la aplicación de los lodos, encontrando que la concentración de cadmio y zinc en el tejido de los cultivos declinaron a medida que fue pasando el tiempo (Cox *et al.*, 2002).

Los lodos contienen altos niveles de nutrientes esenciales para las plantas, así como materia orgánica que mejora las características físicas y biológicas; además, la correcta aplicación de lodo no incrementa la concentración de metales pesados del tejido vegetal a niveles riesgosos.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el lodo en el cultivo de tomate en el primer ciclo de siembra, para ver su efecto en el desarrollo, y rendimiento de tomate. Así, como determinar el contenido de metales pesados en fruto y compararlo con los límites de tolerancia permitidos.



UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales localizada en Dulces Nombres municipio de Pesquería N.L. con coordenadas geográficas de 25° 47' de latitud norte y 100° 02' de longitud oeste. El suelo donde se desarrolló el experimento es calcáreo con textura franco-arcillosa con un pH de 7.8.

Los tratamientos que se evaluaron fueron los siguientes:

- 1.- Testigo (sin aplicación).
- 2.- Fertilizante inorgánico. Se aplicó una dosis total de 180-180-100 dividida en tres etapas de crecimiento del cultivo de tomate. En pretrasplante se utilizó la dosis de 100-180-50, al inicio de floración 40-00-50 y en primer corte 40-00-00.
- 3.- Lodo deshidratado en dosis de 4 t ha<sup>-1</sup> base seca.
- 4.- Lodo deshidratado en dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> base seca.
- 5.- Lodo líquido en dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> base seca.

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Las parcelas fueron de 9m (5 surcos de 1.8 m) de ancho por 24 m de longitud, utilizando los tres surcos centrales como útiles, eliminando 2 m de cada extremo de los surcos, con un área total del experimento de 4,500 m<sup>2</sup>.

El lodo líquido utilizado provino de digestores anaerobios con 3% de sólidos, el cual se aplicó con una pipa con capacidad de 6,000 litros, sobre la superficie del suelo e incorporándolo al siguiente día con el uso de una rastra. El lodo deshidratado se obtuvo después de haber pasado por los filtros prensa con 20% de sólidos aproximadamente y

se aplicó por medio de una estercoladora comercial incorporándolo también mediante una rastra. El fertilizante se dividió en tres aplicaciones; la primera de pre-trasplante (100-180-50), la segunda al inicio de floración (40-00-50) y la tercera en el primer corte (40-00-00). La aplicación del lodo y la aplicación de pre-trasplante de fertilizante inorgánico se efectuó el 17 de Febrero de 1999.

El híbrido de tomate tipo saladette con crecimiento determinado que se utilizó fue "Yaqui", el cual ha demostrado ser un buen material para la zona. La semilla se sembró en charolas de poliestireno en invernadero en enero de 1999, para luego ser trasplantadas al campo definitivo en febrero del mismo año, utilizando la técnica de tutorado en el cultivo para evitar el contacto de los frutos con el suelo. Se efectuaron aplicaciones de pesticidas de acuerdo con las plagas y/o enfermedades que se presentaron.

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo de acuerdo al diseño experimental planteado, utilizando el paquete estadístico "Diseños Experimentales FAUANL" (Olivares, 1994). La comparación de medias se efectuó por medio de la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) cuando se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ). Las variables analizadas fueron las siguientes:

**Altura de Planta.** Esta variable se midió a los 22 y 42 días después del trasplante, seleccionando 10 plantas en forma aleatoria en cada unidad experimental.

**Ancho de Planta.** Se midió a los 42 días después del trasplante, seleccionando 10 plantas en forma aleatoria en cada unidad experimental.

**Rendimiento.** Se dividió en precoz (tres primeros cortes), tardío (dos últimos cortes) y total (suma de todos los cortes). La cosecha se efectuó cuando el fruto adquiría un color verde sazón.

**Metales pesados en fruto:** Para cada tratamiento se obtuvo una muestra compuesta formada de frutos de las cuatro repeticiones y los cinco cortes tomados aleatoriamente de cada unidad experimental. Los frutos se lavaron agregando 5 g de jabón en un litro de agua destilada; posteriormente, se enjuagaron en agua destilada, se cortaron en rodajas y colocaron en la estufa por 24 horas a una temperatura de 85°C. Finalmente, se introdujeron en bolsas de plástico herméticas para su almacenamiento temporal. De la muestra compuesta se envió a la Universidad Estatal de Pennsylvania una submuestra de 500 g.

La digestión se efectuó vía microondas en un recipiente cerrado sometido a presión y temperatura utilizando ácido nítrico como agente oxidante (Miller, 1998), el análisis de los metales pesados se realizó a través del método Dry Ash (Dahlquist y Knoll, 1978), utilizando “inductively coupled plasma atomic emission spectrometer”, analizando los siguientes metales pesados; arsénico, cobre, zinc, plomo, cadmio, cromo, molibdeno y níquel, presentándose los resultados en mg de metal pesado por kilogramo de fruto.

## RESULTADOS

**Altura de Planta.** No se encontró diferencia estadística a los 22 y 42 días del trasplante entre los tratamientos. Sin embargo se observó mayor vigor de las plantas en los tratamientos donde se aplicó lodo y fertilizante inorgánico.

**Ancho de Planta.** Se analizó estadísticamente encontrándose diferencia significativa. El mayor ancho de planta se obtuvo con aplicación de lodo líquido ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ), seguido por deshidratado ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ), el cual fue igual estadísticamente a fertilización inorgánica. A su vez, la fertilización inorgánica fue igual estadísticamente a lodo deshidratado  $4 \text{ t ha}^{-1}$  y éste último igual al testigo (Cuadro 5.1).

**Rendimiento Precoz.** Al efectuar el análisis de varianza se observó diferencia significativa por lo que se procedió a realizar las comparaciones de medias. Los resultados indicaron que el tratamiento con lodo líquido ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ) obtuvo los rendimientos más altos, seguido por lodo deshidratado en las dos dosis ( $8 \text{ t ha}^{-1}$  y  $4 \text{ t ha}^{-1}$ ) y fertilización química. Además se observó que fertilización y testigo fueron iguales estadísticamente (Cuadro 5.1).

**Rendimiento Tardío.** Después de efectuar el análisis de varianza no se encontró diferencia estadística significativa entre los tratamientos (Cuadro 5.1).

**Rendimiento Total.** El análisis de varianza mostró diferencia estadística entre los tratamientos. Los valores más altos se obtuvieron con lodo líquido ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ), el resto de los tratamientos fueron iguales estadísticamente (Cuadro 5.1).

Cuadro 5.1. Ancho de planta, rendimiento precoz y total en el cultivo de tomate comparando el uso de lodo vs fertilización inorgánica y testigo.

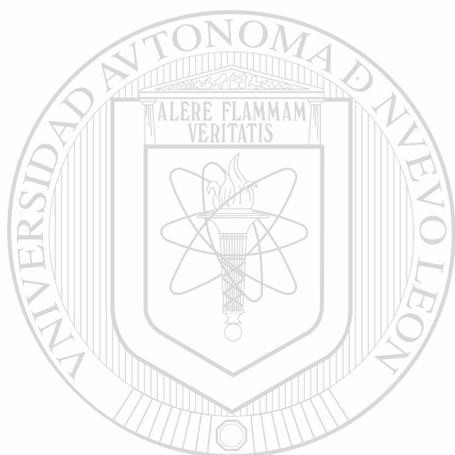
Tratamiento	Ancho planta (cm)	Rendimiento precoz (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento total (t ha <sup>-1</sup> )
Testigo	27.80 D	1.58 C	9.99 B
Fertilización (180-180-100)	36.00 BC	5.48 BC	14.24 B
Lodo deshidratado 4 t ha <sup>-1</sup>	31.73 CD	7.86 B	15.60 B
Lodo deshidratado 8 t ha <sup>-1</sup>	38.68 B	9.85 B	18.65 B
Lodo líquido 8 t ha <sup>-1</sup>	47.32 A	19.98 A	33.12 A
D.M.S (0.05)	5.07	5.31	9.23

**Concentración de Metales Pesados en Fruto.** Los resultados se muestran en la Cuadro 5.2, donde se aprecia que todos los elementos están por debajo de los límites de tolerancia permitidos para cultivos agrícolas (Sopper, 1993). Además, se observó que para arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel, plomo, selenio y molibdeno, en todos los tratamientos donde se aplicó lodo y fertilizante inorgánico los valores obtenidos están por debajo de los límites de detección del equipo. En lo que respecta a cobre, se aprecia que los valores más altos se encontraron al aplicar lodo deshidratado 8 y 4 t ha<sup>-1</sup>, y en zinc la menor concentración se obtuvo en frutos utilizando fertilizante inorgánico, pero con mayor concentración se encontró el testigo y lodo en forma líquida ó deshidratada en ambas dosis (Cuadro 5.2).

**Cuadro 5.2. Concentración de metales pesados en frutos de tomate desarrollados en suelos normales(testigo), fertilización inorgánica, lodo líquido y deshidratado ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).**

Tratamiento	Cadmio	Cobre	Arsenico	Niquel	Plomo	Zinc	Molibdeno
Testigo	$\leq 0.78$	8.63	2.03	$\leq 0.78$	$\leq 1.25$	27.86	$\leq 9.06$
Fertilizante (180-180-100)	$\leq 0.78$	6.21	$\leq 1.56$	$\leq 0.78$	$\leq 1.25$	14.58	$\leq 9.06$
Lodo deshidratado 4 ton $\text{ha}^{-1}$	$\leq 0.78$	9.95	$\leq 1.56$	$\leq 0.78$	$\leq 1.25$	25.42	$\leq 9.06$
Lodo deshidratado 8 ton $\text{ha}^{-1}$	$\leq 0.78$	10.40	$\leq 1.56$	$\leq 0.78$	$\leq 1.25$	31.39	$\leq 9.06$
Lodo líquido 8 ton $\text{ha}^{-1}$	$\leq 0.78$	8.78	$\leq 1.56$	$\leq 0.78$	$\leq 1.25$	28.78	$\leq 9.06$
Límite tolerancia *	3	150	nd	50.00	10	300	nd

- \* Límites de tolerancia para cultivos agrícolas (Sopper, 1993)
- nd No disponible



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## DISCUSIÓN

**Características de Planta y Rendimiento.** No se encontró diferencia en lo que respecta a altura de planta debido a que la planta de tomate es semi-erecta; es decir, al llegar a determinada altura se torna postrada. Sin embargo, en otras investigaciones se ha reportado mayor altura de planta en cultivos de trigo, maíz, cebada y choi sum, con la aplicación de lodo atribuido principalmente a la mayor cantidad de nitrógeno disponible en el suelo (Sopper, 1993; Cuningham *et al*, 1975; U.S Environmental Protection Agency, 1995). El lodo tuvo un efecto importante en el ancho de la planta, en las parcelas con lodo se observaron plantas muy desarrolladas con una gran cantidad de hojas, lo que sugiere una mayor área foliar y una mayor actividad fotosintética. El mayor desarrollo de planta en las parcelas con lodo, se debe principalmente al nitrógeno y fósforo que se liberan lentamente y que son aprovechados por el cultivo muy eficientemente.

El mayor crecimiento de planta con la aplicación de lodo en este experimento se mostró en el ancho de planta, incrementando el área foliar indispensable para un buen rendimiento; por lo que es recomendable que en futuras investigaciones se tome el parámetro de ancho de planta en lugar de altura en el cultivo del tomate.

Los resultados de otras investigaciones indican que al aplicar lodo líquido se incrementa el rendimiento desde el primer ciclo de siembra comparado con el lodo deshidratado, debido a que en el lodo líquido las partículas orgánicas son más pequeñas que en el lodo deshidratado, teniendo una mayor área de exposición en el suelo y los

microorganismos tienen un mejor acceso a la materia orgánica, por lo que el ciclo del nitrógeno se lleva a cabo más rápidamente liberando los iones  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ . En algunas investigaciones se han encontrado mayores rendimientos con lodo líquido que con el deshidratado en el primer ciclo en cultivos tales como maíz, sorgo y trigo, en donde se menciona que se debe a un alto contenido de nitrógeno disponible después de la aplicación (U.S. Environmental Protection Agency, 1995; Okamoto *et al.*, 1990; Preer *et al.*; 1995, Falahi *et al.*, 1988; Trinidad *et al.*, 1993). Resultados semejantes fueron obtenidos en esta investigación. En lo que respecta al fósforo, aproximadamente el 50% está disponible el primer año, por lo que al aplicar lodo líquido se agrega una cantidad de nitrógeno y fósforo disponible el primer año de 135 y 168  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente (Sopper, 1993) considerado como muy buena cantidad para obtener altos rendimientos en tomate. Con el lodo deshidratado ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ) se obtuvieron rendimientos similares al de fertilización inorgánica, debido a que la cantidad de nitrógeno disponible para la planta

en el primer año es tan sólo de un 20%, equivalente a 90  $\text{kg ha}^{-1}$ , lo cual es considerado como bajo para el cultivo de tomate. Sin embargo, debido a que la proporción no está balanceada los efectos no son tan evidentes como en el caso de lodo líquido. De acuerdo con la literatura (Outwater, 1994), se espera que para el próximo ciclo los resultados sean más favorables para el lodo deshidratado debido a que la liberación de los nutrimentos es lenta conforme ocurre la degradación de la materia orgánica y como consecuencia se encontrará mayor nitrógeno disponible. A pesar de que el fertilizante inorgánico (180-180-100) es una fórmula adecuada y con mayor cantidad de nitrógeno y fósforo, comparado con el lodo deshidratado ( $8 \text{ y } 4 \text{ t ha}^{-1}$ ), éste se comportó igual debido a que una proporción de este fertilizante se pierde por lixiviación y desnitrificación en el caso del nitrógeno y precipitación del fósforo, lo que hace que sólo

una parte se encuentre disponible para la absorción de la planta (U.S. Environmental Protection Agency, 1995; Outwater, 1994).

En lo que respecta al testigo, el crecimiento de la planta fue lento, lo que ocasionó un rendimiento precoz muy bajo comparado con los demás tratamientos; por lo tanto, es recomendable agregar lodo para obtener un nivel óptimo de nutrientes disponibles y obtener una buena producción adelantada de tomate (Outwater, 1994).

No se encontró diferencia en el rendimiento tardío, debido a que en cultivos donde se efectúan varios cortes, como es el caso del tomate, las plantas que obtienen mayor producción precoz envejecen más rápido, por lo que su rendimiento declina, mientras que las plantas que han producido poco en el primer corte incrementan su producción en los cortes subsecuentes, lo que explica que el testigo, cuya producción fue muy baja en los primeros tres cortes, igualó a los demás tratamientos en el rendimiento tardío. Sin embargo, los mejores precios en tomate en Nuevo León se

obtienen en cosechas precoces, por lo que la aplicación de lodo puede traer ventajas al obtener mayor precio en la venta del producto.

**Concentración de Metales Pesados en Frutos.** A pesar de que las concentraciones de metales pesados en todos los tratamientos se encontraron por debajo del límite de tolerancia (Cuadro 5.2), la literatura indica que el cadmio, níquel, zinc y cobre normalmente tienen mayor disponibilidad para la absorción por las raíces; y por lo tanto, mayor potencial de ser peligrosos en suelos tratados con lodo comparado con el plomo. En este caso coincide en lo que respecta al zinc y cobre, pero no para cadmio y níquel debido a que las concentraciones en todos los tratamientos se encontraron por debajo del límite de detección del equipo utilizado en el laboratorio. Se ha determinado que los elementos con mayor movilidad en el suelo, tienen una absorción anual por los

cultivos menor a 0.05% del metal agregado al suelo; siendo menor cuando el pH es alto (>6.5) (Davis, 1984), como es el caso de la mayoría de los suelos alcalinos del Norte de México que provoca que los metales precipiten en el suelo, por lo tanto su disponibilidad se reduce (Sopper, 1993). Cuando el pH es menor de 6.5, se recomienda encalar el suelo con la finalidad de incrementar el pH antes de agregar lodo, debido a que a niveles bajos de pH, los metales se encuentran en la solución del suelo en cantidades que pueden incrementar la concentración de metales en la porción comestible de la planta o pudieran lixiviarse con riesgo de contaminar acuíferos (Schauer *et al.*, 1980; Sopper, 1993; Sposito *et al.*, 1983; Granato *et al.*, 1991; Sauerbeck, 1991; Shata *et al.*, 1990; Okamoto *et al.*, 1990). Sin embargo, existen investigaciones que indican que la concentración del cadmio en fruto no se afectó en un rango de pH entre 3.4 y 7.2 (Falahi *et al.*, 1988). Otros en cambio, han demostrado que en suelos ácidos con la aplicación de 225 t ha<sup>-1</sup>, presentaron efectos negativos en el crecimiento de las plantas ocasionado por altas concentraciones de metales pesados (Sopper, 1993).

La mayor preocupación de la aplicación de lodo está relacionada con metales pesados tales como el cadmio, que se caracteriza de ser tóxico al humano pero no fitotóxico. Sin embargo, esto sucede solamente en caso de que el suelo esté deficiente de calcio y zinc, ya que se ha encontrado que cuando la concentración de estos elementos se encuentra en abundancia en el lodo o el suelo, se reduce la absorción del cadmio (Dowdy *et al.*, 1975; Jones *et al.*, 1973; Bingham *et al.*, 1975; Haghiri, 1973; Preer *et al.*, 1995; Falahi *et al.*, 1988; Trinidad *et al.*, 1993). Debido a que el lodo que se aplicó tuvo una mayor proporción de Zn/Cd, explica el porqué la concentración de cadmio en los frutos de tomate se encontró incluso por debajo del límite de detección del equipo, aunado a las características alcalinas del suelo (pH = 7.8). En el cultivo de pepino se ha

comprobado que se pueden desarrollar plantas exitosamente en medios que contienen hasta el 50% de lodo composteado, bajo en metales pesados y amplio rango de pH, sin la acumulación de cadmio a niveles peligrosos en frutos (Falahi *et al.*, 1988). Investigaciones realizadas en tejido de tomate en tres ciclos consecutivos durante un periodo de 15 meses en suelos con aplicación de lodo para determinar la acumulación de cadmio y zinc, indicaron que cuando la dosis aplicada estuvo dentro de la norma, las plantas no extrajeron cantidades apreciables de cadmio y zinc. Además, se observó un incremento en la concentración de cadmio y zinc, pero con aplicaciones subsecuentes no incrementó la concentración en el fruto (Chang *et al.*, 1982).

Otro grupo de metales pesados que se comporta en cierta forma de una manera similar entre sí, incluye el zinc, cobre y níquel. Estos metales son fitotóxicos en altas concentraciones y al ser absorbidos por las raíces la planta sufre daños severos o incluso la muerte, por lo que normalmente no se obtienen frutos de dichas plantas. Debido a que

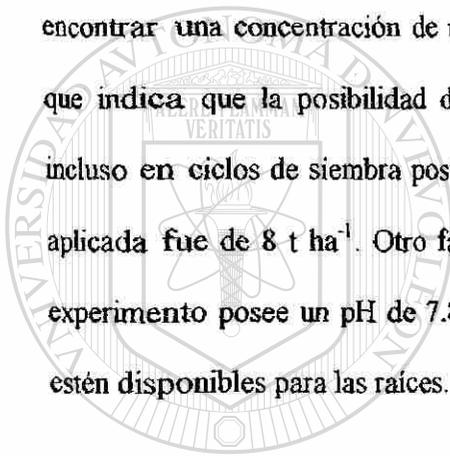
---

no se manifestó ninguna fitotoxicidad, se comprueba que la disponibilidad de estos metales en el suelo fue baja (Richards *et al.*, 1998; Diez, 1992; Preer *et al.*, 1995; Sposito *et al.*, 1983). Sin embargo, el cobre y zinc están considerados como elementos esenciales, por lo que alguna aportación de estos elementos por el lodo sería benéfica en los suelos calcáreos del noreste de México, en donde son frecuentes las deficiencias, principalmente de zinc (Mengel y Kirby, 1982).

Metales tales como el plomo y mercurio no son de gran preocupación en cultivos con la aplicación de lodo, debido a que se adsorben o precipitan en suelo alcalino o simplemente no se transporta hacia la porción comestible (Richards *et al.*, 1998; Preer *et al.*, 1995; Falahi *et al.*, 1988; Trinidad *et al.*, 1993). Esto explica la baja concentración del plomo encontrado en el fruto de tomate. Sin embargo, sólo debe aplicarse lodo que

cumpla con la norma para evitar una acumulación total de estos metales en el suelo, debido a que pueden afectar los microorganismos del suelo. A pesar de ser elementos considerados muy peligrosos, en el caso del lodo tienen menor riesgo debido a su baja movilidad en el suelo, ya que su principal forma de afectar la salud es a través del agua y aire (Outwater, 1994).

Se han efectuado varias investigaciones con dosis de lodo de hasta  $100 \text{ t ha}^{-1}$  sin encontrar una concentración de metales pesados por encima del límite de tolerancia, lo que indica que la posibilidad de encontrar altas concentraciones en nuestro estudio, incluso en ciclos de siembra posteriores, es remota debido a que la mayor dosis de lodo aplicada fue de  $8 \text{ t ha}^{-1}$ . Otro factor de gran relevancia es que el suelo utilizado en el experimento posee un pH de 7.8, ocasionando que los metales pesados precipiten y no estén disponibles para las raíces.



UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## CONCLUSIONES

- 1.- Se obtuvo un mayor ancho de planta con la aplicación de lodo líquido y deshidratado ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ).
- 2.- La aplicación de lodo adelantó la cosecha de tomate significativamente comparado con la aplicación de fertilizante inorgánico y el testigo.
- 3.- El lodo líquido tuvo un mejor efecto sobre el rendimiento precoz, que el lodo deshidratado.
- 4.- Aplicando lodo ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ) en forma líquida se obtuvo mayor rendimiento precoz y total.
- 5.- La concentración de metales pesados en frutos de tomate estuvo por debajo de los límites de tolerancia en todos los tratamientos.
- 6.- Se cumple la hipótesis planteada debido a que se incrementa el rendimiento con la aplicación del lodo sin alterar significativamente el nivel de metales pesados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bingham, F.L.; R.J. Mahler. and T.J. Ganje. 1975. Growth and cadmium accumulation of plants grown on a soil treated with a cadmium-enriched sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, Vol. 4, No. 2, 1975. pp 207-211.
- Chang, A.C.; A.L. Page; J.E. Warneke and J.B. Johanson. 1982. Effects of sludge application on the Cd, Pb and Zn levels of selected vegetable plants. *Hilgardia*. 1982, 50: 7, 14 pp 16 ref.
- Cox, A.; T. Granato; R. Pites and P. Tata. 2002. Uptake of Cd and Zn by garden vegetables grown in nuearth biosolids amended soil. 16<sup>th</sup> Annual Residual and Biosolid Management Conference. Austin, Tx U.S.A.
- Cunningham, J.P.; D.R. Keeney and J.A. Ryan. 1975. Yield and metal composition of corn and rye grown on sewage sludge-amended soil. *J. Environ. Qual.*, Vol. 4, no 4, 1975. pp 448-454.
- Dahlquist, R.L. and J.W. Knoll. 1978. Inductively coupled plasma atomic emission spectrometer: analysis of biological materials and major, trace and ultra-trace elements. *Applied Spectroscopy*. 32 (1): 1-29.
- Davis, R.D. 1984. Crop uptake of metals (cadmium, lead, mercury, copper, nickel, zinc and chromium) from sludge-treated soil an its implications for soil fertility and for human diet. *Processing and use of sewage sludge*, 349-357; Review, 30 ref., 4.

- Diez, T.; M. Kraus; A. Wurzinger E. Bilher and D. Nast. 1992. Heavy metal uptake and transfer from heavily contaminated soils used for arable crops. Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch. 69: 1, 51-71; 15 ref.
- Dowdy, R.H., and W.E. Larson. 1975. The availability of sludge-borne metals to various vegetable crops. J. Environ. Qual., vol. 4,no.2 1975. pp 278-282.
- Epstein. E.; J.M. Taylor and R.L. Chaney. 1976. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. J. Environ. Qual., Vol. 5, no. 4, 1976. pp 422-426.
- Falahi, A.A.; K.A. Corey and F.R. Gouin. 1988. Influence of pH on cadmium and zinc concentration of cucumber grown in sewage sludge. Hortscience. 1988, 23 6 I, 1015-1017; 16 ref.
- Fresquez,-PR; R. Aguilar, R.E. Francis and E.F. Aldon. 1991. Heavy metal uptake by blue grama growing in a degraded semiarid soil amended with sewage sludge. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Albuquerque, NM 87106, USA. Water,-Air,-and-Soil-Pollution. 1991, 57-58, 903-912; 25 ref.
- Granato,T.C.; G.R. Richardson; R.I. Pietz and C. Lue-Hing. 1991. Prediction of phytotoxicity and uptake of metals by models in proposed USEPA 40 CFR Part 503 sludge regulations: comparison with field data for corn and wheat. Metropolitan Water Reclamation District of Greater Chicago Research and Development Laboratory, Cicero, IL 60650, USA. Water,-Air,-and-Soil-Pollution. 1991, 57-58, 891-902; 12 ref.
- Haghir, F. 1973. Cadmium uptake by plants. J. Environ. Qual. Vol 2, no 1,1973. pp 93-95.

- Jones, R.L.; T.D. Hinesly and E.L. Ziegler. 1973. Cadmium content of soybeans grown in sewage-sludge amended soil. *J. Environ. Quality*, vol. 2, no 3. Pp 351-353
- Keefer, R.F.; R.N. Singh and D.J. Horvath, D.J. 1984. Chemical composition of vegetables grown on an agricultural soil amended with sewage sludges. *Journal of environmental Quality*. 15: 2, 146-152; 25 ref., 12 tab.
- Lubben, S. and D. Sauerbeck. 1991. The uptake and distribution of heavy metals by spring wheat. Institute of Plant Nutrition and Soil Science, German Federal Research Centre of Agriculture, D-3300 Brunswick, Germany. *Water,-Air,-and-Soil-Pollution*. 1991, 57-58, 239-247; 11 ref.
- Mengel, K. and E.A. Kirby. 1982. Principles of plant nutrition. 3<sup>rd</sup> Edition. International Potash Institute. Worblaufen-Bern/Switzerland.
- Miller, R.O. 1998. Microwave digestion of plant tissue in a closed vessel. In Y.P. Kalra (ed.) *Handbook and reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press, New York.
- Okamoto, T.; M. Hirobe; K. Wachi and T. Matsuzaki. 1990. Changes in form, mobility and availability of some heavy metals in a soil with long-term applications of sewage sludge. Agricultural Research Institute of Kanagawa Prefecture, Hiratsuka, Japan. *Transactions 14th International Congress of Soil Science*, Kyoto, Japan, August 1990, Volume IV. 1990, 216-221; 4 ref.
- Olivares, S. E. 1994. Paquete de diseños experimentales. Versión 2.5. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. María, N. L.
- Outwater, A.B. 1994. Reuse of sludge and minor wastewater residuals. Lewis Publishers. Boca Rat, Florida, U.S.A. pp 67-76.

Preer, J.R.; A.N. Abdi; H.S. Sekhon and G.B. Jr. Murchison. 1995. Metals in urban gardens: effect of lime and sludge. *Journal of Environmental Science and Health. Part A, environmental science and engineering and toxic and hazardous substance control.* 1995, 30: 9, 2041-2056; 22 ref.

Richards, B.K; T.S. Steenhuis; J.H. Peverly and M.B. McBride. 1998. Metal mobility at an old, heavily loaded sludge application site. Elsevier Science Ltd. *Environmental Pollution* 99 (1998). pp 365-377.

Sauerbeck, D.R. 1991. Plant, element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge. Institute of Plant Nutrition and Soil Science, German Federal Agricultural Research Centre, 3300 Braunschweig, Germany. *Water,-Air,-and-Soil-Pollution.* 1991, 57-58, 227-237; 11 ref.

Schauer, P.S.; W.R. Wright, and J. Pelchat. 1980. Sludge-borne heavy metal availability and uptake by vegetable crops under field conditions. *J. Environ.,Qual.* Vol 9, no 1, 1980. pp 69-73.

Seaker, E.M. 1991. Zinc, copper, cadmium, and lead in minespoil, water, and plants from reclaimed mine land amended with sewage sludge. Environmental Consultant, 1917 E. Branch Road, State College, Pennsylvania 16801 USA. *Water,-Air,-and-Soil-Pollution.* 1991, 57-58, 849-859; 28 ref.

Shata, S.M.; M.H. Rabie and E.A. Abdel-Latif. 1990. The content of heavy metals in dried sludge and its relation to agricultural uses in sandy soils. Dep. Soils & Water Use, National Res. Cent., Cairo, Egypt. *Egyptian Journal of Soil Science.* 30: 1-2, 379-387; 7 ref.

Sposito, G.; C.S. Levesque; J.P. LeClaire and A.C. Chang. 1983. Trace metal chemistry in arid-zone filed soils amended with sewage sludge. Soil Science Society of America Journal. 47: 5, 898-902; 10 ref.

Sopper, W.E. 1993. Municipal sludge use in land reclamation. Lewis Publishers. Washingt, D.C. USA.

Trindade, A.V.; C.A. Vildoso; L.M. Costa; R.C. Muchovej and J.F. Gallardo. 1993. Effect of sewage effluent on the content of heavy metals in soil, the growth and nutrition of maize. Departamento de Microbiologia, Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, Brazil. El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación. Actas del 12 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Salamanca, Sevilla (España) 19 a 26 de Septiembre de 1993.

U.S. Environmental Protection Agency. 1995. Land application of biosolids (Process Design Manual). Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster, Pennsylvania, U.S.A.

Vajjala, M; R. Ciofu; V. Poescu; N. Dumitru and E. Rusu. 1987. An investigation on the feasibility of using sewage sludge as a fertilizer for growing of vegetables. Lucrari-Stiintifice, Institutul Agronomic "Nicolae Balcescu" B Horticultura.

## Capítulo 6

### EFECTO DE LODO RESIDUAL EN RENDIMIENTO DE COLIFLOR (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) Y CONCENTRACIÓN DE METALES EN EL SUELO\*

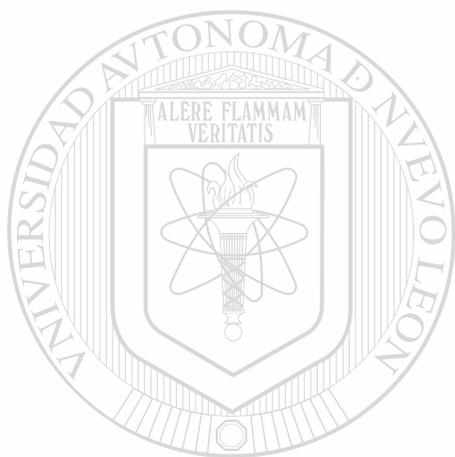
#### RESUMEN

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Agua Residual en Dulces Nombres municipio de Pesquería, N. L. México. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación de lodo líquido (8 t ha<sup>-1</sup>) y deshidratado (8 t ha<sup>-1</sup> y 4 t ha<sup>-1</sup>) vs. fertilización inorgánica (180-120-100) y testigo en el cultivo de coliflor. Los resultados indicaron que la mayor altura de planta se obtuvo con la aplicación de lodo líquido 8 t ha<sup>-1</sup>, lodo deshidratado 8 t ha<sup>-1</sup> y fertilizante inorgánico (180-120-100). El mayor número de pellas precoces se obtuvo con lodo líquido y deshidratado 8 t ha<sup>-1</sup> y el mayor número de pellas totales se obtuvo con aplicación de lodo 8 t ha<sup>-1</sup> en forma líquida. El comportamiento en altura de planta y número de pellas comerciales fue similar aplicando lodo 4 t ha<sup>-1</sup> y fertilizante inorgánico. Los análisis de suelo con respecto a cobre, cadmio, plomo, níquel y zinc disponibles; y cobre, zinc, plomo, níquel, zinc y cromo total adsorbido, indicaron que las concentraciones se

\* Artículo publicado en el Water Intelligence Online Journal de la IWA.  
<http://www.iwaonline.com/wio/200206009.htm>

encontraron por debajo del límite de tolerancia. Se observaron incrementos en zinc disponible y total con la aplicación de lodo en dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$ .

**Palabras clave:** *Absorción, precipitado, disponible, pella*



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**EFFECT OF RESIDUAL SEWAGE SLUDGE IN CAULIFLOWER (*Brassica oleraceu* var. *botrytis*) YIELD AND HEAVY METAL CONCENTRATION IN SOIL**

**SUMMARY**

The survey was conducted in the wastewater treatment plant of Dulces Nombres located in the municipality of Pesqueria, Nuevo Leon Mexico. The experimental design was a complete randomized block with five treatments and four replications, treatments consisted of the application of liquid (8 t ha<sup>-1</sup>) and dewatered sewage sludge (4 and 8 t ha<sup>-1</sup>) vs. inorganic fertilizer (180-120-100) and negative. Results indicated that plant

height was enhanced when liquid sewage sludge (8 t ha<sup>-1</sup>), dewatered sewage sludge 8 t ha<sup>-1</sup> and inorganic fertilizer. Highest number of early heads were observed when liquid and dewatered sewage sludge 8 t ha<sup>-1</sup> was amended and highest number of total heads were obtained when liquid sewage sludge 8 t ha<sup>-1</sup> was amended. Similar results in plant height and commercial cauliflower heads were observed when dewatered sewage sludge 4 t ha<sup>-1</sup> and inorganic fertilizer was applied. Soil analysis regarding available copper, cadmium, lead, nickel and zinc and total adsorbed copper, cadmium, lead, nickel, zinc and chromium indicated that levels were below tolerance limit. Slight increase in levels of available and total zinc were observed when sewage sludge 8 t ha<sup>-1</sup> was amended.

**Index Words:** *Absorption, precipitation, available, cauliflower heads.*

## INTRODUCCIÓN

Por más de 2,000 años, los agricultores han aplicado materia orgánica a los suelos para incrementar los rendimientos de los cultivos. La mayor parte de este tiempo, utilizando estiércol para proveer de nutrimentos a las plantas y enriquecer el suelo. El lodo, un producto similar al estiércol que se obtiene como subproducto del tratamiento del agua residual, se ha utilizado por agricultores desde principios de 1900. Sin embargo, a partir de 1940, el uso de fertilizantes inorgánicos sustituyó casi por completo a la aplicación de lodo y estiércol. En la actualidad en los Estados Unidos de América más de 50 millones de toneladas de fertilizantes se utilizan anualmente, agregando cerca de 20 millones de toneladas de nutrimentos al suelo. El lodo comparado con fertilizantes

---

químicos, es aplicado en menos del 1% de la superficie agrícola y se estima que 6.9 millones de toneladas en base seca se generaron en 1998, de las cuales se aplicaron cerca del 49% (Cox *et al.*, 2002). En cambio, el lodo es relativamente nuevo en México, debido a que el tratamiento de agua residual del gobierno estatal inició en 1995 con una producción aproximada de 150 t diarias base seca, las cuales son confinadas en un relleno sanitario ubicado en la Planta de Tratamiento de Agua Residual en Dulces Nombres, en el municipio de Pesquería, N.L.

Los agricultores están conscientes de los beneficios de la aplicación de productos orgánicos, especialmente en términos de incrementos en el rendimiento, fertilidad del suelo, reducción de costo de fertilizantes y sobretodo la contribución a la sustentabilidad agrícola. Numerosos estudios han enfatizado y reforzado la importancia de la aplicación

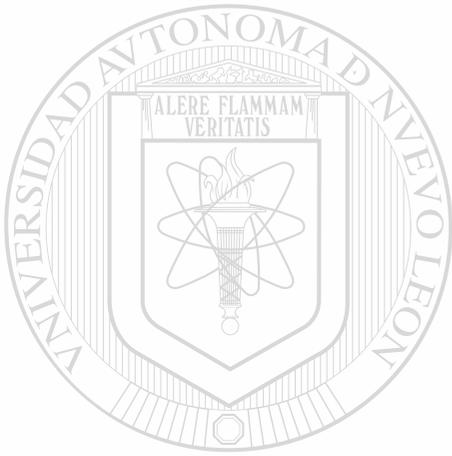
del lodo. Por ejemplo, el alto contenido de materia orgánica mejora la estructura del suelo, reduce el potencial de la erosión, incrementa la retención de humedad, incrementa la capacidad de intercambio catiónico y corrige deficiencias de elementos secundarios tales como calcio, magnesio y azufre y microelementos tales como boro, cloro, cobre, zinc, manganeso, molibdeno y fierro considerados como esenciales para los cultivos (Cox *et al.*, 2002).

Se han reportado incrementos en rendimiento en diferentes cultivos horticolas con la aplicación de lodo, entre los que se encuentran: tubérculo de papa (Zabulene *et al.*, 1984); acelga (Valadares *et al.*, 1983); crucíferas (Narwall *et al.*, 1983), tomate (Vajjala *et al.*, 1987), cebolla, okra y amaranthus en el primer ciclo de siembra y con marcados incrementos en el segundo ciclo en okra, rábano y amaranthus (Haroon y Ramulu, 1990).

La preocupación con el uso de lodo en la agricultura es con respecto a la acumulación de metales pesados en suelo y plantas, toxicidad de plantas y transferencia de metales a la cadena alimenticia. La acumulación de metales en cultivos desarrollados en suelos que han recibido altas y continuas dosis de lodo están bien documentadas. El potencial de acumulación de los metales pesados en el tejido vegetal varía; es decir, la absorción depende de la carga de metales, características del lodo, propiedades del suelo y cultivo. Además, el impacto de la aplicación de lodo en la acumulación de metales en cultivos no sólo depende de la disponibilidad a corto plazo (de hasta 5 años), sino que también a largo plazo (más de 5 años después de la aplicación). A pesar de que en Estados Unidos hay una mayor preocupación del lodo, datos de Europa y Australia indican que el fertilizante inorgánico y estiércol son fuentes significativas de metales pesados, especialmente cadmio en suelos agrícolas. Por ejemplo el 50% del cadmio en el

suelo en la Unión Europea fue contribuido por fertilizante inorgánico, 14% por depósitos de la atmósfera, 18% por estiércol y tan sólo el 3% por lodo (Lynne, *et al.*, 2001).

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto residual del lodo en el segundo ciclo de siembra en el cultivo de coliflor, para observar su efecto en altura de planta, número y calidad de pellas. Así, como el comportamiento de elementos esenciales y metales pesados en el suelo.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el otoño de 1999 en la planta de tratamiento de agua residual localizada en Dulces Nombres municipio de Pesquería, N.L., con coordenadas geográficas de 25° 47" de latitud norte y 100° 02" de longitud oeste. El suelo donde se desarrolló el experimento es calcáreo con textura franco-arcillosa con un pH de 7.8.

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones; los tratamientos consistieron en:

- 1.- Testigo (sin aplicación)
- 2.- Fertilizante inorgánico: Su aplicación inicial se efectuó un día antes del trasplante con dosis de 100-120-50 (23 de septiembre de 1999) y al mes la segunda aplicación con dosis de 80-00-50.
- 3.- Lodo deshidratado en dosis de 4 t ha<sup>-1</sup> base seca.- Su aplicación fue el 17 de Febrero de 1999.
- 4.- Lodo deshidratado en dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> base seca.- Su aplicación fue el 17 de Febrero de 1999.
- 5.- Lodo líquido en dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> base seca.- Su aplicación fue el 17 de Febrero de 1999.

La aplicación de lodo deshidratado y líquido se llevó a cabo el 17 de febrero de 1999, posteriormente se sembró tomate, el cual se cosechó en mayo — julio del mismo

año. El lodo líquido utilizado procedió de digestores anaerobios con 3% de sólidos, su aplicación se efectuó utilizando una pipa colocando el lodo en la superficie del suelo e incorporando al siguiente día con rastra. El lodo en forma deshidratada se obtuvo después de haber pasado por filtros prensa con 20% de sólidos y se aplicó a través de estercoladora, incorporándolo mediante una rastra el mismo día.

La fertilización inorgánica aplicada al tomate el 17 de febrero de 1999 fue de 180-180-100 y posteriormente, previo a la siembra de coliflor, las parcelas en este tratamiento se fertilizaron con dos aplicaciones; la primera de pre-trasplante (100-120-50) el día 23 de septiembre de 1999 y la segunda (80-00-50) a los 30 días después del trasplante.

El híbrido de coliflor utilizado fue "Snowman", el cual ha demostrado ser un buen material para la zona. La semilla se sembró en charolas de poliestireno en invernadero para luego ser trasplantadas al campo definitivo el 24 de septiembre de

1999. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Las parcelas consistieron en cinco surcos a doble hilera de 1.8 m de ancho por 24 m de largo. La parcela útil consistió de los tres surcos centrales, eliminando 2 m de cada extremo.

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo de acuerdo al diseño experimental planteado utilizando el paquete estadístico "Diseños Experimentales FAUANL" (Olivares, 1994). La comparación de medias se efectuó por medio de la prueba diferencia mínima significativa (DMS) cuando se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ). Las variables analizadas fueron las siguientes:

**Altura Planta.** Se eligieron al azar 10 plantas por unidad experimental a los 43 días del trasplante y se obtuvo un promedio.

**Número de Pellas Precoces.** Se obtuvo de la suma de los tres primeros cortes de pellas de la parcela útil cumpliendo con la característica de tener un tamaño comercial.

**Número de Pellas Tardías.** Se obtuvo de la suma de los dos últimos cortes de pellas de la parcela útil cumpliendo con la característica de tener un tamaño comercial.

**Número de Pellas Totales.** En total se efectuaron cinco cortes de los cuales se obtuvo la suma de coliflores comerciales de cada corte por unidad experimental para obtener el total.

**Metales Pesados en Suelo.** Se obtuvo una muestra compuesta para cada tratamiento proveniente de dos muestras simples por unidad experimental de un perfil de 0 a 15 cm, se secó al ambiente y en estufa a 85° C por 24 h. De cada muestra se obtuvo una submuestra de 500 gr, para su análisis en el laboratorio de Suelos de la Universidad Estatal de Pennsylvania. La disponibilidad de cobre, zinc, plomo, níquel y cadmio se

---

analizó con el método Diagnostic Soil Test (Diagnostic Soil Test, Sin Año) y la adsorción total de cobre, zinc, plomo, níquel, cromo y cadmio a través del método EPA 3050/3051 (EPA Method 3050/3051, 1986).

## RESULTADOS Y DISCUSION

**Altura de Planta.** Se encontró diferencia significativa (Cuadro 6.1) respecto a la variable altura de planta. La comparación de medias mostró que los tratamientos lodo líquido ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ), lodo deshidratado ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ) y fertilización (180-120-100) obtuvieron la mayor altura y fueron similares entre sí; sin embargo, fertilización (180-120-100) fue igual a lodo deshidratado ( $4 \text{ t ha}^{-1}$ ); el tratamiento con la menor altura fue el testigo. Los tratamientos con lodo ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ) tuvieron una altura a los 43 días después del trasplante de dos veces la del testigo, evidenciando una mayor disponibilidad de nutrientes, principalmente nitrógeno. Estos resultados demuestran que el efecto residual del lodo es muy marcado en el segundo ciclo de siembra, debido a que en el primer ciclo

únicamente se libera el 60% del nitrógeno en el lodo líquido y 20% en el deshidratado, sin embargo, de acuerdo con estos resultados, parte del nitrógeno liberado en el primer ciclo en el lodo líquido debió permanecer en el suelo en forma de  $\text{NH}_4$  adsorbido a los coloides del suelo o en forma de  $\text{NO}_3$ .

El tener una buena altura de planta y un buen desarrollo foliar es importante en coliflor debido a que las hojas deben de estar bien desarrolladas y de buena altura para lograr cubrir la pella y protegerla de los rayos del sol y evitar con esto que se manche. La aplicación del lodo o una dosis alta de fertilizantes es necesaria en los suelos en donde se llevó a cabo la investigación con la finalidad de obtener un buen desarrollo de hojas para lograr cubrir las pellas.

Los resultados obtenidos coinciden con la hipótesis planteada en este trabajo y con lo reportado en otras investigaciones en donde se menciona que se incrementaron todos los índices de crecimiento en maíz con dosis de lodo de  $20 \text{ t ha}^{-1}$  (Sergiento *et al.*, 1991) e incrementos en forraje de hasta 2 a 3 veces con dosis de  $22.5$  y  $45 \text{ t ha}^{-1}$  (Outwater, 1994).

**Número de Pellas Precoces.** Los tratamientos mostraron diferencia significativa, encontrando que el mayor número de pellas precoces cosechadas se obtuvo aplicando lodo líquido  $8 \text{ t ha}^{-1}$  igualando estadísticamente a lodo deshidratado  $8 \text{ t ha}^{-1}$ , a su vez este último fue similar a fertilización inorgánica (180-120-100). Fertilización inorgánica (180-120-100) a su vez fue igual a lodo deshidratado ( $4 \text{ t ha}^{-1}$ ) (Cuadro 6.1) y el testigo obtuvo el menor número de pellas precoces. Los resultados indicaron que con lodo en dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$  se incrementaron las pellas precoces comerciales cosechadas; el lodo líquido tuvo 8 veces más de pellas comerciales comparado con el testigo. Este dramático efecto residual del lodo muestra que después del primer ciclo quedan disponibles dosis altas de nutrimentos, así como materia orgánica que sigue el proceso de descomposición en el segundo ciclo y por lo tanto la liberación de nutrimentos a la solución del suelo.

Por otra parte, el lodo tuvo un efecto residual tan importante que mejoró la precocidad del cultivo, lo cual es muy importante en hortalizas debido a que se obtienen precios más elevados por unidad. Además, en los tratamientos con dosis altas de lodo se observó que aproximadamente el 70% de las pellas se cosecharon en los primeros tres cortes lo que indica se puede acortar el ciclo del cultivo disminuyendo los costos de producción, principalmente en lo que se refiere a riegos, control de plagas y malezas.

A. pesar de que aproximadamente el 68% de las pellas totales se cosecharon en los tres primeros cortes cuando se aplicó fertilización inorgánica y lodo deshidratado 4 t ha<sup>-1</sup>, el número total de pellas cosechadas en estos tratamientos fue inferior comparado con la aplicación de dosis altas de lodo, indicando que los nutrimentos aportados no son suficientes en estos tratamientos para tener un rendimiento óptimo del cultivo. Respecto al testigo se observó que el 50% se cosechó en los tres primeros cortes. Sin embargo, muy pocas pellas comerciales se cosecharon en total comparado con el resto de los tratamientos, esto se debe a que el testigo tiene muy pocos nutrimentos disponibles para la planta, deduciendo que el suelo responde bien a la aplicación de fertilizante o lodo.

**Número de Pellas Tardías.** Después de realizar el análisis de varianza y encontrar diferencia significativa, se procedió a efectuar la comparación de medias. Se observó que lodo líquido (8 t ha<sup>-1</sup>), lodo deshidratado (8 t ha<sup>-1</sup>), fertilización inorgánica (180-120-100) y lodo deshidratado (4 t ha<sup>-1</sup>) fueron iguales estadísticamente. Y que

fertilización inorgánica, lodo deshidratado (4 t ha<sup>-1</sup>) y testigo a su vez fueron iguales en lo que respecta a esta variable (Cuadro 6.1).

La diferencia entre los tratamientos en este caso no fue tan marcada como el caso de pellas precoces, debido a que los tratamientos con menor cantidad de pellas precoces se acumularon en la cosecha tardía, motivo por el cual el testigo igualó estadísticamente al tratamiento de fertilización y lodo deshidratado 4 t ha<sup>-1</sup>. Aún así, se observó la tendencia de ser superior el número de pellas cosechadas cuando se aplicó lodo en dosis de 8 t ha<sup>-1</sup>, lo que indica que aún después del segundo ciclo de siembra el efecto residual benéfico del lodo se manifestó.

Cuadro 6.1. Análisis estadístico de variables comparando lodo líquido y deshidratado vs. fertilizante inorgánico y testigo.

Tratamiento	Altura de Planta (cm)	Pellas Precoces (#)	Pellas Tardías (#)	Pellas Totales (#)
Testigo	11.73 C	20 D	22 B	42 D
Fertilización (180-120-100)	21.49 AB	110 BC	51 AB	161 C
Lodo deshidratado 4 t ha <sup>-1</sup>	18.45 B	100 C	48 AB	148 C
Lodo deshidratado 8 t ha <sup>-1</sup>	23.04 A	140 AB	57 A	197 B
Lodo líquido 8 t ha <sup>-1</sup>	24.28 A	180 A	68 A	228 A
DMS (0.05)	3.11	35.54	28.72	28.72

**Numero de Pellas Totales.** Los resultados indicaron que el mayor número de coliflores totales se obtuvo con lodo líquido 8 t ha<sup>-1</sup>, seguido por lodo deshidratado 8 t ha<sup>-1</sup>, fertilizante inorgánico que es similar a lodo deshidratado 4 t ha<sup>-1</sup> pero superior al testigo (Cuadro 6.1). Los resultados mostraron que aún después del segundo ciclo de siembra, el efecto residual del lodo líquido fue superior al deshidratado. En contraste con la literatura que indica mayor efecto inmediato con lodo líquido, pero mayor efecto residual con lodo deshidratado; por lo tanto, se espera que en próximas siembras el lodo deshidratado obtendrá mayor beneficio (Outwater, 1994). Incrementos en rendimientos se han reportado en el segundo ciclo con la aplicación de lodo deshidratado en okra, rábano y amaranthus (Haroon y Ramulu, 1990); incrementos en rendimiento de papa con dosis de 5 a 20 t ha<sup>-1</sup> (Zabulene *et al.*, 1984); en acelga con aplicación de 1.5 a 4% de lodo (Valadares *et al.*, 1983) y en tomate obteniendo rendimientos de hasta 78.5 t ha<sup>-1</sup> (Vajjala *et al.*, 1987).

Los resultados indicaron que el efecto residual de lodo en dosis de 4 t ha<sup>-1</sup> fue semejante a la aplicación de fertilizante inorgánico en dosis de 180-120-100 en cuanto a número de pellas totales, a pesar de que el suelo en donde se llevó a cabo el experimento es muy pobre en nutrimentos, evidenciado por el número de pellas obtenidas en el

testigo, en donde muy pocas pellas llegaron a cumplir el tamaño y calidad para ser consideradas como comerciales.

### **Metales pesados en suelo.**

**Cobre total adsorbido.** Los resultados indicaron que no hubo incremento en lo que respecta a esta variable en ningún tratamiento. Todos valores obtenidos se encontraron por debajo del límite de tolerancia (Cuadro 6.2) y se encuentran aproximadamente al 50% del límite de tolerancia y se pudo observar que el testigo tuvo cobre por naturaleza. Resultados de investigaciones han encontrado incrementos en los niveles de cobre con aplicaciones de 10, 30, 50 y 80 t ha<sup>-1</sup> (Trinidad *et al.*, 1993); 30 t ha<sup>-1</sup> (Kirkham, 1983); 40 a 80 t ha<sup>-1</sup> (Haroon y Ramulu, 1990); 40 a 160 t ha<sup>-1</sup> (Mashhady, 1984); 184 t ha<sup>-1</sup> (Seaker y Sopper, 1984) pero con niveles por debajo del límite de tolerancia para suelos agrícolas. Sin embargo, existen estudios que han encontrado niveles por encima del límite cuando se aplican dosis por arriba de 250 t ha<sup>-1</sup> (Gasiunas *et al.*, 1995) y 500 t ha<sup>-1</sup> (Turski, 1982).

**Cobre disponible.** Los resultados presentaron el mismo patrón que el cobre total y se encontró en el rango bajo; es decir, la concentración de cobre disponible no incrementó con dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> de lodo (Cuadro 6.2), lo que indica que no existe peligro de toxicidad para la producción de cultivos agrícolas. Además, se observó que sólo una pequeña fracción total del cobre está disponible y se debe a que se precipita con el suelo permaneciendo en la fase sólida como fracción orgánica de cobre (Seedq *et al.*, 1992). Se reporta que la disponibilidad del cobre es gobernada por el contenido total de cobre y dosis aplicada de lodo (Taylor *et al.*, 1995). Estudios indican que sólo el 10% (Lake *et al.*, 1984) y menos del 1% del total del cobre está disponible (Taylor *et al.*, 1995),

comparado con los resultados obtenidos en este experimento donde indicó que en promedio 4.2% del cobre total adsorbido, está en forma disponible.

**Zinc total adsorbido.** A pesar de que los niveles de zinc total adsorbido se incrementaron con dosis de 8 t ha<sup>-1</sup> de lodo (Cuadro 6.2), éstos se encontraron por debajo del límite de tolerancia. Se observó que el zinc total adsorbido en todos los tratamientos está al 70% del límite de tolerancia, lo que indica que el suelo contiene zinc en altas concentraciones y con la aplicación de lodos 4 t ha<sup>-1</sup> la cantidad agregada es muy poca, pero la aplicación de 8 t ha<sup>-1</sup> incrementó en 13% el total de zinc en el suelo. Estudios similares indicaron incrementos en zinc con aplicaciones de lodos de 10, 30, 50 y 80 t ha<sup>-1</sup> (Trinidad *et al.*, 1993); 30 t ha<sup>-1</sup> (Kirkham, 1983); 40 a 80 t ha<sup>-1</sup> (Haroon y Ramulu, 1990); 40 a 160 t ha<sup>-1</sup> (Mashhady, 1984); 184 t ha<sup>-1</sup> (Seaker y Sopper, 1984) pero en todos los casos los niveles se encontraron por debajo del límite de tolerancia para suelos agrícolas. Sin embargo, existen estudios que han encontrado niveles por encima del límite cuando se aplican dosis por arriba de 250 t ha<sup>-1</sup> (Gasiunas *et al.*, 1995) y 500 t ha<sup>-1</sup> (Turski, 1982). Resultados de investigaciones han determinado que con dosis de 25, 50 y 75 t ha<sup>-1</sup> se agregaron 188, 374 y 564 kg ha<sup>-1</sup> de zinc total, respectivamente. La forma predominante del zinc en suelos alcalinos es de carbonatos de zinc, que compone la fase sólida de zinc no disponible para los cultivos (Taylor *et al.*, 1995).

**Zinc disponible.** Se observó que la aplicación de lodo de 8 t ha<sup>-1</sup> incrementó el nivel de zinc disponible hasta el rango medio, lo que significa que es el óptimo para los cultivos. Se puede apreciar que existe mayor disponibilidad con el lodo 8 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 6.2), lo que coincide con la literatura en donde se menciona que el zinc disponible es el elemento que determina en muchas ocasiones el incremento en el rendimiento de los

cultivos, después del nitrógeno y fósforo cuando se aplica lodos (Trinidad *et al.*, 1993; Haroon y Ramulu, 1990; Fresquez *et al.*, 1991). Se observó que la proporción de zinc disponible es más alta en suelos con lodo  $8 \text{ t ha}^{-1}$  y que tiene un patrón proporcional con la concentración de zinc total adsorbido, lo que coincide con la literatura revisada (O'Riordan *et al.*, 1994; Yamada *et al.*, 1985). En cambio, el testigo y fertilizante inorgánico tienen muy baja disponibilidad encontrándose en los niveles bajos lo que indica que es deficiente. A pesar de que los resultados obtenidos en este experimento mostraron el efecto favorable del zinc con la aplicación de lodo, es necesario que cumpla con la norma y dosis recomendada debido a que se han encontrado suelos con altos niveles de zinc ocasionando toxicidad en cultivos con la aplicación de lodo (Diez, 1982). Se reporta que sólo el 10% (Lake *et al.*, 1984) y menor del 1% del zinc total está disponible (Taylor *et al.*, 1995). Sin embargo, los resultados obtenidos en este experimento indican que en promedio el 5.1% del zinc total adsorbido, está disponible.

**Plomo total adsorbido.** Se observaron ligeros incrementos con la aplicación de lodo deshidratado  $8 \text{ t ha}^{-1}$  comparado con el testigo según los resultados presentados en el Cuadro 6.2. Ligeros incrementos se observaron con la adición de lodo deshidratado en dosis de  $4 \text{ t ha}^{-1}$  y líquido  $8 \text{ t ha}^{-1}$  y se observó que el fertilizante inorgánico obtuvo el nivel más bajo. Sin embargo, todos los niveles de los tratamientos se encontraron por debajo del límite de tolerancia. Otras investigaciones han encontrado incrementos en plomo total al aplicar lodo en dosis de 40 a  $80 \text{ t ha}^{-1}$  (Haroon y Ramulu, 1990). Mientras que en otra investigación en donde se aplicaron dosis de 10, 30, 50 y  $80 \text{ t ha}^{-1}$  se presentó poca influencia en los niveles de plomo total (Trinidad *et al.*, 1993). Se ha reportado que con dosis de 25, 50 y  $75 \text{ t ha}^{-1}$  se agregaron 2.9, 5.9 y  $8.8 \text{ kg ha}^{-1}$  de plomo (O'Riordan *et al.*, 1994). Es importante tener en cuenta la dosis aplicada debido a

que a pesar de que el lodo cumpla con la norma se han encontrado concentraciones en suelo altas con dosis de  $250 \text{ t ha}^{-1}$  (Gasiunas *et al.*, 1995) y  $1,000 \text{ t ha}^{-1}$  (Turski, 1982). Los resultados de este experimento indicaron que el testigo contiene niveles de plomo total adsorbido de un 18% comparado con el límite de tolerancia, lo que indica que el suelo en forma natural contiene plomo y la forma predominante en el suelo es carbonato de plomo (Taylor *et al.*, 1995).

**Plomo disponible.** Todos los tratamientos se encontraron en el nivel intermedio (Cuadro 6.2), con ligero incremento cuando se aplicó lodo líquido en dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$ . En este caso se observó que a pesar de que el plomo total fue superior con lodo deshidratado  $8 \text{ t ha}^{-1}$  la mayor disponibilidad se obtuvo en lodo líquido; lo que indicó que cuando se aplica en forma líquida la disponibilidad es mayor independientemente de la concentración total, esto coincide con la literatura revisada que indica que los elementos esenciales y no esenciales se encontraron con mayor disponibilidad inmediata

con lodo líquido (Outwater, 1994; Sopper, 1993). Otros estudios han encontrado que en suelo monitoreado durante 10 años se incrementó el nivel de plomo en 4.1 veces con incrementos de 24 veces la dosis del lodo, lo que indica que la proporción disponible del plomo no sigue una proporción directa a la concentración de plomo total (Hargitai, 1990). Resultados de otros estudios indican que sólo el 10% del total está disponible (Lake *et al.*, 1984) y menos del 1% (Taylor *et al.*, 1995), mientras que los resultados de este experimento indicaron que en promedio el 13.7% del plomo total adsorbido se encontró disponible.

**Níquel total adsorbido.** No se encontraron incrementos de acuerdo con los resultados presentados en el Cuadro 6.2; además, se observó que los niveles encontrados en todos los tratamientos son aproximadamente el 50% del límite de tolerancia y que al

igual que los demás elementos, el suelo contiene níquel por naturaleza debido a que se encontró en el testigo. Existen estudios que indican que el nivel de níquel se incrementa con la aplicación de lodo en dosis de 40 a 80 t ha<sup>-1</sup> (Haroon y Ramulu, 1990) y 32 t ha<sup>-1</sup> (Kirkam, 1983), incluso en algunos casos por encima del límite de tolerancia; por lo que es necesario conocer la calidad del lodo y aplicar solamente dosis recomendadas (Diez, 1982).

**Níquel disponible.** La concentración se encontró en el nivel bajo y se comportó similar en todos los tratamientos (Cuadro 6.2), lo que indica que el uso de lodo es seguro con la calidad y dosis utilizados en este experimento. Se observó una gran diferencia entre el níquel total adsorbido y disponible, debido a que la mayor parte del níquel se encuentra en forma sólida como carbonatos de níquel no disponible para la absorción por las raíces (Taylor *et al.*, 1995). Monitoreando níquel durante 10 años, con la adición de 24 veces la dosis de lodo, se observó que solamente se incrementó la porción móvil en el suelo 4.1 veces (Hargitai, 1990), lo que indica que no existe una relación directa entre el níquel total y disponible. Resultados de otras investigaciones indican que sólo el 10% del total está disponible (Lake *et al.*, 1984) y menor del 1% (Taylor *et al.*, 1995), mientras que los resultados obtenidos en este experimento indicaron en promedio el 1.8% del total del níquel adsorbido, se encontró en forma disponible.

**Cadmio total adsorbido.** Los resultados obtenidos en todos los tratamientos se encontraron por debajo del límite de detección del equipo, indicando que la concentración de cadmio en el lodo y la dosis aplicada son seguros para los cultivos agrícolas (Cuadro 6.2). Sin embargo, debido a que se han reportado casos donde los niveles se encontraron por encima del límite de tolerancia (Mashhady, 1984; Adams y

Sanders, 1984), es necesario conocer la calidad del lodo y no sobrepasar la dosis recomendada.

Cuadro 6.2. Concentración de metales pesados totales y disponibles en suelo comparando lodo líquido y deshidratado vs fertilizante inorgánico y testigo.

Metal pesado	Tratamientos					Rango**		
	T1	T2	T3	T4	T5	Bajo	Intermedio	Alto
Cobre total* (kg ha <sup>-1</sup> )	3.98	3.16	3.34	3.73	3.50			77
Cobre disponible (kg ha <sup>-1</sup> )	0.15	0.12	0.14	0.15	0.19	0.0-0.7	0.7 - 14.7	14.7 - 25.7
Zinc total* (kg ha <sup>-1</sup> )	17.99	15.06	17.26	19.46	20.38			25.7
Zinc disponible (kg ha <sup>-1</sup> )	0.53	0.37	0.60	1.18	1.94	0.0-0.7	0.7 - 27.5	27.5 - 36.7
Plomo total* (kg ha <sup>-1</sup> )	3.15	2.97	3.33	4.46	3.54			19.3
Plomo disponible (kg ha <sup>-1</sup> )	0.40	0.46	0.41	0.45	0.67	0.0-0.2	0.2 - 7.3	7.3 - 18.7
Níquel total* (kg ha <sup>-1</sup> )	4.08	3.64	3.77	3.86	3.90			7.7
Níquel disponible (kg ha <sup>-1</sup> )	0.08	0.07	0.07	0.09	0.03	0.0-0.2	0.2 - 1.8	1.8 - 9.2
Cadmio total* (kg ha <sup>-1</sup> )	≤0.07	≤0.07	≤0.07	≤0.07	≤0.07			0.13
Cadmio disponible (kg ha <sup>-1</sup> )	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01	0.0 - 0.04	0.04 - 0.18	0.18 - 0.73
Cromo total* (kg ha <sup>-1</sup> )	4.16	2.98	3.61	3.94	3.78			6.43

\* Adsorbido

\*\* Rango de acuerdo con EPA method 3050/3051, 1986)

T1= testigo

T2= fertilización

T3= lodo deshidratado 4 t ha<sup>-1</sup>

T4= lodo deshidratado 8 t ha<sup>-1</sup>

T5= lodo líquido 8 t ha<sup>-1</sup>

T5= lodo líquido 8 t ha<sup>-1</sup>

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**Cadmio disponible.** Al igual que el cadmio total, la concentración disponible se encontró por debajo del límite de detección del equipo (Cuadro 6.2) indicando que su uso es seguro para cultivos agrícolas. Sin embargo, se ha reportado que con incrementos de 24 veces la dosis del lodo durante 10 años se incrementó el cadmio móvil en 12.1 veces (Hargitai, 1990) y el resto se encontró en forma de carbonatos de cadmio en la fase sólida no disponible para la absorción por las raíces (Taylor *et al.*, 1995). El cadmio es un elemento bien estudiado debido a que tiene la característica de ser tóxico a

animales a niveles que no es fitotóxico, el caso típico es la enfermedad "Itai-Itai" provocada por consumos de arroz contaminado con cadmio sin presentar fitotoxicidad (Outwater, 1994). En este caso no fue posible calcular el porcentaje de cadmio disponible con respecto al total, debido a que los niveles encontrados están por debajo del límite de detección del equipo.

**Cromo total.** En este caso el testigo presentó niveles ligeramente superiores a los tratamientos con lodo y con menor concentración se encontró el fertilizante inorgánico (Cuadro 6.2). Los resultados obtenidos no coinciden con lo esperado, debido a que el tratamiento con fertilizante o con lodo debieron ser superiores, lo que nos indica que la precisión del equipo o la metodología utilizada no es suficiente para detectar el incremento de cromo total adsorbido. Además, la literatura revisada indica que los fertilizantes principalmente fosforados contienen mayor cantidad de cromo comparado con lodo y como consecuencia debiera ser mayor. El consejo nacional de investigación

de Canadá ha reportado que los fertilizantes fosforados contienen de 30 hasta 3,000 mg kg<sup>-1</sup> de cromo comparado con el estiércol con rangos de 6 a 56 mg kg<sup>-1</sup> (Alloway, 1992). Otros estudios indican incrementos en cromo con aplicaciones de lodo en dosis de 32 t ha<sup>-1</sup> (Kirkam, 1983) y de 40 a 80 t ha<sup>-1</sup> (Haroon y Ramulu, 1990) pero dentro de los límites de tolerancia. Se debe recalcar que con la dosis de fertilizante fosforado, utilizando como fuente el 11-52-00 se agregaron solamente 230 kg ha<sup>-1</sup> comparado con el lodo que se agregó 4,000 y 8,000 kg ha<sup>-1</sup> base seca.

## CONCLUSIONES

1. Se obtuvo mayor altura de plantas de coliflor al aplicar al suelo lodo líquido ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ), deshidratado ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ) y fertilizante inorgánico.
2. El comportamiento en altura de planta y rendimiento fue similar aplicando lodo ( $4 \text{ t ha}^{-1}$ ) y fertilizante inorgánico (180-120-100).
3. Aplicando  $8 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo en forma líquida y deshidratada se obtuvo el mayor número de pellas comerciales precoces.
4. Aplicando  $8 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo en forma líquida se obtuvo el mayor número de pellas comerciales totales.
5. Se observó un ligero incremento de zinc disponible y total adsorbido con dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo líquido y deshidratado.
6. Los resultados indicaron que los metales pesados disponibles y totales adsorbidos en todos los tratamientos estuvieron por debajo del límite de tolerancia.
7. Se cumple con la hipótesis planteada debido a que se incrementó el número de pellas comerciales, sin alterar significativamente los niveles de metales pesados.

## BIBLIOGRAFIA

Adams, T.McM. and J.R. Sanders. 1984. The forms of zinc, copper and nickel in sludge treated soils and their relation to the composition of the soil solution.

Environmental Contamination. 400-405; 6 ref. Edinburg, U.K.:

Alloway. B.J. 1992. Heavy metals in soil. John Wiley and Sons, Inc. New York,

U.S.A.

Cox, A.; T. Granato; R. Pites and P. Tata. 2002. Uotake of Cd and Zn by garden vegetables grown in nuearth biosolids amended soil. 16<sup>th</sup> Annual Residual and Biosolid Management Conference. Austin, Tx U.S.A.

Diagnostic Soil Test. Sin Año. Standard Test Method for Diagnostic Soil Test for

Plant Growth and Food Chain Protection. ASTM Designation: D5435-93.

Annual Book of ASTM Standarsd, Vol. 14.02 American Society for Testign and Materials. 1916 Race St. Phila. PA, 19103.

Diez, T. 1982. Improvement and contamination os soils be very high levels of sewage sludge near a big city and possibilities for their future use and amelioration. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. 33, 159-169; 12 ref.

EPA Method 3050/3051. 1986. Test Methods for Evaluating Solid Waste. Volume IA: 3 rd Edition. EPA/SW-846. National Technical Information Service. Springfield, Va.

Fresquez, P.R.; R. Aguilar; R.E. Francis and E.F. Aldon. 1991. Heavy metal uptake by blue grama growing in a degraded semiarid soil amended with sewage sludge. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Albuquerque, NM 87106, USA. *Water,-Air,-and-Soil-Pollution*. 1991, 57-58, 903-912; 25 ref.

Gasiunas, V.; J. Flockenstein and E. Schug,. 1995. Effect of sewage sludge applications on heavy metal concentrations of Lithuanian soils. *Landbauforschung Volkenrode*. 45: 1, 1-3; 4 ref.

Hargital, L. 1990. The mobility of toxic heavy metals as affected by the environmental protectional capacity of soils. Transactions 14 th International Congress of Soil Science, Kyoto, Japan. Volume II, 102-107; 3 ref.

Haroon, ARM and U.S. Ramulu. 1990. Trace behaviour of certain vegetables to trace metal additions through application of high rates of sewage sludge to soils.

Volume IV. 1990, 192-197; 5 ref. Kyoto, Japan; International society of Soil Science.

Kirkham, M.B. 1983. Elemental content of soil, sorghum and wheat on sludge injected agricultural land. *Agriculture, ecosystems and Environment*. 9: 3, 281-292; 25 ref.

Lake, D.L.; P.W. Kirk and J.N. Lester. 1984. Fractionation, Characterization, and speciation of heavy metals in sewage sludge and sludge amended soils. *Journal of Environmental Quality*. 13: 2, 175-183; 89 ref.

Lynne, H.M.; E. Epstein and T. Logan. 2001. Comparing the characteristics, risks and benefits of soil amendments and fertilizers used in agriculture. 16<sup>th</sup> Annual Residual and Biosolids Management Conference. San Diego, USA.

Mashhady, A.S. 1984. Heavy metals extractable from a calcareous soil treated with sewage sludge. *Environmental Pollution*, B. 8: 1, 51-62; 23 ref.

Narwall, R.P.; B.R. Singh and A.R. Panhwar. 1983. Plant availability of heavy metals in a sludge treated soil: I. Effect of sewage sludge and soil pH on the yield and chemical composition of rape. *Journal of Environmental Quality*. 12: 3, 358-365; 29 ref.

O'Riordan, E.G.; V.A. Dodd; G.A. Fleming and H. Tunney. 1994. Repeated applications of a metal rich sewage sludge to grassland: I. Effects on metal levels in soil. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 33: 1, 41-51; 38 ref.

Outwater, A.B. 1994. Reuse of sludge and minor wastewater residuals. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida, U.S.A. pp 67-76.

Seaker, E.M. and W.E. Sopper. 1984. Trace metal and nitrate-nitrogen concentrations in a mine spoil environment following reclamation with sewage sludge. *Environmental Contamination* 1984, 448-493; 9 ref., 4 tab. Edinburgh, UK.

Sergiento, L.I.; N.A. Mosienko and V.P. Tyan. 1991. Content of heavy metals in ecosystems following use of sewage sludge as fertilizer. *Doklady Vsesoyuznoi Ordena Lenina I Ordena Trudovogo Krasnogo Znameni Akademii Sel Skokhozyaistvennykh Nauk im. V.I. Lenina*. No. 8, 56-58; 10 ref.

Seedq, M.A.; S. Soliman and N. Salem. 1992. Movement and distribution of Fe, Mo, Zn and Cu in sandy soil as affected by the application of sewage sludge. *Egyptian Journal of Soil Science*. 32: 3, 319-330; 12 ref.

Sopper, W.E. 1993. Municipal sludge use in land reclamation. Lewis Publishers. Washington, D.C. USA.

Taylor, R.W.; H. Xiu; A.A. Mehadi; J.W. Shuford and W. Tadesse. 1995. Fractionation of residual of cadmium, copper, nickel, lead, and zinc in previously sludge amended soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 26: 13-14, 2193-2204; 18 ref.

Trindade, A.V.; C.A. Vildoso; L.M. Costa; R.C. Muchovej and J.F. Gallardo. 1993. Effect of sewage effluent on the content of heavy metals in soil, the growth and nutrition of maize. Departamento de Microbiologia, Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, Brazil. El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación. Actas del 12 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Salamanca, Sevilla (España) 19 a 26 de Septiembre de 1993. 1993, 1776-1783; 10 ref.

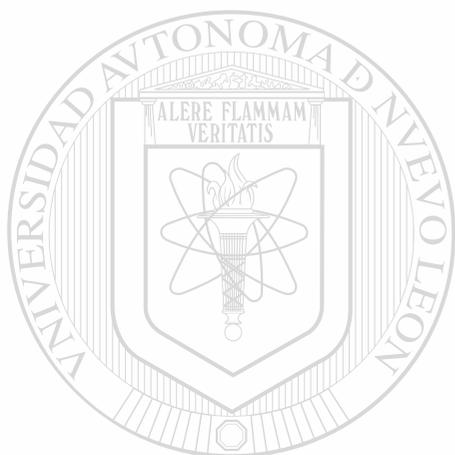
Turski, R. 1982. Heavy metal contents in sites after fertilization with sewage sludge. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. 33, 171-175; 3 ref., 2 fig.

Valadares, J.M.; M. Gal; U. Mingelfrin and A.L. Page 1983. Some heavy metals in soils treated with sewage sludge: their effects on yield, and their uptake by plants. Journal of Environmental Quality. 1, 49-57; 33 ref.

Vajjala, M.; R. Ciofu; V. Popescu; N. Dumitr and E. Rusu. 1987. An investigation on the feasibility of using sewage sludge as a fertilizer for growing vegetables. Lucrari Stiintifice, Institutul Agronomic "Nicolae Balcescu", B Horticultutura. 30, 15-26; 5 ref.

Yamada, M.; T. Ebihara; S. Matsumura and K. Yamada. 1985. Influence on soil and crops of cumulative applications of sludge. *Gunma Journal of Agricultural Research*, A. No. 2 43-52; 15 ref.

Zabulene, Y.U.; E. Lukoshynene; V. Shivil' pene; A. Antanaitis and T. Tamulis. 1984. Application of sewage sludge as a fertilizer. *Khimiya V Sel SKOM Khozyaistve*. No. 12, 14-15.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## Capítulo 7

### RESUMEN GENERAL

Los resultados obtenidos en los experimentos realizados se describen a continuación:

**Crecimiento de Plantas.** Se observó en general un mayor crecimiento de las plantas con la aplicación de lodos, comparado con fertilizante inorgánico y testigo. Este mayor crecimiento tiene una gran influencia que se manifiesta en precocidad y mayor rendimiento de los cultivos. Los elementos que aumentan su concentración al aplicar lodo como mejorador del suelo son nitrógeno, fósforo y zinc. Además de la materia

orgánica incorporada que incrementa la actividad microbiana, la cual al degradar la materia orgánica hace que los nutrimentos de lenta liberación estén disponibles para las plantas, a diferencia del fertilizante inorgánico que solamente aporta nitrógeno, fósforo y potasio pero que un alto porcentaje se lixivía o precipita, de tal forma que solamente una porción del fertilizante que se aplicó, queda disponible para las plantas.

**Precocidad de Cosecha.** En esta variables se obtuvieron cosechas precoces en los cultivos de tomate y coliflor con la aplicación de lodo, lo que implica que el costo de producción se reduce debido a los gastos que implican los riegos, control de malezas y control de insectos y enfermedades. Además, normalmente los precios más altos en hortalizas están asociados a los primeros productos que salen al mercado lo cual puede ser una gran diferencia en la utilidad obtenida.

**Rendimiento.** Se observaron incrementos en rendimientos en los cultivos de tomate, coliflor, maíz y trigo. Se observó que con dosis de lodo de  $8 \text{ t ha}^{-1}$  se obtuvieron rendimientos superiores, comparado con dosis recomendadas de fertilizante inorgánico para los cultivos sembrados aún, y cuando la aplicación de lodo fue única a diferencia del fertilizante inorgánico cuya aplicación se efectuó en cada ciclo de siembra. Con la aplicación de lodo deshidratado en dosis de  $4 \text{ t ha}^{-1}$  se observó un comportamiento similar comparado con el fertilizante inorgánico.

**Efecto Residual.** Se encontró una marcada diferencia entre el lodo líquido y deshidratado en lo que respecta al efecto inmediato y residual. Se observó que el lodo líquido tiene un efecto inmediato después de su aplicación en los cultivos, pero su efecto residual a través de los ciclos de siembra es menor comparado con el deshidratado que tuvo un efecto residual positivo en el rendimiento incluso hasta el cuarto ciclo. Esto indica que el efecto residual del lodo es un aspecto muy importante a considerar al

---

realizarse un estudio de viabilidad económica del uso del lodo en la agricultura.

**Metales Pesados en Porciones Comestibles de Tomate, Maíz y Trigo.** Los niveles de los metales pesados en las porciones comestibles de tomate, maíz y trigo se encontraron por debajo del límite permisible, lo que indica que la aplicación del lodo no es un factor de riesgo para la salud si se utiliza en las dosis y en los suelos en donde se llevaron a cabo las investigaciones. Es bien sabido que los factores que tienen mayor influencia en la absorción de metales pesados con el uso de lodos son: dosis aplicada, calidad del lodo, cultivo y pH del suelo. Lo que indica que estos factores han sido favorables en este caso, tanto en el ciclo inmediato a la aplicación del lodo, como en subsecuentes ciclos de siembra.

**Plomo.** Con respecto a la concentración del plomo en porciones comestibles no se detectó con el equipo utilizado, lo que indica que las porciones comestibles estudiadas no almacenan este metal o que la cantidad absorbida por las raíces es muy baja.

**Níquel.** En este caso los niveles no se detectaron en el caso del tomate y en el caso del trigo fue inferior a la concentración encontrada en el testigo. Solamente en el caso del maíz se observaron valores superiores al aplicar lodo en dosis  $8 \text{ t ha}^{-1}$ . Sin embargo, todos los niveles en las porciones comestibles estudiadas se encontraron por debajo de los límites permisibles para los cultivos agrícolas.

**Cadmio.** Su concentración en maíz y tomate se encontró por debajo del límite de detección del equipo utilizado. En el caso del trigo todos los tratamientos estuvieron por debajo del límite de detección o muy cerca, no habiendo diferencia con respecto al fertilizante inorgánico y testigo. En todos los casos las concentraciones encontradas están muy por debajo del límite permisible para cultivos agrícolas.

**Cobre.** Los resultados mostraron que los niveles de cobre en todos los casos estuvieron por debajo del límite permisible. Solamente se observó un ligero incremento en tomate con la aplicación de lodo comparado con el fertilizante inorgánico, no así con el testigo. En el caso de maíz y trigo no se observó diferencia entre los tratamientos.

**Zinc.** Respecto a este metal en el caso del trigo no se encontró diferencia entre los tratamientos. En el caso del tomate se observó un ligero incremento con la aplicación de lodo deshidratado  $8 \text{ t ha}^{-1}$  comparado con fertilizante inorgánico y en el caso del maíz se observaron diferencias notorias con lodo en dosis de  $8 \text{ t ha}^{-1}$  comparado con testigo, fertilizante inorgánico y lodo en dosis de  $4 \text{ t ha}^{-1}$ . Sin embargo, todas las porciones comestibles y en todos los tratamientos se encontraron niveles por debajo del permitido para cultivos agrícolas.

**Metales Pesados en Suelo.** Al igual que los metales pesados en porciones comestibles, los metales pesados en el suelo en todos los tratamientos de este estudio mostraron valores por debajo del límite de tolerancia. En este caso los factores con mayor influencia que dan la pauta del uso adecuado del lodo son: dosis aplicada, calidad del lodo y pH del suelo. Lo que indica que estos factores han sido favorables en este caso y que el uso del lodo en las dosis aplicadas no tiene ningún efecto negativo respecto a metales disponibles y total adsorbido. A continuación se describen los metales pesados analizados en el suelo.

**Cadmio.** Tanto el cadmio disponible como el total adsorbido se encontraron por debajo de los límites de detección del equipo utilizado en todos los tratamientos.

**Níquel.** Después del primer ciclo de siembra se observó un ligero incremento en el níquel disponible, pero sin rebasar el rango bajo. No se presentó esta diferencia en el segundo ciclo de siembra. Respecto al níquel total adsorbido, todos los tratamientos

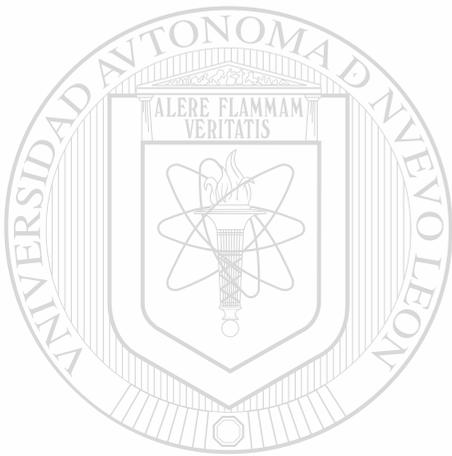
fueron similares en ambos ciclos de siembra.

**Plomo.** Se observó un ligero incremento en el plomo total adsorbido con dosis de lodo de  $8 \text{ t ha}^{-1}$  en ambos ciclos de siembra, pero por debajo del límite de tolerancia permitida. Lo mismo sucedió en el caso del plomo disponible encontrándose en ambos ciclos de siembra en el rango medio.

**Cromo.** Ligeros incrementos se observaron con la aplicación de lodo líquido y deshidratado, pero por debajo de límite de tolerancia.

**Cobre.** Se observaron ligeros incrementos en el cobre total adsorbido y disponible en el primer ciclo de siembra en los tratamiento de  $8 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo, pero sin sobrepasar el rango bajo. En el segundo ciclo de siembra todos los tratamientos mostraron similitud.

**Zinc.** Este elemento fue el que mostró mayor incremento con dosis de lodo de 8 t ha<sup>-1</sup>, incluso alcanzando el rango intermedio en el caso del zinc disponible a diferencia del fertilizante inorgánico, testigo y lodo 4 t ha<sup>-1</sup> que se encontraron en el rango bajo en ambos ciclos de siembra. En el caso del zinc total adsorbido presentó la misma tendencia, encontrándose en todos los casos por debajo del límite de tolerancia.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

