

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE LODOS TEXTILES
INDUSTRIALES CRUDOS EN LA CALIDAD,
PRODUCCION Y COMPOSICION QUIMICA DEL FRUTO
DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) Y LECHUGA (*Lactuca
sativa*)**

WILLIAN ALFREDO NARVAEZ ORTIZ

TESIS

Presentado como requisito para
Obtener el grado de:

**Maestro en Ciencias
En Horticultura**



Universidad Autónoma Agraria

“Antonio Narro”

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre de 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE LODOS TEXTILES INDUSTRIALES CRUDOS EN LA
CALIDAD, PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FRUTO DE TOMATE
(*Solanum lycopersicum*) Y LECHUGA (*Lactuca sativa*)

TESIS

Por:

WILLIAN ALFREDO NARVAEZ ORTIZ

Que se Somete a Consideración del H. Jurado Examinador como

Requisito Parcial, para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal:

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor:

Dr. Homero Ramírez Rodríguez

Asesor:

Dr. Valentín Robledo Torres

Asesor:

Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo

Dr. Fernando Ruíz Zarate
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2012.

DEDICATORIA

A la Vida

“Lo importante en la vida no es el triunfo sino la lucha. Lo esencial no es haber vencido, sino haber luchado bien.”
(Barón Pierre de Coubertin)

A mis padres:

María Adelaida Ortíz Ortíz
Manuel Moisés Narváez Medina

Mi muy grato y eterno agradecimiento para ellos por su apoyo y confianza otorgada desde el primer momento de vida, este éxito es de ustedes. Con todo cariño por que son los seres que mas amo, respeto y admiro, que dios me los bendiga y me permita tenerlos junto a mi por mucho mas tiempo.

A mis Hermanos:

Johanna Araceli Narváez Ortiz
Edwin Esteban Narváez Ortiz

Queridos hermanos este esfuerzo es de ustedes gracias por todo el apoyo incondicional desde la distancia, los quiero mucho. Gracias

A mis Buenos amigos:

Alex Gómez Méndez, Víctor Basabe, Enrique Guzmán Téllez, Ariana García, Lupita Flores a quienes aprecio mucho por su apoyo y consejos por que sin ellos no hubiera sido lo mismo. Gracias.

Ema Laura García Enciso con mucho cariño y aprecio por tu valioso apoyo, consejos, y sobre todo mucha paciencia durante esta etapa de crecimiento profesional y personal. Gracias.

AGRADECIMIENTOS

A mi “**ALMA TERRA MATER**” la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme formado como persona y como profesional cuyo nombre siempre lo llevaré en alto.

Al Gobierno de México quien a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) me otorgó la beca para realizar mis estudios de postgrado.

Al **Dr. Adalberto Benavides Mendoza** por su confianza al permitirme formar parte de su equipo de trabajo y otorgarme la oportunidad de realizar esta investigación bajo su supervisión así como su tiempo, conocimiento y paciencia para concluir una etapa más de mi formación profesional.

Al **Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo** por brindarme sus consejos, sugerencias y el apoyo brindado para la culminación de esta investigación.

Al **Dr. Valentín Robledo Torres** por su apoyo y facilidades brindadas durante el trabajo experimental para la elaboración de esta investigación.

Al **Dr. Homero Ramírez Rodríguez** por su asesoría y su contribución en la elaboración de esta investigación.

A la **academia de maestros del programa de la Maestría en Ciencias en Horticultura** por todo su tiempo, sus enseñanzas y paciencia dedicada a la formación de profesionales.

A mi amigo el **MC. Enrique Guzmán Téllez**, por la amistad otorgada y por todos los consejos, recomendaciones y enseñanzas compartidas durante nuestra estancia en el postgrado.

Al **T.L.Q. Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel**, por el apoyo otorgado y asesoría brindada durante el trabajo realizado en el Laboratorio de Nutrición Animal de la UAAAN.

A la **Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza** y el personal del laboratorio de nutrición vegetal (**COLPOS**) por todas las facilidades brindadas para el trabajo de laboratorio durante mi estancia en esta institución.

Al **Dr. Alberto Sandoval Rangel**, **Dr. Mario Vázquez Badillo**, **Dra. Rosalinda Mendoza Villareal**, **M.C. Martha Ochoa**, **M. C. Erika Rivas Martínez**, **Ing. Auri Gutiérrez**, gracias por todo el apoyo que me han brindado.

A los funcionarios de la Subdirección de Postgrado de la UAAAN: **Ana Ma. Aguirre Gámez** y **Yolanda Sánchez** por sus amables atenciones, paciencia y facilidades otorgadas.

A mis amigos: el Ing. Mariano Martínez Hernández, Ing. Alfredo Patichtan Moreno, MC. Isidro Morales, Ing. Neymar Camposeco, Ing. Carlos López.

“GRACIAS A TODOS”

COMPENDIO

EFECTO DE LA APLICACIÓN DE LODOS TEXTILES INDUSTRIALES CRUDOS EN LA CALIDAD, PRODUCCION Y COMPOSICION QUIMICA DEL FRUTO DE TOMATE (*Solanumlycopersicum*) Y LECHUGA (*Lactuca sativa*)

POR

WILLIAN ALFREDO NARVAEZ ORTIZ

**MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. DICIEMBRE 2012

Dr. Adalberto Benavides Mendoza –Asesor–

Palabras clave: lodos industriales, metales pesados, patógenos, fertilizantes.

Los lodos industriales representan un grave problema de contaminación, por tal motivo el determinar la factibilidad de aprovechar estos residuos para darle un uso agrícola y ambiental es de vital importancia, es por eso que esta investigación tiene como objetivo determinar el efecto de los lodos textiles crudos aplicados al sustrato de crecimiento de tomate y lechuga sobre su calidad, productividad y composición química. Los lodos fueron caracterizados

con la NOM-004-SEMARNAT-2002 y NOM-021-RECNAT-2000. Mostrando los resultados características adecuadas para el uso agrícola. Se utilizo tomate de la variedad Rio grande y lechuga de la variedad Great lakes, que fueron trasplantados a macetas de 14 litros con sustrato de peatmoss y perlita (70:30 en volumen) en donde se mezclo el lodo textil en concentraciones de 0, 5, 10, 15 y 20%. La nutrición se realizo aplicando una solución Steiner. En frutos de tomate la producción no fue modificada, los minerales como Na, Zn y Fe aumento, mientras para el N, P, Ca, Mg y Cu no mostro cambios significativos, el Phde los frutos no se vio modificado, mientras los sólidos solubles totales incrementaron. Para el caso de lechuga su biomasa no se vio afectada, los minerales como N, P. K. Ca, Na, Zn, Cu, Mn y Fe aumentaron, así como la concentración de vitamina C y la capacidad antioxidante total.

No se encontró transferencia de metales pesados por parte del lodo a ninguno de los dos cultivos, en cambio si se detecto transferencia de huevos de helmintos en valor mayor al permitido por la norma en los frutos de tomate de plantas tratadas con la mayor concentración de lodos. Así como transferencia de coliformes fecales y huevos de helmintos a las plantas de lechuga con valores por debajo de los establecidos por las normas de salud.

ABSTRACT

EFFECT OF THE APPLICATION OF INDUSTRIAL TEXTILE RAW SLUDGE IN THE QUALITY, PRODUCTION AND CHEMICAL COMPOSITION OF TOMATO FRUIT (*Solanum lycopersicum*) AND LETTUCE (*Lactuca sativa*)

By

WILLIAN ALFREDO NARVAEZ ORTIZ

**MASTER OF SCIENCES
IN HORTICULTURE**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. DECEMBER 2012.

Dr. Adalberto Benavides Mendoza –*Adviser*–

Key words: Industrial sludge, heavy metals, pathogens, fertilizers.

The industrial sludge represent a serious air pollution problem, for that reason, the determine the feasibility of taking advantage of these waste to give it a use agricultural and environmental is of vital importance, that is why this research aims to determine the effect of the textile raw sludge applied to the substrate for

growth of tomato and lettuce on its quality, productivity and chemical composition. Sludge were characterized with the NOM-004-SEMARNAT-2002 and NOM-021-RECNAT-2000. Was used for the tomato variety Rio Grande and lettuce of the variety Great lakes, which were transplanted to pots of 14 liters with substrate of peat moss and perlite (70:30 volume) in where it blended the mud textile in concentrations of 0, 5, 10, 15 and 20 %. Nutrition was carried out by applying a solution Steiner. In tomato fruit production was not changed, the minerals, such as Na, Zn and Fe increase, while for N, P, Ca, Mg and Cu showed no significant changes, the Ph of the fruit was not changed, while the total soluble solids increased. In the case of lettuce its biomass was not affected, the minerals, such as N, P. K. Ca, Na, Cu, Zn, Mn and Fe increased, as well as the concentration of vitamin C and the total antioxidant capacity. Not found transfer of heavy metals by part of the sludge to none of the two crops, on the other hand if detected transfer of helminth eggs in value greater than allowed by the rule in the tomato fruits of plants treated with the highest concentration of sludge. As well as transfer of fecal coliforms andhelminth eggs to lettuce plants with values below the established by the rules of health.

INDICE DE CONTENIDO

PAGINAS

INDICE DE CUADROS ARTÍCULO: Efectividad del lodo textil en la producción y composición química del fruto de tomate.....	xi
INDICE DE FIGURAS ARTICULO: Efectividad del lodo textil en la producción y composición química del fruto de tomate.....	xii
INDICE DE CUADROS ARTÍCULO: Efecto de la aplicación de lodos textiles industriales crudos en la productividad y composición química de la lechuga (<i>Lactuca sativa</i>).....	xii
INDICE DE FIGURAS ARTÍCULO: Efecto de la aplicación de lodos textiles industriales crudos en la productividad y composición química de la lechuga (<i>Lactuca sativa</i>).....	xiii
I. INTRODUCCION	1
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
HIPÓTESIS	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
III. ARTÍCULO	10
EFFECTIVIDAD DEL LODO TEXTIL EN LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FRUTO DE TOMATE	10
Resumen	11
Abstract.....	12
Introducción.....	13
Materiales y métodos.....	14
Resultados y discusión.....	16
Conclusiones.....	27
Literatura citada.....	28
IV. ARTICULO	36
EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE LODOS TEXTILES INDUSTRIALES CRUDOS EN LA PRODUCTIVIDAD Y COMPOSICION QUIMICA DE LA LECHUGA (<i>Lactuca sativa</i>)	36

RESUMEN	37
SUMMARY.....	38
INTRODUCCION.....	39
MATERIALES Y METODOS.....	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
CONCLUSION	50
REFERENCIAS	52
V. CONCLUSIONES	65
VI. LITERATURA CITADA	67

INDICE DE CUADROS ARTÍCULO: Efectividad del lodo textil en la producción y composición química del fruto de tomate

	PAGINA
Cuadro 1. Contenido de metales pesados y metaloides del lodo textil crudo proveniente de la Fábrica La Estrella, S. A. de C. V. (FLESA).....	17
Cuadro 2. Análisis de salinidad y sodicidad de los lodos textiles aplicados al sustrato de las plantas de tomate.	18
Cuadro 3. Contenido mineral en base seca y clasificación de acuerdo al contenido de los lodos textiles aplicados al sustrato de las plantas de tomate.....	18
Cuadro 4. Promedios de los valores de pH y conductividad eléctrica de la solución nutritiva lixiviada de las macetas con sustrato de peat moss y perlita con adición lodo industrial textil.	19
Cuadro 5. Prueba de comparación de medias de la producción de frutos por planta en los diferentes tratamientos de adición de lodos textiles crudos al sustrato de peat moss y perlita. Los datos anotados expresan peso fresco.	20
Cuadro 6. Resultados de la prueba de medias de Tukey (0.05) para el contenido de minerales en fruto en diferentes cortes en plantas	

de tomate en donde se aplicaron lodos textiles en diferente concentración al sustrato. 22

Cuadro 7. Análisis microbiológico de los frutos de tomate sometidos a lodos textiles crudos provenientes de la Fábrica La Estrella, S. A. de C. V. (FLESA). 26

INDICE DE FIGURASARTICULO: Efectividad del lodo textil en la producción y composición química del fruto de tomate

PAGINA

Figura 1. Efecto de la aplicación de lodos industriales textiles en el contenido de vitamina C en fruto de tomate. Los promedios con la misma literal no fueron estadísticamente diferentes según Tukey ($P \leq 0.05$). 23

Figura 2. Efecto de la aplicación de lodos industriales textiles en los sólidos solubles totales de frutos de tomate. Los promedios con la misma literal no fueron estadísticamente diferentes según Tukey ($P \leq 0.05$). 25

INDICE DE CUADROS ARTÍCULO: Efecto de la aplicación de lodos textiles industriales crudos en la productividad y composición química de la lechuga (lactuca sativa).

PAGINA

Cuadro I. Análisis microbiológico de la mezcla de lodo industrial textil crudo. 59

Cuadro II. Contenido de metales pesados del lodo industrial textil crudo. 59

Cuadro III. Análisis fisicoquímico de la solución nutritiva lixiviada. 59

Cuadro IV. Análisis microbiológico de plantas de lechuga en sustratos con adición de lodos industriales textiles. 64

Cuadro V. Contenido de Zinc en plantas de lechuga sometidas a lodos industriales.... 64

INDICE DE FIGURAS ARTÍCULO: Efecto de la aplicación de lodos textiles industriales crudos en la productividad y composición química de la lechuga (lactuca sativa).

	PAGINA
Figura 1. Efecto de la aplicación de lodos industriales textiles en el peso fresco y peso seco en plantas de lechuga. Los promedios con la misma literal no fueron estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).....	60
Figura 2. Efecto de la aplicación de lodos industriales textiles en el sustrato sobre el contenido de macronutrientes en plantas de lechuga. Los promedios con la misma literal no fueron estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).	61
Figura 3. Efecto de la aplicación de lodos industriales textiles en el sustrato sobre el contenido de micronutrientes en plantas de lechuga. Los promedios con la misma literal no fueron estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).	62
Figura 4. Efecto de la aplicación de lodos industriales textiles en el sustrato sobre en el contenido de vitamina C en lechuga. Los promedios con la misma literal no fueron estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).....	63
Figura 5. Efecto de la aplicación de lodos industriales textiles en la capacidad antioxidante total en lechuga. Los promedios con la misma literal no fueron estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).....	63

I. INTRODUCCION

El aumento de la población ha ocasionado una gran producción de residuos sólidos, entre los que se encuentran los lodos generados en plantas de tratamientos de aguas residuales(Salcedo *et al.*, 2007). La solución al problema de los lodos residuales se ha enfocado primordialmente a su disposición en una forma segura ya que si no ocurre así, los compuestos tóxicos que pudieran contener pasan al suelo o a los cuerpos de agua e incluso se introducen en la cadena trófica (Jokela*et al.*, 1990).

Una alternativa a lo anterior es la utilización agrícola de los lodos residuales. Algunos factores del entorno permiten ver esta alternativa como atractiva: en primer lugar, el incremento de precio en los fertilizantes químicos comerciales hace que los lodos residuales se consideren fuente potencial de nutrimentos; como segundo punto el enfoque ambiental da privilegios al reúso de insumos y al cuidado del sistema suelo, la aplicación de lodos residuales cumple con ambas expectativas ya que su aplicación al suelo evita costosos confinamientos además de que aporta materiales orgánicos que aumentan la fertilidad. Un último punto es el factor económico; si los lodos aportan nutrimentos (como el N, P y K) y fertilidad al suelo entonces es posible asignarles un valor en moneda, de tal forma de las transferencias de la industria al suelo agrícola pudieran valorarse en algún monto posteriormente recuperable como bonos ambientales u sus equivalentes. (Acosta *et al.*, 1998).

La aplicación de lodos residuales o biosólidos urbanos a suelos agrícolas es una práctica habitual en países desarrollados por razones prácticas y económicas (Ottaviani *et al.*, 1991). De acuerdo con la información que presenta la CONAGUA, a diciembre de 2008 existían en el país 1833 plantas de tratamiento de aguas residuales en operación formal, con una capacidad total instalada de 113 m³/seg. Estas plantas en operación procesan un caudal de 83.6 m³ por segundo, equivalente al 40.2% del total de las aguas residuales generadas (CONAGUA, 2009). En el norte de México donde predominan los suelos calcáreos, existen 62 plantas de tratamientos de aguas residuales, que producen alrededor de 475,000 t de lodo residual (95,000 t en base seca), mismas que pudieran utilizarse como fertilizantes en cultivos industriales y forrajeros en alrededor de 10,000 ha (Bautista, 2009). El mal manejo de estos residuos puede ocasionar problemas ambientales, en particular los subproductos sólidos que provienen de las plantas de tratamiento de aguas residuales textiles poseen características muy diversas (Benavides-Mendoza *et al.*, 2007). Como son sólidos en suspensión, sólidos volátiles, sólidos sedimentables, acidez o alcalinidad, concentración de nutrientes, a saber, fosforo y nitrógeno y por último se debe evaluar la presencia y concentración de compuestos o sustancias toxicas, tales como metales pesados y de compuestos inhibidores o que interfieran con el tratamiento, tales como cloruros y sulfatos (Valencia, 1976). Así también como el número más probable de coliformes fecales, *salmonella spp* huevos de helmintos NOM-004 (SEMARNAT 2002). Existen diversas alternativas para la disposición de lodos, desde depositarlos en rellenos sanitarios, incinerarlos, hasta utilizarlos provechosamente en producción vegetal, sin embargo, hay limitaciones para su utilización en agricultura debido a que pueden presentar una alta carga patogénica y presencia de elementos traza metálicos (Legret *et al.*, 1988; Gennaro *et al.*, 1991;

Barbaricket *et al.*, 2004). De allí, que la metodología de aplicación correcta debe orientarse por criterios sanitarios, agronómicos y el contenido de metales pesados, tanto de los lodos como de los suelos receptores (Castro *et al.*, 2007). Los lodos residuales son una alternativa atractiva para su aprovechamiento desde el punto de vista agrícola proporcionando un doble beneficio: el ambiental, al eliminarse los subproductos sin alteración relevante del equilibrio ecológico; y el agrícola, al modificar, manipular o incorporar los lodos en los sustratos o suelos para el aprovechamiento de las características físicas y el contenido de nutrimentos de los materiales mencionados (Benavides-Mendoza *et al.*, 2007).

Objetivo general

Conocer el impacto de la aplicación de lodos industriales crudos en el sustrato de crecimiento de frutos de tomate y plantas de lechuga sobre el crecimiento, producción y composición química.

Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la aplicación en el sustrato de lodos textiles crudos de FLESA en la producción de fruto por planta de tomate y el peso seco en plantas de lechuga.
- Determinar el cambio en la calidad nutricional en frutos de tomate y lechuga originado por la aplicación en el sustrato de lodos textiles crudos de la Empresa FLESA.

- Determinar el efecto de la aplicación en el sustrato de lodos textiles crudos de FLESA en la composición química del fruto de tomate y planta de lechuga
- Determinar si la aplicación de lodos textiles crudos de FLESA al sustrato de crecimiento presenta transferencia de metales pesados o patógenos por parte del lodo hacia el fruto de tomate y plantas de lechuga.

Hipótesis

Al menos un tratamiento de los lodos textiles crudos tiene un efecto positivo en la calidad nutricional, producción y composición química del tomate y lechuga.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La generación de lodos residuales en México se ha incrementado durante los últimos años, haciendo más difícil encontrar sitios para confinar estos materiales (Mectal y Eddy, 1996). En México el principal problema que afecta a los lodos es el alto contenido microbiológico que presentan (Barrios *et al.*, 2000). Con el aumento en la demanda de productos textiles, la industria textil ha incrementado los volúmenes de descargas de aguas residuales, siendo este uno de los principales problemas de contaminación en el mundo (Dos Santos *et al.*, 2007). Las empresas manufactureras de textiles consumen grandes cantidades de agua principalmente en las operaciones de tintura, si se considera el volumen de vertimientos generados y su composición, este sector industrial se perfila como uno de los más contaminantes (Sen y Demirer, 2003).

La producción de grandes cantidades de lodos generan una doble problemática: por una parte el vertido de lodos en sitios inadecuados puede generar severos problemas de contaminación, y por otro lado se están desperdiciando las propiedades benéficas de los lodos que pudieran ser aprovechadas en la agricultura o el mejoramiento de los suelos (Castrejón *et al.*, 2002).

Los lodos de las aguas residuales son una mezcla de aguas residuales y sólidos sedimentados; por su origen reciben el nombre de primarios, secundarios o terciarios;

por su estado de tratamiento pueden denominarse crudos o frescos, digeridos o tratados, húmedos o secos(Escalante *et al.*, 2000). Los lodos primarios por lo general contienen gran cantidad de materia orgánica, vegetales, frutas, papel etc. Estos lodos son el producto de los procesos primarios de las aguas residuales, también se les llama lodos primarios a los lodos que se sedimentan en el fondo del tanque. La consistencia se caracteriza por ser un fluido denso con un porcentaje en agua que varía entre 93 y 97% (WaterTreatmentHandbook, 1991). Lodos secundarios es una parte de la materia sólida que es desechada, por un desequilibrio entre la cantidad de microorganismos producidos y la cantidad requerida por el sistema (Moller, 2002).

Lodo crudo, es aquel que no ha sido tratado ni estabilizado, que puede extraerse de las plantas de tratamiento de aguas residuales, tiende a producir la acidificación de la digestión y produce olor (WaterTreatmentHandbook, 1991). Los lodos tratados son aquellos que ya pasaron un previo tratamiento y como resultado tienen una reducción de un 38% de sólidos volátiles y una reducción en su humedad del 25% o un pH de 12 (Burchard, 2010). A los lodos industriales o de tratamiento de aguas negras se los conoce como biosólidos (Fresquez *et al.*, 1990), que son lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, pueden ser susceptibles de aprovechamiento NOM-004(SEMARNAT 2002). Los lodos textiles industriales son producto de procesos como lavado, lanzado, estirado, acabado, teñido, entre otros. A consecuencia de estos procesos la industria textil genera agua residual conteniendo fenoles, sulfuros, cromo y colorantes. Estos últimos constituyen uno de los

contaminantes más visibles a causa de su color y, debido a que algunos son de difícil degradación (Garcés y Peñuela. 2007).

Las opciones que se tienen para la disposición final de los lodos residuales, son el confinamiento en rellenos sanitarios cuando no cumplen con la norma en materia de contaminación; cuando los estudios de diagnóstico y/o caracterización de los lodos no rebasan los niveles máximos permisibles de metales pesados y cumplen con los requerimientos microbiológicos que marca la norma, pueden aprovecharse como una opción viable en suelos agrícolas y forestales. Una vez que cumplen con las normas de calidad para utilizarse como abono o fertilizante orgánico (Palomo *et al.*, 2007).

Los biosólidos residuales poseen un contenido suficiente de nitrógeno y fósforo que los hace potencialmente útiles como fertilizantes y como fuente de materia orgánica. Además pueden mejorar las propiedades físicas del suelo y retención de agua, lo cual puede reflejarse en un incremento en el rendimiento de los cultivos (Celis, 2007).

El uso de lodos textiles es económicamente viable por su contenido de minerales, pero solamente constituirá una alternativa técnicamente plausible si los materiales cumplen con las normativas ambientales en cuanto a sus componentes y el de sus lixiviados, como es el caso de algunos metales pesados (Bautista. 2009). El uso de lodos residuales, derivados del tratamiento de aguas de desecho de la industria textil, como mejoradores de suelos presenta los siguientes beneficios (Jaakko 1970, Pattero 1979, Coker and Matthews 1983): se aportan al suelo los nutrimentos que el lodo contiene y que son elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, la materia orgánica

mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, tales como estructura, permeabilidad y poder de amortiguamiento.

Los subproductos residuales de la industria textil, al igual que los originados por otras industrias, generan altos costos de tratamiento, transporte y disposición. Al igual que otros lodos residuales los lodos textiles pueden poseer una gran riqueza de nutrientes minerales (Benavides-Mendoza *et al* 2007). El incremento de los costos de disposición y el alto precio de los fertilizantes sobre todo después del 2007 han motivado su uso en la agricultura. Esta alternativa resulta técnica y económicamente recomendable, ya que los lodos contienen compuestos orgánicos biodegradables y nutrimentos minerales que pueden aportar nutrientes a las plantas, siempre y cuando cumplan con las normalidades internacionales, en cuanto a sus componentes y el de sus lixiviados, el efecto más peligroso de la utilización de lodos en la agricultura son algunos metales (Bautista. 2009). En México la NOM-004-SEMARNAT-2002 es la que establece los límites permisibles para metales pesados, patógenos y parásitos.

La aplicación de lodos de depuradora también puede mejorar la emisión de CO₂ (Scott *et al.*, 2000), al encontrar un aumento del 21% de C en el suelo esto debido a la aplicación de lodos (Álvarez *et al.*, 1999).

Acosta *et al.* (1998) aplicó lodos residuales sobre un suelo de tipo franco-arenoso favoreciendo las condiciones óptimas de materia orgánica, pH, entre otros, garantizando también el buen funcionamiento de la acción bacteriológica del suelo (observado en la disponibilidad de nutrientes accesibles a las plantas). De tal forma que puede decirse que

este lodo podría cubrir los requerimientos mínimos de nutrientes para el crecimiento de plantas como el maíz (*Zea mays L.*). también observó que los tratamientos con lodos mostraron en los resultados una moderada cantidad de metales en las hojas y los tallos, además de actuar sobre el suelo como un fertilizante organomineral, se comportó también como un material encalador por la gran cantidad de calcio que contiene y al aplicar lo contribuyó a aumentar el pH del suelo.

Del Campo *et al.* (2002) al aplicar lodos residuales municipales y lodos compostados en suelos tipo migajón-arcilloso (Feozem) en donde se produjo haba (*Vicia faba*), observaron que la semilla poseía mayor contenido de almidones en donde se le aplicó composta y mayor cantidad de proteína al que se le aplicó lodo residual. Por otro lado, los metales Cr y Cd no fueron detectados; Zn y Cu se encontraron dentro de los límites permisibles para la planta mientras que el Ni los rebasó.

Salcedo *et al.*, (2007) al evaluar los lodos residuales de una empresa de manufactura electrónica y compost de los mismos lodos residuales en el cultivo de maíz, obtuvieron un aumento en rendimiento de grano de un 18 y 22% respectivamente; de igual manera aplicaron lodos residuales en *Pinus douglasiana* en suelos volcánicos obteniendo como resultados un incremento de un 18% en altura y diámetro.

Benavides *et al.* (2007) aplicaron lodos residuales industriales en lechuga evaluando peso fresco y seco de plantula obteniendo resultados positivos sobre el crecimiento, y una mayor concentración de Fe, Mn y B en las hojas de las plantas.

III. ARTÍCULO.

**EFFECTIVIDAD DEL LODO TEXTIL EN LA
PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FRUTO
DE TOMATE**

EFECTIVIDAD DEL LODO TEXTIL EN LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FRUTO DE TOMATE

EFFECTIVENESS OF TEXTILE SLUDGE IN YIELD AND CHEMICAL COMPOSITION OF TOMATO FRUIT

Willian Alfredo Narváez-Ortiz¹, Adalberto Benavides-Mendoza^{1*}, Valentín Robledo-Torres¹, Rosalinda Mendoza-Villarreal¹

Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, C.P. 25315, México.

*Autor para correspondencia abenmen@uaaan.mx

Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de lodos residuales textiles aplicados en un sustrato de peatmoss y perlita sobre la producción y composición química del fruto del tomate (*Solanum lycopersicum*). Los lodos fueron caracterizados con la NOM-004-SEMARNAT-2002 y NOM-021-RECNAT-2000. Tomate de la variedad Rio Grande, fue trasplantado a macetas de plástico de 14 litros con sustrato de peatmoss y perlita (70:30 en volumen) en donde se añadió y mezcló el lodo textil en concentraciones de 0, 5, 10, 15 y 20% con base en volumen. La nutrición se hizo con la solución Steiner. Los lodos mostraron características adecuadas para su uso agrícola según la NOM-004-SEMARNAT-2002. La producción de frutos no fue modificada por la aplicación de los lodos textiles. La concentración de elementos minerales en los frutos aumentó en un 0.14% para el Na y en 15 y 223 mg kg⁻¹ para el Zn y Fe,

respectivamente. En cambio para el K disminuyó en 0.58% al igual que para el Mn con un valor menor en 22 mg kg⁻¹. El contenido de N, P, Ca, Mg y Cu no mostró cambios significativos. El pH de los frutos no varió por efecto de los tratamientos, mientras que la vitamina C y los sólidos solubles totales mostraron un incremento hasta de 36% y hasta de 52%, respectivamente, en los tratamientos con lodos, efecto atribuido a la aportación de sales solubles de los lodos. No se encontró evidencia de transferencia de metales pesados y coliformes fecales del lodo textil a los frutos más allá de los valores permitidos por las normas ambientales y de salud. En cambio si se detectó la presencia de huevos de helmintos en valor mayor al permitido por la norma en los frutos de plantas tratadas con la mayor concentración de lodos.

Palabras clave: fertilizantes, biosólidos, residuos industriales, cadmio, níquel

Abstract

The objective of this work was to determine the effect of sewage textile sludge applied in the plant substrate on yield and chemical composition of tomato fruit (*Solanumlycopersicum*). The textile sludge was characterized with the NOM-004-SEMARNAT-2002 and NOM-021-RECNAT-2000. Tomato plants of the variety Rio Grande was transplanted to plastic pots of 14 liters with peat moss and perlite substrate (70:30 on volume). The textile sludge was added and mixed to the substrate in concentrations of 0, 5, 10, 15 and 20% in volume basis. Fertilizers were applied with a Seiner nutrient solution. The sludge showed adequate characteristics for agricultural use according to the NOM-004-SEMARNAT-2002. The fruit production was not modified

by the application of textile sludge. Meanwhile the concentration of mineral elements in fruits increased by 0.14% for Na. For Zn and Fe the concentration increased 15 and 223 mg kg⁻¹, respectively. On the other hand, K decreased by 0.58% and Mn showed a value smaller by 22 mg kg⁻¹. The level of N, P, Ca, Mg and Cu had not significant changes. The pH of the fruit did not vary due to the application of sewage sludge, while the vitamin C and total soluble solids showed an increase up to 36% and up to 52 %, respectively, in the treatments with sludge, effect attributed to the contribution of soluble salts of the sewage sludge. No evidence was found for transfer of heavy metals and fecal coliform from the textile sludge to fruits beyond those permitted by the environmental and health standards. Furthermore, we detected the presence of helminth eggs in value greater than allowed by the standard in the fruits of plants treated with the highest concentration of sludge.

Key words: fertilizers, biosolids, industrial sludges, cadmium, nickel.

Introducción

El aumento en la generación de lodos residuales vuelve más difícil encontrar sitios para el confinamiento de estos materiales (Metcalf & Eddy, 1995). Si bien la disposición adecuada de los lodos recibe gran atención (Campos-Medina *et al.*, 2011), otras alternativas como su aprovechamiento agrícola pueden ser opciones atractivas (Benavides-Mendoza *et al.*, 2007). Sin embargo, es necesario tomar en cuenta que los lodos pueden aportar metales pesados (Walter *et al.*, 2002) y microorganismos patógenos a los suelos y plantas en donde se aplican (Miralles *et al.*, 2002).

La estabilización de los biosólidos municipales y de los lodos industriales es una alternativa para mitigar los inconvenientes antes mencionados además de evitar la presencia de malos olores (Aravena *et al.*, 2007). En el caso específico de los lodos textiles se esperan menos problemas de los malos olores, carga microbiológica patogénica o contenido de metales pesados (Benavides-Mendoza *et al.*, 2007), por ello es posible plantear el uso de estos lodos en crudo, es decir, sin tratamiento previo, disminuyendo el costo asociado al compostado u otros tratamientos lo cual facilitaría el uso agrícola.

En la actualidad se dispone de poca información sobre el uso agrícola de los lodos crudos, por lo que los objetivos de este trabajo fueron determinar si la aplicación de lodos textiles crudos al sustrato origina cambios negativos en la producción y composición química de fruto de plantas de tomate y si, por otra parte, si el fruto cosechado presenta transferencia de metales pesados o patógenos por parte del lodo, bajo la hipótesis que los lodos crudos sea una fuente positiva de fertilizantes.

Materiales y métodos

El experimento se llevo a cabo en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Saltillo, Coahuila, México, en la latitud Norte de 25° 23' y longitud Oeste 101° 02', con una altitud de 1743 msnm. Se usaron lodos textiles de la empresa Fábrica La Estrella, S.A. de C.V. productora de mezclilla, ubicada en el municipio de Parras de la Fuente, Coahuila. Los lodos crudos fueron colectados del

centro de confinamiento de la empresa y se analizaron en el laboratorio IntertekTestingServices de México, S. A de C. V. acreditado para la NOM-004-SEMARNAT-2002 para verificar la presencia de coliformes fecales, *Salmonella spp*, huevos de helmintos, metales pesados y metaloides arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc. Adicionalmente se determinó la salinidad, sodicidad, las características físicas y de fertilidad según la NOM-021-RECNAT-2000. Los lodos fueron mezclados con sustrato de peatmoss y perlita (70:30 en volumen) en concentraciones de 0, 5, 10, 15 y 20% en volumen. Las mezclas fueron colocadas en macetas plásticas color negro de 14 L.

Como material biológico se utilizó tomate (*Solanumlycopersicum*) de la variedad “Rio Grande” que fue sembrado en charolas de 200 cavidades utilizando como sustrato peatmoss y perlita (70:30). 30 días después de la siembra las plántulas fueron trasplantadas a las macetas que contenían las mezclas de sustrato y lodo. Para la nutrición del cultivo se aplicó solución nutritiva Steiner (Steiner, 1961) al 25, 30, 50, 75 y 100% de acuerdo a la etapa de crecimiento, mediante un sistema de riego por goteo con un gasto de 4 litros por hora. Los lixiviados de los sustratos se monitorearon cada ocho días durante el transcurso del cultivo y se les determinó el pH y la conductividad eléctrica con un potenciómetro de la marca HANNA modelo-COMBO. La producción de fruto por planta fue determinada utilizando los frutos de los primeros cinco cortes cuando estos presentaron más del 90% de la superficie de color rojo, denominada etapa seis (USDA, 1997). En los frutos del tercer corte (97 ddt), cuarto corte (104 ddt) y quinto corte (114 ddt), en la etapa seis - rojo (USDA, 1997) se midió el contenido de vitamina C usando el método volumétrico de la AOAC (1990). En un macerado de los

mismos frutos se determinó el pH con un potenciómetro de la marca HANNA modelo COMBO y el contenido de sólidos solubles totales con un refractómetro pocket PAL-1. El contenido de minerales fue determinado en frutos obtenidos en los mismos cortes antes mencionados. Para la determinación del nitrógeno total se usó el método del micro Kjelhdal (AOAC, 1980a), mientras que para el fósforo se utilizó un método colorimétrico (AOAC, 1980b), el potasio, calcio, magnesio, sodio, hierro, manganeso, cobre y zinc se determinaron por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica de la marca Varían AA-1275 (Ficket *al.*, 1976). El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 15 repeticiones, siendo la unidad experimental una maceta con una planta, sobre los datos se realizaron análisis de varianza y pruebas de Tukey ($p=0.05$), en el StatisticalAnalysisSystem versión 6,0 (SAS 2001).

Se determinó la presencia de microorganismos y metales pesados en los frutos, para ello se tomó un kilogramo de muestra de frutos de tomate en la etapa seis (USDA, 1997) durante el transcurso del primer corte y se analizó en un laboratorio acreditado para la NOM-004-SEMARNAT-2002. Los resultados reportados se consideraron como un índice de la transferencia de microorganismos y metales del lodo a los frutos.

Resultados y discusión

Análisis microbiológico del lodo textil. El lodo textil mostró 2.7×10^3 coliformes fecales por gramo de peso seco. Según la NOM-004-SEMARNAT-2002 fue categorizado como tipo C siendo posible su uso con fines agrícolas. *Salmonella* spp. se marcó como

ausente y el contenido de huevos de helminto (0.5 por gramo en base seca) fue mucho menor al límite indicado por la norma (<1HH/gST).

Análisis de metales pesados y fisicoquímico del lodo industrial textil. Según la NOM-004-SEMARNAT-2002 los lodos textiles se clasificaron como excelentes porque en todos los casos los metales pesados y metaloides estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido de metales pesados y metaloides del lodo textil crudo proveniente de la Fábrica La Estrella, S. A. de C. V. (FLESA).

Límite máximo permisible NOM-004-SEMARNAT-2002					
Parámetro	Resultados	Excelentes	Parámetro	Resultados	Excelentes
		mg Kg ⁻¹			mg kg ⁻¹
Arsénico	0.165	41	Plomo	17.6	300
Cadmio	2.56	39	Mercurio	7.991	17
Cromo	66	1 200	Níquel	22	420
Cobre	323	1 500	Zinc	285.7	2,800

Análisis físico del lodo textil. El lodo textil presentó una textura franco arcilloso, con una densidad aparente 1.052 g cm⁻¹ y un 58% de porosidad. El lodo presentó un contenido 4.69% de materia orgánica y un 3% de carbonatos.

Análisis de salinidad y sodicidad en extracto de saturación de los lodos textiles. Los lodos presentaron una conductividad eléctrica extremadamente alta y pH alcalino

(NOM-021-RECNAT-2000). Valores altos de cloruros y bicarbonatos, moderadamente bajos los sulfatos, muy bajo potasio, una presencia media de sodio y sin presencia de carbonatos (Richards, 1980) (Cuadro 2). Precisamente por el gran aporte salino de los lodos fue necesario utilizarlos en mezcla con peatmoss para diluir las sales presentes. Estudios anteriores indicaron que el máximo contenido de lodos textiles en base a volumen es de 25% (Benavides-Mendoza *et al.*, 2007).

Cuadro 2. Análisis de salinidad y sodicidad de los lodos textiles aplicados al sustrato de las plantas de tomate.

Parámetro	Resultado	Parámetro	Resultado
Conductividad eléctrica	20.8 mS cm ⁻¹	Bicarbonatos	5.12 meq L ⁻¹
pH	8.4	Sulfatos	21.95 meq L ⁻¹
Cloruros	15.5 meq L ⁻¹	Carbonatos	0.0
Sodio	3.7 meq L ⁻¹	Potasio	0.97 meq L ⁻¹

Análisis de fertilidad del lodo textil. Las concentraciones de elementos minerales se encontraron muy bajas y moderadamente bajas para el N, P y S. Mientras que para el Ca, Zn, Fe y Mg presentaron valores muy altos (NOM-021-RECNAT-2000) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Contenido mineral en base seca y clasificación de acuerdo al contenido de los lodos textiles aplicados al sustrato de las plantas de tomate.

Parámetro	Resultados	Parámetro	Resultados
	mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹
Nitrógeno	0.1 muy bajo	Zinc	56 muy alto
Fosforo	4 muy bajo	Hierro	7 muy alto
Azufre	7 moderadamente bajo	Magnesio	1412 muy alto

Calcio	11500 muy alto	Manganeso	14 moderadamente alto
--------	----------------	-----------	-----------------------

Análisis fisicoquímico de los lixiviados. Estos presentaron valores altos de pH y C.E. en presencia de lodos (Cuadro 4). La C.E. aumentó al subir la concentración de lodo textil. Las sales presentes en los lodos provienen de los productos usados para aplicar y fijar los colores en los productos textiles. (Benavides-Mendoza *et al.*, 2007).

Cuadro 4. Promedios de los valores de pH y conductividad eléctrica de la solución nutritiva lixiviada de las macetas con sustrato de peatmoss y perlita con adición lodo industrial textil.

		Solución Steiner lixiviada	
Lodo	industrial	pH [H ⁺]	C.E (mS cm ¹)
adicionado (%)			
0		6.8	1.70
5		7.86	2.87
10		7.89	6.24
15		7.93	10.36
20		7.99	12.32

Producción de fruto. La aplicación de los lodos textiles en el sustrato de crecimiento no causó modificaciones significativas en la producción de fruto (Cuadro 5), indicando que la salinidad aportada por los lodos no impactó la capacidad productiva. Resultados similares fueron obtenidos por Beltrán-Rodríguez *et al.* (2000). Si bien la adición de los lodos puede aumentar los costos de producción, sería necesario verificar a largo plazo el impacto sobre el costo del volumen de sustrato que se sustituye por el lodo textil.

Igualmente puede considerarse el valor por lo pronto no tangible del uso agrícola de los lodos al disminuir su potencial efecto contaminante, además de aprovechar algunas de sus propiedades físicas y químicas para mejorar las propiedades del suelo (Andrade *et al.*, 2000; Illera *et al.* 2001).

Cuadro 5. Prueba de comparación de medias de la producción de frutos por planta en los diferentes tratamientos de adición de lodos textiles crudos al sustrato de peatmoss y perlita. Los datos anotados expresan peso fresco.

Tratamientos	Producción de fruto por planta (g)
% de lodo industrial textil	
Testigo (0%)	1268.0 a
5%	1079.0 a
10%	1046.5 a
15%	1389.9 a
20%	1155.7 a

Medias con la misma letra, son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$).

Contenido de minerales en el fruto. Los resultados de minerales en el fruto se muestran en el Cuadro 6. El N, P, Ca, Mg y Cu no sufrieron variaciones asociadas con la aplicación de los lodos. La única excepción se presentó con la concentración de Ca en el quinto corte en donde este elemento disminuyó en los tratamientos de mayor concentración de lodos. Los valores bajos de Ca en los frutos se asocian normalmente a condiciones de estrés (Saure, 2001). No se detectó correlación entre las concentraciones de Ca y las de K y Na, lo que parece eliminar la opción de competencia entre cationes por lo posiblemente se trate de un estrés inducido por la salinidad (Niedziella *et al.*,

1993).El Na, Zn y Fe mostraron tendencia a incrementarse en presencia de los lodos. La concentración de Na en los frutos depende directamente de la cantidad de sodio en la solución nutritiva (Dorai *et al.*, 2001). El caso del Fe puede suponerse que la absorción se viera aumentada por la materia orgánica del lodo (Romheld and Nikolic, 2007), mientras que la mayor concentración de Zn se observa en condiciones de salinidad, al parecer para promover mayor actividad enzimática antioxidante (Tavallali *et al.*, 2010). Por su parte el K y Mn se acumularon en menor cuantía en los tratamientos con lodos. Es posible que la disminución en el K se deba a la competencia con Mg (Merhaut, 2007), elemento aportado en gran cantidad por los lodos. En cuanto al Mn se ha reportado que su acumulación en los tejidos disminuye en condiciones de salinidad (Aktaset *al.*, 2005). Si bien se menciona que los lodos constituyen una fuente de macro y micronutrientes (Ortiz-Hernández *et al.*, 1995), al verificar los resultados del contenido de minerales en el lodo textil, no parece haber correlación entre estos y lo obtenido en los frutos. Es posible que esto se deba por una parte a que las plantas recibieron aportes de minerales de una solución nutritiva, no requiriendo exclusivamente de los minerales del lodo para la absorción de nutrientes y, por otro lado, al hecho de que los nutrientes minerales de los lodos se liberen lentamente o estén poco disponibles (Henry *et al.*, 1999; Cogger *et al.*, 2004), o bien que su concentración sea baja como normalmente ocurre para el N (Roberts *et al.*, 1988) y el K (Ozores-Hampton *et al.*, 2005).

Cuadro 6. Resultados de la prueba de medias de Tukey (0.05) para el contenido de minerales en fruto en diferentes cortes en plantas de tomate en donde se aplicaron lodos textiles en diferente concentración al sustrato.

Trat.	N	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	Fe
%						mg kg ⁻¹				
Tercer corte										
0%	1.64 a	0.58 a	2.4 bc	0.11 a	0.22 a	0.15 b	34.1 a	6.3 a	19.05 a	197.2 a
5%	1.66 a	0.4 ab	2.9 ab	0.12 a	0.29 a	0.14 b	28.5 a	5.3 a	14.7 ab	51.08 d
10%	1.93 a	0.4 ab	3.23 a	0.17 a	0.29 a	0.23 ab	36.2 a	6.7 a	15 ab	92.8 c
15%	1.96 a	0.4 ab	2.04 c	0.13 a	0.26 a	0.17 ab	32.5 a	5.7 a	14.4 b	73.4 cd
20%	1.69 a	0.34 b	3.2 ab	0.17 a	0.29 a	0.29 a	24.9 a	4.7 a	13.5 b	132.7 b
Cuarto corte										
0%	1.59 a	0.53 a	2.87 a	0.07 a	0.2 a	0.12 b	28.8 b	7.0 ab	29.8 a	220.0 c
5%	1.52 a	0.39 a	2.4abc	0.10 a	0.19 a	0.19 ab	44.09 a	9.6 a	25 b	26.05 d
10%	1.90 a	0.42 a	2.8 ab	0.10 a	0.23 a	0.23 a	26.4 b	6.1 ab	10.9 c	333.2 b
15%	1.98 a	0.45 a	2.29 c	0.14 a	0.23 a	0.17 ab	31.1 b	5.6 b	8.3 c	263.2 c
20%	1.64 a	0.36 a	2.4b c	0.06 a	0.24 a	0.12 b	28.23 b	4.7 b	7.7 c	443.1 a
Quinto corte										
0%	1.76 a	0.52 a	3.17 a	0.19 a	0.28 a	0.16abc	31.9 ab	6.9 a	14.5 a	85.3 bc
5%	1.61 a	0.39 a	3.23 a	0.1 ab	0.29 a	0.22 ab	22.7 c	4.7 ab	10.8 b	169.6 a
10%	1.88 a	0.44 a	3.13 a	0.04b	0.26 a	0.08 c	40.1 a	4.4 b	14.7 a	69.02 c
15%	1.75 a	0.43 a	3.02 a	0.03b	0.23 a	0.23 a	32.7 ab	5.6 ab	11.3 b	80.9 bc
20%	1.84 a	0.38 a	2.7 a	0.03b	0.23 a	0.13 bc	29.3 bc	5.0 ab	11.6 ab	103.0 b

Medias con la misma letra, son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$).

Contenido de vitamina C en frutos. Solo en uno de los cortes se presentaron diferencias significativas en el contenido de vitamina C en los tratamientos con lodos

(Figura 1). Las plantas tienen la habilidad para acumular antioxidantes como la vitamina C y los ácidos orgánicos en presencia de salinidad (Krausset *al.*, 2006), se esperaría por ello que en todos los cortes se tuviera mayor contenido de vitamina C. Sin embargo, la respuesta también es dependiente de otros factores como la temperatura y la irradiancia (Lee and Kader, 2000; Fanascaet *al.*, 2007; Tooret *al.*, 2006), lo cual pudiera explicar la ausencia de diferencias en los otros cortes.

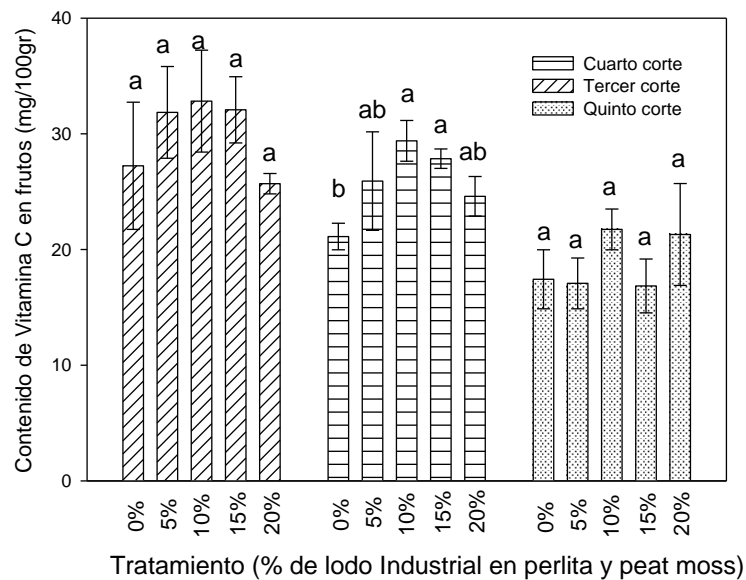


Figura1. Efecto de la aplicación de lodos industriales textiles en el contenido de vitamina C en fruto de tomate. Los promedios con la misma literal no fueron estadísticamente diferentes según Tukey ($P \leq 0.05$).

pH en frutos. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. El valor más alto se observó en el tratamiento al 20% de lodo textil con un pH de 4.68 y el más bajo en el tratamiento 5% con un pH de 4.13. Resultados similares fueron obtenidos usando aguas residuales en la producción de tomate (Traka-Mavrona et

al., 1998; Al-Lahhamo et al., 2003). Los valores de pH del fruto se encontraron dentro de los estándares publicados (Cantwell, 2006).

Sólidos solubles totales en frutos. Se encontraron diferencias significativas tanto para el tercero como el cuarto corte obteniendo el porcentaje más alto de sólidos solubles con el tratamiento al 20% de lodo textil. Es muy posible que este efecto esté dado por la salinidad aportada por los lodos, ya que se sabe que la conductividad eléctrica de la solución presenta un impacto positivo sobre los sólidos solubles en el fruto (Mitchell *et al.*, 1991; Katerjiet *al.*, 1998; Doraiet *al.*, 2001). Resultados similares obtuvieron Utriaet *al.* (2008) al aplicar biosólidos, aumentando el contenido de sólidos solubles en frutos de tomate.

La teoría más aceptada sobre ello indica que las sales inducen un déficit de agua y estrés oxidativo que da lugar a la síntesis de osmolitos entre los que se encuentran los azúcares solubles como la sacarosa y otros compuestos como la prolina y la betaína (Larcher 2001; Willadino y Camara 2004). Cabe mencionar que los porcentajes de sólidos solubles totales están dentro de los rangos reportados para los frutos de tomate que van de 3.5 a 7.0 °Brix (Cantwell, 2006).

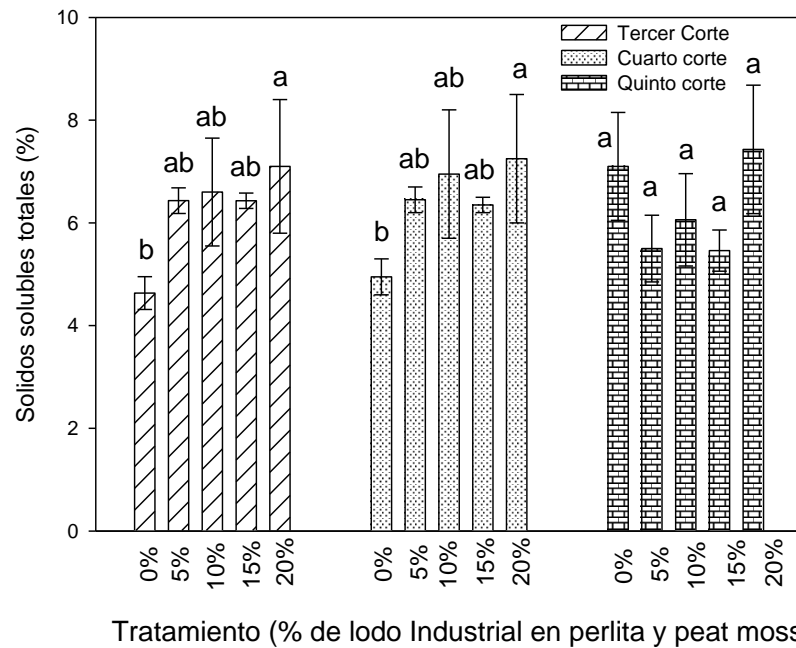


Figura 2. Efecto de la aplicación de lodos industriales textiles en los sólidos solubles totales de frutos de tomate. Los promedios con la misma literal no fueron estadísticamente diferentes según Tukey ($P \leq 0.05$).

Cantidad de microorganismos patógenos y metales pesados en frutos de tomate. La cantidad de coliformes fecales en los frutos se encontró dentro de los límites permisibles establecidos por la NOM-093-SSA1-1994 (Cuadro 7). Un resultado parecido fue obtenido para los huevos de helmintos, a excepción del tratamiento con lodo textil al 20% el cual rebasó la cantidad recomendada por la NOM-004-SEMARNAT-2002. Esta última aunque no es una norma aplicada a alimentos, constituye un indicador de la posibilidad de transferencia de los patógenos del lodo hacia los frutos.

En todos los frutos analizados se encontró *Salmonella*, a pesar de que el análisis del lodo y del agua de riego mostró ausencia de la misma, los resultados apuntan a la

posibilidad de una fuente de contaminación externa a los lodos ya que las esporas de estas bacterias son transportadas por el aire y pueden alojarse en los puntos de entrada de las plantas que incluyen estomas, hidatodos, nectarios, lenticelas, radículas en germinación y áreas emergentes de las raíces laterales (Hallmann *et al.*, 1997; Huang, 1986; Sturzet *et al.*, 2000).

Cuadro 7. Análisis microbiológico de los frutos de tomate sometidos a lodos textiles crudos provenientes de la Fábrica La Estrella, S. A. de C. V. (FLESA).

Parámetro	Testigo (0%)	5 %	10 %	15%	20%	Límites permisibles	Fuente
Coliformes							
fecales (NMP/Gst)	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	<3.0	NOM-093-SSA1-1994
Salmonella (NMP/Gst)	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	Ausente/25gr	RTCA (2009)
Huevos de Helmintos HH/gST	< 0.5	< 0.5	0.5	0.5	1.5	< 1.0	NOM-004-SEMARNAT 2002

NMP= Numero más probable HH= Huevos de helminto

Los análisis de metales pesados en los frutos de tomate resultaron en que el testigo y el tratamiento al 5% de lodo textil presentaron contenidos altos de Cd (Codex 1995). Los valores de 42.5 y 27.5 mg kg⁻¹, respectivamente, son inclusive mayores a los encontrados en experimentos con aplicación controlada de CdCl (Grãtao *et al.*, 2008). La presencia de Cd en los frutos del tratamiento testigo indica una posible fuente externa de contaminación (Benavides *et al.*, 2005).

En el caso de los tratamientos con lodos la presencia de Cd solo fue detectable en el tratamiento con 5% de lodo. Puede suponerse que al aumentar la cantidad de lodo

aplicado en los sustratos se originó un antagonismo entre la salinidad y la absorción de Cd (Khoshgoftaret *al.*, 2004); del mismo modo Prieto-Mendez *et al.* (2009) señalaron que la absorción del Cd se relaciona negativamente con la de Mn y Zn, este último elemento se ve absorbido en mayor cantidad al aumentar la concentración de los lodos. El Ni apareció como detectable en los tratamientos al 5, 15 y 20% de lodo textil con un rango de concentración entre 32 y 61 mg kg⁻¹, reportados como valores normales (Brown, 2007), sin mostrar asociación con la concentración del lodo en el sustrato. Para el caso de As, Cr, Cu, Pb y Hg no hubo presencia detectable de estos metales en los frutos.

Conclusiones

La aplicación de lodos industriales textiles crudos al sustrato no provocó efectos estadísticamente diferentes en el rendimiento de fruto y en el contenido de minerales de los mismos.

La vitamina C en frutos presento un incremento estadísticamente significativo al aplicar lodos industriales textiles al 10%, el pH de los frutos no se ven modificados por la presencia de lodos textiles y el contenido de sólidos solubles totales del fruto se incrementaron significativamente al aplicar un 20% de lodo industrial al sustrato.

No se encontró evidencia de transferencia de metales pesados por parte de los lodos textiles.

Se observó presencia de coliformes fecales y *salmonella* por debajo del límite permisible en los frutos de tomate tanto en los tratamientos testigo como en los tratamientos con lodos.

Se encontró presencia de huevos de helmintos con niveles por encima del límite máximo permisible en frutos de tomate en el tratamiento con 20% de lodo industrial textil.

Literaturacitada

Aktas, H., L. Karni, D.C. Chang, E. Turhan, A. Bar-Tal, B. Aloni. 2005. The suppression of salinity-associated oxygen radicals production, in pepper (*Capsicum annuum*) fruit, by manganese, zinc and calcium in relation to its sensitivity to blossom-end rot. *Physiol. Plant.* 123(1):67-74.

Al-Lahham, O.; El Assi, N. M. and Fayyad, M. 2003. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit. *Agricultural Water Management.* 61(1): 51-62.

Andrade, M. A.; Marcel, P.; Reyzabal. M. L.; Montero Ma. J. 2000. Contenido, evolución de nutrientes y productividad en un suelo tratado con lodos residuales urbanos. *Edafología.* 7(3) 21-29.

Aravena, C. R.; Valentin, C.; Diez, M. C.; Mora, M. L. y Gallardo, F. 2007. Aplicación de lodos de planta de tratamientos de celulosa: efecto en algunas propiedades físicas y químicas de suelos volcánicos. Temuco, Chile. *Journal Soil Science Nutrition* 7(1): 1-14.

- Association of official analytical chemiste (AOAC). 1990. Official Methods of Analysis of AOAC.1 15th edition. Vol. II. Association of Official Analytical Chemist.Washington, D.C. USA.pp: 829–830.
- Association of official analytical chemiste (AOAC).1980a. Official Methods of Analysis 13th edition.Association of Official Analytical Chemists.Washington, DC.,USA.pp 547 -562.
- Association of official analytical chemiste (AOAC).1980b. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists.30thedition.Association of Official Analytical Chemist.Washington, D.C. USA.pp 39.
- Beltrán-Rodríguez, E. M.; Imperial-Hornedo, R. M.; Porcel-Cots, M. A.; Delgado-Arrollo, M.; Bellido de Lestable, N.; Moral-Trujillo, R. y Bigériego, M. 2000. Fertilización del olivar con lodos de depuradora. *Vida Rural*. 7(100):45-47
- Benavides-Mendoza, A.; Ramírez, H.; Ruiz-Torres, N.; Perales-Huerta, A.; Cornejo-Oviedo, E.; Ortega-Ortiz, H. y Dávila-Salinas, R. V. 2007. Aplicación de subproductos industriales de la Compañía Industrial de Parras, S.A. de C.V. en sustratos para la siembra y crecimiento de plantas. *En: Tópicos Selectos de Botánica*. M. González-Álvarez, S.M. Salcedo Martínez (eds). Universidad Autónoma de Nuevo León, México. pp. 147-162.
- Benavides, M. P.; Gallego, S. M y Tomaro, M. L. 2005. Cadmium toxicity in plants. Brazil. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17(1):21-34.
- Brown, P. H. 2007. Nickel. In: *Handbook of Plant Nutrition*. A.V. Barker, D.J. Pilbeam (eds). CRC Press, Boca Raton, USA. pp:395-409.

- Campos-Medina, E.; Velázquez-Rodríguez, A.; Gómez-Hinojos, A. M. 2011. Predicción y comparación de transferencia de nutrientes de dos tipos de vermicomposteo de lodos residuales a suelos forestales. *Quivera* 13(1): 1-15
- Cantwell, M. 2006. Report to the California tomato commission tomato variety trials: Postharvest evaluation for 2005. UCCE Fresh market tomato statewide report. California USA. 14 p.
- Cogger, C. G.; Bary, A. I.; Sullivan, D. M.; Myhre, E. A. 2004. Biosolids processing effects on first- and second-year available nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68(1): 162-167.
- Comisión del Codex alimentarius (CODEX). 1995. Norma general del CODEX para los Contaminantes y las Toxinas Presentes en los Alimentos y Piensos (codexstan 193). Secretaria del programa conjunto de la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación y la organización mundial de la salud. 48 p.
- Dorai, M.; P. Athanasios; P. Papadopoulou and A. Gosselin. 2001. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie* 21(4):367-383.
- Fanasca, S.; Martino, A.; Heuvelink, E.; Stanghellini, C. 2007. Effect of electrical conductivity, fruit pruning, and truss position on quality in greenhouse tomato fruit. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 82(3): 488-494.
- Fick, K. R.; Miller, S. M.; Funk, J. D.; McDowell, L. R. and Houser, R. H. 1976. Methods of mineral analysis for plant and animal tissues. University of Florida institute of food and agriculture. Sciences, Department of Animal Sciences, Gainesville, FL. USA. 81 p.

- Gratão, P. L.; Monteiro, C. C.; Antunes, A. M.; Peres, L. E. and Azevedo, R. A. 2008. Acquired tolerance of tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Micro-Tom) plants to cadmium-induced stress. *Ann. Appl. Biol.* 153(3):321-333.
- Hallmann, J.; Quadt-Hallman, A.; Mahaffee, W. F. and Kloepper, J. W. 1997. Bacterial endophytes in agricultural crops. *Can. J. Microbiol.* 43(10):895-914.
- Hell, R. and U.W. Stephan. 2003. Iron uptake, trafficking and homeostasis in plants. *Planta* 216(4):541-551.
- Henry, Ch.; Sullivan, D.; Rynk, R.; Dorsey, K.; Cogger, C. 1999. Managing nitrogen from biosólidos. Washington State department of Ecology, Northwest Biosolids Management Association. Bellevue, WA, USA.
- Huang, J. S. 1986. Ultrastructure of bacterial penetration in plants. *Annual Review of Phytopathology*. 24:141-157.
- Illera, V., Walter I.; Cala, V. 2001. Niveles de metales pesados en *Thymus zygis* desarrollado en suelos enmendados con residuos orgánicos urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 17(4):179-186
- Katerji, N.; Van-Hoorn, J. W.; Hamdy, A. and Mastrorilli, M. 1998. Response of tomatoes, a crop of indeterminate growth, to soil salinity. *Agricultural Water Management* 38(1): 59-68.
- Khoshgoftar, A. H.; Shariatmadari, H.; Karimian, N.; Kalbasi, M.; Van-der, Zee. S. E. A. T. M. and Parker, D. R. 2004. Salinity and Zinc Application Effects on Phytoavailability of Cadmium and Zinc. *Soil Science Society of America Journal* 68(6):1885-1889.
- Krauss, S.; Schnitzler, W. H.; Grassmann, J. and Voitke, M. 2006. The influence of different electrical conductivity values in a simplified recirculating soilless

- system on inner and outer fruit quality characteristics of tomato. *J. Agric. Food Chem.* 54(2): 441-448.
- Larcher, W. 2001. *Ökophysiologie der Pflanzen*. Stuttgart (Alemania): Eugen Ulmer. p. 341-349.
- Lee, K. S.; Kader, A. A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol. Tech.* 20(3): 207-220.
- Merhaut, D. J. 2007. Magnesium. In: *Handbook of Plant Nutrition*. A.V. Barker, D.J. Pilbeam (eds). CRC Press, Boca Raton, USA. pp: 146-181
- Metcalf & Eddy, Inc. 1995. *Ingeniería de Aguas Residuales*. Tercera edición. McGraw-Hill, Madrid, España. 1485 p.
- Miralles, R.; Beltrán, E.; Porcel, M. A.; Beringola, M. L.; Martín, J. V.; Calvo, R. and Delgado, M. M. 2002. Influencia de tres tipos de biosólidos de estaciones depuradoras en el desarrollo de estaquillas de olivo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 14(4): 163-169.
- Mitchell, J. P.; Shennan, C.; Grattan, S. R. and May, D. M. 1991. Tomato fruit yield and quality under water deficit and salinity. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 116(2): 215-221.
- Niedziela, Jr. C.E., P.V. Nelson, D.H. Willits, M.M. Peet. 1993. Short-term salt-shock effects on tomato fruit quality, yield, and vegetative prediction of subsequent fruit quality. *J. Amer. soc. Hort. Sci.* 118(1):12-16.
- Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994. 1995. Bienes y servicios. Buenas prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos. *Diario Oficial de la Federación*, miércoles 04 de octubre de 1995.

- Norma oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. 2003. Protección ambiental lodos y biosólidos especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Diario Oficial de la Federación, viernes 15 de agosto del 2003.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios Muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, martes 31 de diciembre del 2002, segunda sección.
- Ortiz-Hernández, L.; Gutiérrez-Ruiz, M.; Sanchez-Salinasi, E. 1995. Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del valle de Cuernavaca, estado de Morelos, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 11(2):105-115.
- Ozores-Hampton, M., A. R. Stansly, P. McSorley, and T. A. Obreza. 2005. Effects of long-term organic amendments and soil solarization on pepper and watermelon growth, yield, and soil fertility. Hort. Sci. 40(1):80-84.
- Prieto-Méndez, J.; González-Ramírez, C.; Román-Gutiérrez, A.; Prieto-García, F. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 10(1):29-44.
- Reglamento Técnico Centro Americano (RTCA). 2009. Criterios Microbiológicos par la Inocuidad de Alimentos. Reglamento Técnico Centroamericano. RTCA 67.04.50:08. 36 p.
- Richards, L. A. 1980. Suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa, México. pp: 169.

- Roberts, J. A.; Daniels, W. L.; Bell, J. C.; Burguer, J. A. 1988. Early stages of mine soil genesis in Southwest Virginia spoil Lithosequence. *Soil Sci. Soc. J.* 52(3):716-723.
- Romheld, V; Nikolic. M. 2007. Iron: Handbook of Plant Nutrition. A.V. Barker, D.J. Pilbeam (eds). CRC Press, Boca Raton, USA,pp: 329-350.
- SAS Institute. 2001. PROC user's manual, version 6th ed. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Saure, M.C. 2001. Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) -a calcium- or a stress-related disorder? *Sci. Hort.* 90(3-4):193-208.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil.* 15(2):134-154.
- Sturz, A. V.; Christie, B. R. and Nowak, J. 2000. Bacterial endophytes: potential role in developing sustainable systems of crop production. *Crit. Rev. Plant Sci.* 19(1):1-30.
- Tavallali, V., M. Rahemi, S. Eshghi, B. Kholdebarin and A. Ramezani. 2010. Zinc alleviates salt stress and increases antioxidant enzyme activity in the leaves of pistachio (*Pistacia vera* L. 'Badami') seedlings, *Turk. J. Agr. Forest* 34(4):349-359.
- Toor, R. K.; Savage, G. P.; Lister, C. E. 2006. Seasonal variation in the antioxidant composition of greenhouse grow tomatoes. *J. Food Comp. Analysis.* 19(1):1-10.
- Traka-Mavrona, E. K.; Maloupa, E.; Papadopoulos, F. and Papadopoulos, A. 1998. Response of greenhouse tomatoes to wastewater fertigation in soilless cultivation. *Acta Horticulturae.* 458:411-416.

- United States Department of Agriculture.(USDA) 1997.United States standards for grades of fresh tomatoes.United States Departament of Agriculture, Agricultural Marketing Service, Fruits and Vegetable Division, Fresh Products Branch.Washington, D.C., USA. 13 p.
- Utria, E. R.; Cabrera, I. M.; Morales, A. and Goffe, S. 2008. Los biosolidos de aguas residuales urbanas aplicadas con diferentes frecuencias en las propiedades químicas y microbiológicas del suelo. El rendimiento y calidad de los frutos de tomate (*Solanumlycopersicum mil*). Revista científica de America Latina, el Caribe, España y Portugal. 29(4): 5-11.
- Walter, I.; Martínez, F.; Alonso, L.; De Gracia, J. and Cuevas, G. 2002. Extractable soil heavy metals following the cessation of biosolids application in agricultural soil.Environ.Pollution.117(2): 315–321.
- Willadino, L.; Camara, T. 2004. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. p. 303-330. En: Reigosa, M. J.; Pedrol, N. Y Sánchez, A., eds. La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis. Madrid: Thompson.

IV. ARTICULO

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE LODOS TEXTILES
INDUSTRIALES CRUDOS EN LA PRODUCTIVIDAD Y
COMPOSICION QUIMICA DE LA LECHUGA (*Lactuca
sativa*).**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE LODOS TEXTILES INDUSTRIALES
CRUDOS EN LA PRODUCTIVIDAD Y COMPOSICION QUIMICA DE LA
LECHUGA (*Lactuca sativa*)**

**Willian Alfredo NARVÁEZ ORTIZ, Adalberto BENAVIDES MENDOZA*, Mario
Ernesto VÁZQUEZ BADILLO, Homero RAMÍREZ**

Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro,
Buenavista, Saltillo, Coahuila, C.P. 25315, México.

*Autor para correspondencia abenmen@uaaan.mx

Palabras clave: fertilizantes, microbiológicos, metales, lodo residual.

RESUMEN

Los lodos industriales constituyen un serio problema de contaminación, pero en algunos casos su uso puede aportar un beneficio agrícola y ambiental. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de lodos textiles aplicados al sustrato sobre la productividad y composición química de la lechuga. Los lodos fueron caracterizados bajo la NOM-004-SEMARNAT-2002, mostrando los resultados características adecuadas para el uso agrícola. Se utilizó lechuga de la variedad Great Lakes que fue transplanteda en macetas de 14 L con sustrato de peatmoss y perlita en donde se mezcló el lodo textil en concentraciones de 0, 5, 10, 15 y 20%. La fertilización se realizó aplicando una solución Steiner. El contenido de minerales presentó efectos positivos al aplicar lodos textiles aumentando la concentración de N, P, K, Ca, Na, Zn, Cu, Mn y Fe en un 30.88, 43.46, 50.11, 15.81, 70.46, 257.5, 32.55, 126.8 y 1.04%, respectivamente,

mientras que para el Mg el testigo fue superior. La concentración de vitamina C se incrementó al aplicar lodos textiles al 20% en un 210.88%. La capacidad antioxidante aumento en un 4.63% al aplicar lodos textiles en un 5%. La biomasa no se vio afectada por la aplicación de lodos textiles mostrando valores no estadísticamente diferentes al testigo. Con respecto a los metales pesados no se encontró en los tejidos vegetales la presencia de dichos elementos en concentración mayor a la indicada por las normas de salud e ingesta diaria. Para el caso de microorganismos patógenos se encontró transferencia de coliformes fecales y huevos de helmintos del lodo textil a las plantas pero de nuevo con valores por debajo de los establecidos por las normas de salud.

Keywords : fertilizers, microbiological, metals, wastewater sludge.

SUMMARY

The industrial sludge is a serious pollution problem, but in some cases its use can be beneficial in agriculture and to the environment. The aim of this study was to determine the effect of textile sludge applied to the substrate on productivity and chemical composition of lettuce. The sludges were characterized under the NOM-004-SEMARNAT-2002 that showed same characteristics suitable for agricultural use. Was used lettuce variety Great lakes that was transplanted into 14Liters pots with peat moss substrate and perlite mix where textile sludge in concentrations of 0, 5, 10, 15 and 20%. Fertilization was performed by applying a solution Steiner. The mineral content had positive effects when applying sludge textiles increasing the concentration of N, P, K, Ca, Na, Zn, Cu, Mn and Fe in a 30.88, 43.46, 50.11, 15.81, 70.46, 257.5, 32.55, 126.8 and 1.04% respectively, while for the control was higher Mg. The concentration of

vitamin C increased to apply textile sludge to 20% in a 210.88 %. The antioxidant capacity increase in a 4.63% by applying sludge on 5% textiles. The biomass was not affected by the application of textile sludge showing values not statistically different from the control. With respect to heavy metals is not found that in plant tissues such elements are present in a lower concentration that are indicated by health standards and daily intake. In the case of pathogenic microorganisms we found fecal coliforms and helminth eggs in textile sludge plants; but the values were below the established health standards.

INTRODUCCION

El aumento de la población ha ocasionado una gran producción de residuos sólidos, entre los que se encuentran los lodos generados en plantas de tratamientos de aguas residuales (Salcedo *et al.* 2007). Con el aumento en la demanda de productos textiles, la industria textil ha incrementado los volúmenes de descargas de aguas residuales, constituyéndose en uno de los principales problemas de contaminación en el mundo (Dos Santos *et al.* 2007). La fabricación de los diferentes productos textiles se lleva a cabo a partir de procesos como lavado, lanzado, estirado, acabado, teñido, entre otros. A consecuencia de estos procesos la industria textil genera agua residual conteniendo fenoles, sulfuros, cromo y colorantes. Estos últimos constituyen uno de los contaminantes más visibles a causa de su color, siendo además algunos de ellos de difícil degradación (Garcés y Peñuela 2007). Existen diversas alternativas para la disposición de lodos, desde depositarlos en rellenos sanitarios, incinerarlos, hasta utilizarlos provechosamente en producción vegetal, sin embargo, hay limitaciones para su

utilización en agricultura debido a que pueden presentar una alta carga patogénica y presencia de elementos traza metálicos que pueden afectar a la cadena trófica a través de los cultivos y/o contaminar las aguas freáticas (Legret *et al.* 1988, Cennaro *et al.* 1991, Barbarick *et al.* 2004). De allí, que la metodología de aplicación correcta debe orientarse por criterios sanitarios, agronómicos y el contenido de metales pesados, tanto de los lodos como de los suelos receptores (Castro *et al.* 2007). El uso agrícola de los lodos residuales textiles puede ser una alternativa que proporciona un doble beneficio: el ambiental, al eliminarse los subproductos sin alteración significativa del equilibrio ecológico, el agrícola, al modificar, manipular o incorporar los lodos en los sustratos o suelos para el aprovechamiento de las características físicas y el contenido de nutrimentos de los materiales mencionados (Benavides *et al.* 2007). Por lo que los objetivos de este trabajo fueron determinar si la aplicación de lodos textiles crudos al sustrato de crecimiento origina cambios negativos en la biomasa y composición química de plantas de lechuga, y por otra parte si existe transferencia de metales pesados o patógenos por parte del lodo hacia las plantas bajo cultivo.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se llevo a cabo en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Saltillo, Coahuila, en la latitud Norte de 25° 23' y longitud Oeste 101° 02', con una altitud de 1743 msnm. Se usaron lodos industriales crudos de la empresa Fábrica La Estrella, S.A. de C.V. (FLESA), ubicada en el municipio de Parras de la Fuente, Coahuila. Estos sólidos que constituyen el subproducto cuentan con certificado de no peligrosidad, para el ambiente, en base al análisis de CRETIB (corrosividad, reactividad, explosidad, toxicidad, inflamabilidad y

biológico-infeccioso) de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) de la SEMARNAT. Los lodos fueron colectados del centro de confinamiento de la empresa y se analizaron de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002 en un laboratorio certificado por la EMA para verificar y documentar la presencia y concentración de coliformes fecales, *Salmonella spp*, huevos de helmintos y metales y metaloides arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc. Adicionalmente se determinó la salinidad, sodicidad, las características físicas y de fertilidad según la NOM-021-RECNAT-2000. Considerando que los lodos no sufrieron ningún tipo de tratamiento entonces se les considera lodos crudos. Los lodos fueron mezclados con sustrato de peatmoss y perlita (70:30 en volumen) en concentración de 0 (testigo sin aplicación de lodo textil), 5, 10, 15 y 20%. Las mezclas fueron colocadas en macetas de polietileno color negro de 14 L. Como material biológico se utilizaron plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*) de la variedad “Great Lakes” que fueron sembradas en charolas de 200 cavidades utilizando peatmoss y perlita (70:30 en volumen). 20 días después de la siembra fueron trasplantadas a las macetas que contenían la mezcla de sustrato y lodo. La nutrición se realizó aplicando solución nutritiva Steiner (Steiner 1961) mediante un sistema de riego por goteo. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 15 repeticiones siendo la unidad experimental una maceta con una planta.

Los lixiviados de los sustratos se monitorearon durante el transcurso del cultivo y se les determinó el pH y la conductividad eléctrica con un potenciómetro de la marca HANNA modelo-COMBO.

A las 64 días después del trasplante (ddt) se determinó el peso fresco (PF) de la parte aérea, separando esta de la raíz a la altura de la corona y pesándola en una balanza. Posteriormente las muestras fueron secadas en una estufa deshidratadora de la marca Robertshaw a 60⁰C durante 72 horas, obteniendo a continuación el peso seco (PS). Las variables químicas se evaluaron igualmente a los 64 ddt. La determinación del nitrógeno total se llevó a cabo usando el método del micro Kjeldhal (AOAC 1980a), mientras que para el fósforo se utilizó un método colorimétrico (AOAC 1980b), el potasio, calcio, magnesio, sodio, hierro, manganeso, cobre y zinc se determinaron por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica de la marca Varían AA-1275 (Ficket *al.* 1976).

El contenido de vitamina C se determino usando el método volumétrico (AOAC 1990)

Para el análisis de la capacidad antioxidante total ABTS (CAT) en hojas se utilizó el Total Antioxidant Status Assay Kit de Calbiochem[®] que consta de una solución buffer de fosfato (pH 7.2); cromógeno (Metmioglobina y ABTS[®] [catión radical 2,2-Azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonato)]); sustrato (peróxido de hidrógeno estabilizado) y como estándar se utilizó TROLOX (6-Hidroxi-2, 5, 7, 8-tetrametilcroman-2-ácido carboxílico) en concentración de 2.3 mM. Para la evaluación de esta variable se tomaron muestras a los 64 ddt. Las hojas colectadas fueron congeladas de inmediato con nitrógeno líquido hasta su llegada al laboratorio donde se depositaron en morteros de porcelana preenfriados. El tejido vegetal fue molido aplicando constantemente nitrógeno líquido. Una vez terminada la molienda se tomaron

5 g del tejido macerado y se depositaron en tubos de plástico y se le agregaron 10 ml de buffer de fosfato pH 7.2. Posteriormente se centrifugó a 3000 rpm por 10 minutos. Del sobrenadante se tomaron 20 μ L que se colocaron en un eppendorf con 1 ml de cromógeno. La lectura de la absorbancia se llevó a cabo en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 600 nm. Posteriormente se le agregaron 200 μ L del sustrato, tras una espera de 3 minutos se tomó una segunda lectura. La fórmula para calcular la capacidad antioxidante total fue:

$$\text{Antioxidant Concentration (mM)} = \frac{(2.03\text{mM})(\Delta A \text{ blanco} - \Delta A \text{ Sample})}{(\Delta A \text{ Blanco} - \Delta A \text{ s t a n d a r t})}$$

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 15 repeticiones siendo la unidad experimental una maceta con una planta, sobre los datos se realizaron análisis de varianza y pruebas de Tukey ($p=0.05$), en el StatisticalAnalysisSystem versión 6.0 (SAS 2001).

Para el análisis microbiológico y contenido de metales pesados en la lechuga se tomo una muestra de un kilogramo a los 64 ddt y se analizó en un laboratorio acreditado para la NOM-004-SEMARNAT-2002. Los resultados reportados se consideraron como un índice de la transferencia de microorganismos y metales del lodo a la planta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis microbiológico del lodo industrial textil

De acuerdo a los resultados del análisis microbiológico (**Cuadro I**) según la NOM-004-SEMARNAT-2002, el lodo textil fue categorizado como de tipo C a causa del contenido de coliformes fecales, permitiendo su uso con fines agrícolas, forestales y como mejorador de suelos.

Análisis de metales pesados del lodo industrial textil

El lodo industrial textil (**Cuadro II**) presentó todas las concentraciones de metales pesados muy por debajo de lo indicado por la NOM-004-SEMARNAT-2002, clasificándolo como un tipo de material excelente con características adecuadas para su uso en la producción agrícola.

Análisis fisicoquímico del lodo industrial textil

Los resultados del análisis de salinidad y sodicidad del extracto de saturación de los lodos textiles crudos mostraron una conductividad eléctrica de 20.8 mS cm^{-1} calificándolo como extremadamente salino y por otra parte un pH alcalino de 8.4 (NOM-021-RECNAT-2000). Se encontraron asimismo contenidos altos de cloruros (15.5 meq L^{-1}) y bicarbonatos (5.12 meq L^{-1}), concentración media de sodio (3.713 meq/l) y cantidad moderadamente baja de sulfatos (21.95 meq/l) (Richards 1980, CSR 2006). Por las características anteriores el uso de estos lodos no puede ser

indiscriminado, requiriéndose una adecuada supervisión (Otero *et al.*, 1996) ya que una utilización incorrecta de los materiales puede ocasionar efectos indeseables (Felipó 1995). Por ello no fue posible su uso directo como sustrato, utilizándose en mezcla con peatmoss u otros materiales para diluir las sales presentes. Estudios anteriores (Benavides-Mendoza *et al.* 2007) indicaron que el uso de lodos textiles como sustrato puede darse en mezcla con peatmoss en una proporción en volumen no mayor del 25% por su alto contenido de sales.

Dentro de las características físicas el lodo textil presentó una textura franco arcilloso, con una densidad aparente 1.052 g cm^{-1} y un 58% de porosidad con alto contenido de materia orgánica, 4.69%, así como 3% de carbonatos que lo clasificó como un material calizo.

En cuanto al análisis de fertilidad se encontraron concentraciones muy bajas de fósforo (4.12 mg.kg^{-1}), nitrógeno inorgánico bajo (8.78 mg.kg^{-1}), contenido medio de cobre (1.17 mg.kg^{-1}), moderadamente alto el manganeso (14.76 mg.kg^{-1}) y muy alto contenido de calcio ($11,500 \text{ mg.kg}^{-1}$), zinc (56.90 mg.kg^{-1}), hierro ($213.50 \text{ mg.kg}^{-1}$) y magnesio ($1,412.50 \text{ mg.kg}^{-1}$) (NOM-021-RECNAT-2000).

Análisis fisicoquímico de la solución nutritiva lixiviada

Los lixiviados de la solución nutritiva presentaron un aumento en el pH y conductividad eléctrica (**Cuadro III**) conforme se elevó el volumen de los lodos industriales en el sustrato. Estos cambios con toda seguridad ocurren en respuesta a las sales y otros compuestos contenidos en el lodo textil crudo.

Peso de las Plantas

La Figura 1 ilustra los resultados. Se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos tanto para el peso fresco como la biomasa seca de las plantas. Para el peso fresco se observó un menor promedio frente al testigo al aplicar 20% de lodo. Estos resultados son superiores a los reportados por Montero *et al.* (2006) y Aruaniet *al.* (2008) Al obtener pesos frescos de 337 y 654 g por planta respectivamente, al utilizar fertilizaciones químicas y orgánicas. En cambio, Mañas *et al.* (2001) afirmaron que la aplicación de lodos residuales en lechuga a una dosis de 20,000 kg/ha duplicó el peso individual de la planta.

La aplicación de los lodos en 15 y 20% disminuyó el promedio de la biomasa seca en las plantas (Figura 1), mas sin embargo estos resultados superaron a los encontrados por Carranza *et al.* (2009) Quienes obtuvieron un PS de 27.44 g por planta al cultivar lechuga en un suelo con CE de 2.6 mS.cm^{-1} que es inferior a la CE aportada por los lodos industriales en los diferentes tratamientos. Al igual que para el peso fresco, es probable que la respuesta negativa frente a la mayor concentración de lodo textil sea resultado de la salinidad aportada por el material. Se sabe que la presencia de sales en alta concentración se asocia con menor biomasa (Aslamet *al.* 1993, Ebert *et al.* 1999), menor crecimiento foliar (Curtis y Läuchli, 1986) y disminución en la capacidad fotosintética (Crameret *al.* 1990)

Contenido de minerales en hojas de lechuga

El contenido de macronutrientes presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 2). Para el caso del N y P el tratamiento con 15% de lodo industrial fue el que obtuvo la mayor concentración de estos elementos. Se sabe que bajo situaciones de exposición a la salinidad la concentración de estos elementos aumenta conforme crece la planta (Cornillón and Pailloix 1997, Khan *et al.* 1998, Mariña 2001). Por su parte el K aumentó al elevar la concentración de lodo textil, seguramente gracias al aporte adicional del elemento por parte del material. Se sabe que el K así como juega un importante papel en los ajustes de la planta necesarios para regular la absorción de agua y el potencial hídrico celular (Marshner 1995). El Ca mostró una respuesta irregular, obteniéndose los valores más altos en los extremos de concentración del lodo textil. No se dispone de una explicación sobre esta respuesta ya que, en el caso de que la presencia del lodo aumentara o disminuyera la absorción de este elemento se observaría entonces una tendencia ascendente o descendente en la concentración de Ca. Por otra parte, si la absorción de calcio hubiese sido interferida por un exceso de otros cationes como el K, Mg y Na se observaría alguna correspondencia entre las respuestas con dichos elementos, lo cual no parece ocurrir. En cuanto al Mg se observó una tendencia parecida a la del Ca. Para el contenido de Na la mayor concentración lo presentó el tratamiento al 5% de lodo industrial, siendo menores el resto de los tratamientos, incluyendo al testigo. De nuevo la respuesta no parece responder a un aumento en la disponibilidad de Na al aumentar la cantidad de lodo textil incorporado al sustrato.

Por otro lado, al comparar estos valores de concentración de los macronutrientes con los reportados por Aruini *et al.* (2008) al aplicar nitrógeno en forma química y estiércol de pollo se observó que las concentraciones de N y Ca son mayores, mientras para P y K son menores; un caso similar fue el publicado por Olivares *et al.* (2002) al evaluar

lechugas hidropónicas en donde las concentraciones de N, P y K son menores, siendo por otra parte parecidas las de Ca y Mg. Estos resultados parecen indicar que la aplicación de lodos industriales textiles no se asocia con efectos negativos en la absorción de los macronutrientes. Manteniéndose estos por encima de los rangos de suficiencia (Salisbury and Ross 1992)

La concentración de micronutrientes en los tejidos vegetales (**Fig. 3**) mostró resultados diversos según el elemento. El Cu y Zn no mostraron cambio frente al testigo en los tratamientos con menor contenido de lodo, sin embargo esto si ocurrió con los valores más altos de lodo. La respuesta fue negativa en el caso del Cu y positiva para el Zn. En cuanto al Fe y Mn no se observó respuesta que indique que la absorción de los elementos se eleva o disminuye en consideración al contenido de los lodos textiles en el sustrato. Ello hace difícil afirmar que la absorción de estos metales fuera debida a la alta concentración presente en los lodos textiles. Diversos autores (Udovenko 1985) sostienen que los microelementos provocan una disminución en la penetrabilidad del protoplasma y frenan la acumulación de iones tóxicos en las plantas, lo que conlleva a un incremento de la tolerancia al estrés. Sin embargo, es necesario destacar que estos funcionan solamente en suelos débilmente salinizados y que cuando los niveles de sales son elevados, el efecto puede revertirse y ser perjudicial para las plantas (González *et al.* 2002)

Contenido de vitamina C en hojas de lechuga

La aplicación de los lodos incrementó la cantidad de vitamina C en la lechuga (**Fig. 4**). Vallejo y Estrada (2004) y USDA (2011) mencionan que el contenido

nutricional promedio de la lechuga en cuanto a vitamina C es de 18 mg/100 g, valor cercano al obtenido por el testigo, mientras que los estudios realizados por Ismail y Fun (2003) con lechugas en un sistema de producción orgánico reportaron valores similares a los del tratamiento con 20% de lodo industrial. Parte de la explicación pudiera radicar en el efecto salino del lodo sobre la solución, ya que se sabe que el aumento de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva permite elevar el contenido de vitamina C y de los ácidos orgánicos (Krausset *al.* 2006).

Capacidad Antioxidante Total

No se encontraron diferencias frente al testigo en la capacidad antioxidante total (Figura 5), si bien se presentó cierta disminución conforme aumentaba la concentración de lodos textiles en el sustrato. Es posible que la respuesta mencionada sea resultado de la condición de estrés inducida por la aplicación de los lodos (Li *et al.* 1998, Hwanget *al.* 1999), particularmente por la presencia de salinidad (Hernandezet *al.* 2000).

Cantidad de microorganismos patógenos y metales pesados en hoja de lechuga

La cantidad de los microorganismos patógenos en la lechuga mostró valores similares entre los tratamientos (**Cuadro IV**). En cuanto al contenido de coliformes fecales los resultados están por debajo de los límites permisibles que establece la NOM-093-SSA1-1994; en el caso de huevos de helmintos los resultados fueron similares entre los tratamientos, igualmente manteniéndose por debajo de los criterios recomendados por la **NOM-EM-034-FITO-2000** y la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Estas dos últimas Normas, aunque no están enfocadas en alimentos, pueden constituir un indicador de la posibilidad de transferencia de los patógenos del sustrato hacia las plantas. Para el caso de *Salmonella*, esta se hizo presente en todos los tratamientos en la misma cantidad, a pesar de que los análisis del lodo y del agua de riego dieran como resultado ausencia de la misma. Esto podría apuntar a la posibilidad de una contaminación externa a los lodos o en su caso a una propagación de esta bacteria por la presencia de características adecuadas como es la humedad, temperatura y concentraciones elevadas de nutrientes (Byappanahalli y Fujioka 1998. Se conoce por otro lado su gran movilidad y facilidad para entrar en las plantas por medio de los estomas, radículas en germinación y áreas emergentes de las raíces laterales (Huang, 1986, Hallmann *et al.* 1997, Sturz *et al.* 2000). Estas bacterias pueden sobrevivir cuando se encuentran en las áreas húmedas y protegidas del vegetal (Seoanez 1987).

Para el contenido de metales pesados en plantas de lechuga los análisis no detectaron presencia de As, Cd, Cr, Cu, Hg y Ni en ninguno de los tratamientos, mientras que el zinc se hizo presente en todos los tratamientos presentando la mayor concentración el tratamiento al 20% de lodo industrial sin superar el límite permisible de ingesta diaria (Nirmalet *et al.* 2007).

CONCLUSION

La aplicación de los lodos industriales textiles en el sustrato no modificó el peso fresco o la biomasa seca de las plantas de lechuga.

La aplicación de lodos industriales textiles al sustrato incrementó el contenido mineral de N, P, K, Ca, Na, Cu, Mn, Fe y Zn, caso contrario sucedió con el Mg.

La aplicación de lodos industriales textiles al sustrato de crecimiento aumento el contenido de vitamina C sin cambiar la capacidad antioxidante total.

No se encontró transferencia de metales pesados por parte del lodo textil, mientras que para huevos de helmintos y coliformes fecales si se encontró transferencia por parte del lodo textil manteniéndose por debajo de los límites permisibles.

REFERENCIAS

- Agencia Española de seguridad alimentaria y nutrición (AESAN). (2005). Relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios. Diario oficial de la unión Europea. 26 pp.
- AOAC. (1980 a). Official Methods of Analysis 13th edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC., USA. pp 547 -562.
- AOAC. (1980 b). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 30th edition. Association of Official Analytical Chemist. Washington, D.C. USA. 39 pp.
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis of AOAC. 1 15th edition. Vol. II. Association of Official Analytical Chemist. Washington, D.C. USA. pp: 829–830.
- Aruini M. C., Gili P., Fernández L., González R., Reeb P., Sánchez E. (2008). Utilización del nitrógeno en diferentes manejos de fertilización en lechuga (*Lactuca sativa L.*) y su efecto sobre algunas variables biológicas del suelo, Neuquen Argentina. *Agro sur*. 36 (3): 147-157
- Aslam M., Qureshi R. H. and Ahmad N. (1993). A rapid screening technique for salt tolerance in rice (*Oriza sativa L.*). In: Plant and Soil. [Muhammad Aslam](#), [Qureshi R. H.](#) and [Ahmed N.](#) (eds). Kluwer academic publisher. Printed in Netherlands. 150: 99-107.
- Barbarick K., Doxtader K., Rédente E. and Brobst R. (2004). Biosolids effects on microbial activity in shrubland and grassland soils. *Soil Science*. 169 (3) 176-187.
- Benavides-Mendoza A., Ramírez H., Ruiz-Torres N., Perales-Huerta A., Cornejo-Oviedo E., Ortega-Ortiz H., Dávila-Salinas R. V. (2007). Aplicación de

- subproductos industriales de la Compañía Industrial de Parras, S.A. de C.V. en sustratos para la siembra y crecimiento de plantas. *En: Tópicos Selectos de Botánica*. M. González-Álvarez, S.M. Salcedo Martínez (eds). Universidad Autónoma de Nuevo León, México. pp. 147-162.
- Byappanahalli M. N. y Fujioka R. S. (1998). Evidence that tropical soil environment can support the growth of *Escherichia coli*. *Wat. Sci. Tech.*, 38: 171-174
- Carranza C., Lancho O., Miranda D., Chavez B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L) "Batavia" cultivada en un suelo salino de la sabana de Bogota. *Agronomía Colombiana*. 27(1): 41-48.
- Castro-Paz C., Henríquez O., Freres R. (2007). Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago. *Revista de geografía Norte Grande*. 37: 35-45
- Cennaro M., Vanni A., Ferrara E., Petronio B., Petruzzelli G. and Liberatori A. A. (1991). Characterization study of organic matter in municipal treatment sludges by reversed-phase HPLC chromatography. *Journal of Environmental Science and Health*. 26 (7): 1115-1138.
- Cornillón P. y Pailloix A. (1997). Influence of sodium chloride on the growth and mineral nutrition of pepper cultivars. *Journal of Plant Nutrition*. 20: 1085-1094
- Cramer G. R., Epstein E. y Läuchli A. (1990). Effects of sodium, potassium, and calcium on salt-stressed barley. I. Growth analysis. *Physiology Plant*. 80: 83-88
- Curtis P.S. y Läuchli A. (1986). The role of leaf area development and photosynthetic capacity in determining growth of kenaf under moderate salt stress. *Australian Journal of Plant Physiology*. 18: 553-565.

- CSR Consultoría agrícola y medioambiental. (2006). Interpretación análisis agrícolas extracto pasta saturada del suelo. [En línea]
http://www.csrservicios.es/CONSULTORIA_AGRICOLA/DESCARGAS/TABLA_INTERPRETACION_EPS_SUELO_CSR.pdf
- Dirección general de salud Ambiental del Perú, (Digesa). (2003). Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. 24p.
- Dos Santos A.B., Cervantes F. J y Van Lier J. L. (2007). Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. *BioresourceTechnology*: 98:2369-2385.
- Ebert G., Casierra F. and Lüdders P. (1999). Influence of NaCl salinity on growth and mineral uptake of lulo (*Solanumquitoense*). *AngewandteBotanik*. 73: 31-33.
- Felipó OMT. (1995). Reutilización de residuos urbanos y posibles contaminación. En *gestión y utilización de residuos urbanos para la agricultura*. AEDOS. Barcelona, España pp 27-37
- Fick K. R., Miller S. M., Funk J. D., McDowell L. R., Houser R. H. (1976). Methods of mineral analysis for plant and animal tissues. University of Florida institute of food and agriculture. Sciences, Department of animal sciences, Gainesville, F L. USA. 81 p.
- Garcés-Giraldo L. F. y Peñuela-Mesa G. A. (2007). Tratamiento de las aguas residuales de una industria textil utilizando colector solar. *Revista lasallista de investigación*. 4(2): 24-31.

- Gonzalez L. M., Gonzalez M. C., Ramirez R. (2002). Aspectos generales sobre la tolerancia a la salinidad en las plantas cultivadas. *Cultivostropicales* 23(2): 27-37.
- Hallmann J., Quadt-Hallman A., Mahaffee W. F., Kloepper J. W. (1997). Bacterial endophytes in agricultural crops. *Can. J. Microbiol.* 43:895-914
- Hernandez J. A., Jimenez A., Mullineaux P. M., Sevilla F. (2000). Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long-term salt stress is associated with induction of antioxidant defenses. *Plant Cell Environ.* 23:853-862
- Huang J. S. (1986). Ultrastructure of bacterial penetration in plants. *Annual Review Phytopathology.* 24:141-157.
- Hwang S. Y., Lin H. W., Chern R. H., Lo H. F., Li L. (1999). Reduced susceptibility to waterlogging together with high-light stress is related to increases in superoxide dismutase and catalase activities in sweet potato. *Plant Growth Reg.* 27 (3):167-172.
- Islmail A. and Fun C. S. (2003). Determination of vitamin C, b-carotene and Riboflavin contents in five green vegetables organically and conventionally grown. *Malaysian journal of nutrition.* 9 (1): 31-39.
- Khan M. G., Silberbush M. y Lips S. H. (1998). Responses of alfalfa to potassium, calcium, and nitrogen under stress induced by sodium chloride. *Plant Biology.* 40(2): 251-259.
- Krauss S., Schnitzler W. H., Grassmann J., Voitke M. (2006). The influence of different electrical conductivity values in a simplified recirculating soilless system on inner and outer fruit quality characteristics of tomato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(2): 441-448

- Legret M., divet L., Juste C. (1988). Migration et speciation des metaux lourds dans un sol soumis á des epanchages de boues de station d'epuration á tres forte charge. Nickel Water Residual. 22(8) :953-959.
- Li L., Staden J.(1998). Effects of plant growth regulators on the antioxidant system in callus of two maize cultivars subjected to water stress. PlantGrowthRegulations. 24 (1): 74-75.
- Mañas P., Castro E., Sánchez J. C. y de las Heras J. (2001). Uso de lodos digeridos procedentes de una e.d.a.r. de lechos bacterianos en cultivos hortícolas. II Congreso Ibérico sobre planeamiento e gestao de agua, Oporto del 9-12 de noviembre de 2000. pp 1-6.
- Mariña C. (2001). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre algunos aspectos fisiológicos del arroz (*Oryza sativa* L.) en suelos salinizados. Tesis de Maestría. Universidad de LaHabana. 80 p
- Marschner H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition. Academic Press Ltd., London. pp 657-680
- Montero S. M., Singh B. K., Taylor R. (2006). Evaluación de seis estructuras de producción hidropónica diversificada en el trópico húmedo de Costa Rica. *Tierra tropical* 2 (1): 27:237
- Nirmal-Kumar J. I., Soni H., Kumar R. N. (2007). Characterization of heavy metals in vegetables using inductive coupled plasma analyzer (ICPA). *Journal of Applied Sciences & Environmental Management*. 11(3):75-79
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. (2000). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios Muestreo y análisis.

- Norma oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. (2002). Protección ambiental lodos y biosólidos especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994. (1994). Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos.
- Norma Oficial Mexicana NOM-EM-034-FITO-2000. (2000). Requisitos y especificaciones para la aplicación y certificación de buenas prácticas agrícolas en los procesos de producción de frutas y hortalizas frescas.
- Olivares E., Peña E., Aguilar G. (2002). Nutrición mineral y estrés oxidativo por metales en espinaca y lechuga, en comparación con dos malezas asociadas, en cultivos semi-urbanos. *Asociación Interciencia*. 27 (9): 454-564
- Otero J L., Andrade M. L., Marcet P. (1996). Caracterización química y evaluación agronómica de dos tipos de lodos residuales. *Inv. Agric. Prod. Veg* 11:117:131.
- Richards, L. A. 1980. Suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa, México. pp: 169.
- RTCA. (2009). Criterios Microbiológicos par la Inocuidad de Alimentos. Reglamento Técnico Centroamericano. RTCA 67.04.50:08. 36 p.
- Salcedo-Perez E., Vázquez-Alarcón A., Krishnamurthy L., Zamora-Natera F., Hernández-Álvarez E., Rodríguez-Macías R. (2007). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. *Asociación interciencia*.32 (002).115-120.
- Salisbury. F. B. and Ross. C. W. (1992). *Plant physiology*. Wadsworth publishing company, Inc Belmont.

- SAS Institute. 2001. PROC user's manual, version 6th ed. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Seoanez M. (1987). La Contaminación agraria Instituto de Investigaciones Agrarias, Madrid. 275 p
- Steiner A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil*. 15(2):134-154.
- Sturz A. V., Christie B. R., Nowak J. (2000). Bacterial endophytes: potential role in developing sustainable systems of crop production. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 19:1-30
- Udovenko G. V. (1985). Vías para la elevación de la productividad de las plantas cultivadas en suelos salinizados. *Ciencias de la Agricultura*. 25: 77-84
- United States Department of Agriculture (USDA). (2011). USDA National nutrient database for standard reference, release 17, vitamin C, total ascorbic acid (mg) content of selected foods per common measure, sorted alphabetically. *Agricultural Research Service National Agricultural Library*. 26 pp.
- Vallejo-Cabrera F.A., Estrada-Salazar E. I. (2004). Producción de hortalizas de clima cálido. Universidad Nacional de Colombia. Cali Colombia. pp 345

Cuadro I. Análisis microbiológico de la mezcla de lodo industrial textil crudo

Parámetro	Resultado	Límite Máximo Permisible NOM-004-SEMARNAT-2002			Unidades en Base seca
		A	B	C	
Coliformes Fecales	2.7x10 ³ NMP/gST	<1000	<1000	<2000000	NMP/g
Salmonella	Ausente	<3	<3	<300	NMP/g
Huevos de Helmintos	0.5 HH/gST	<1	<10	<35	HH/g

NMP= Numero más probable HH= Huevos de helminto

Cuadro II. Contenido de metales pesados del lodo industrial textil crudo

Límite máximo permisible NOM-004-SEMARNAT-2002					
Contaminante	Resultados	Excelentes mg/Kg	Contaminante	Resultados	Excelentes mg/Kg
Arsénico	0.165	41	Plomo	17.6	300
Cadmio	2.56	39	Mercurio	7.991	17
Cromo	66	1 200	Níquel	22	420
Cobre	323	1 500	Zinc	285.7	2 800

Cuadro III. Análisis fisicoquímico de la solución nutritiva lixiviada.

Tratamientos Lodo industrial adicionado (%)	Solución Steiner lixiviada	
	pH [H ⁺]	C.E (mS.cm ⁻¹)
0	6.7	1.56
5	7.65	2.83
10	7.72	4.18
15	7.79	5.48
20	7.91	15.16

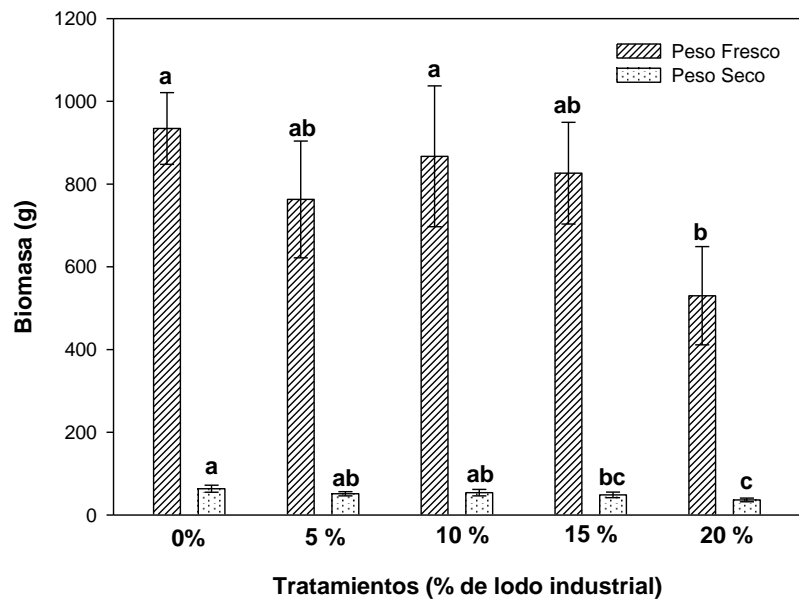


Figura 1. Efecto de la aplicación de lodos industriales textiles en el peso fresco y peso seco en plantas de lechuga. Los promedios con la misma literal no fueron estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

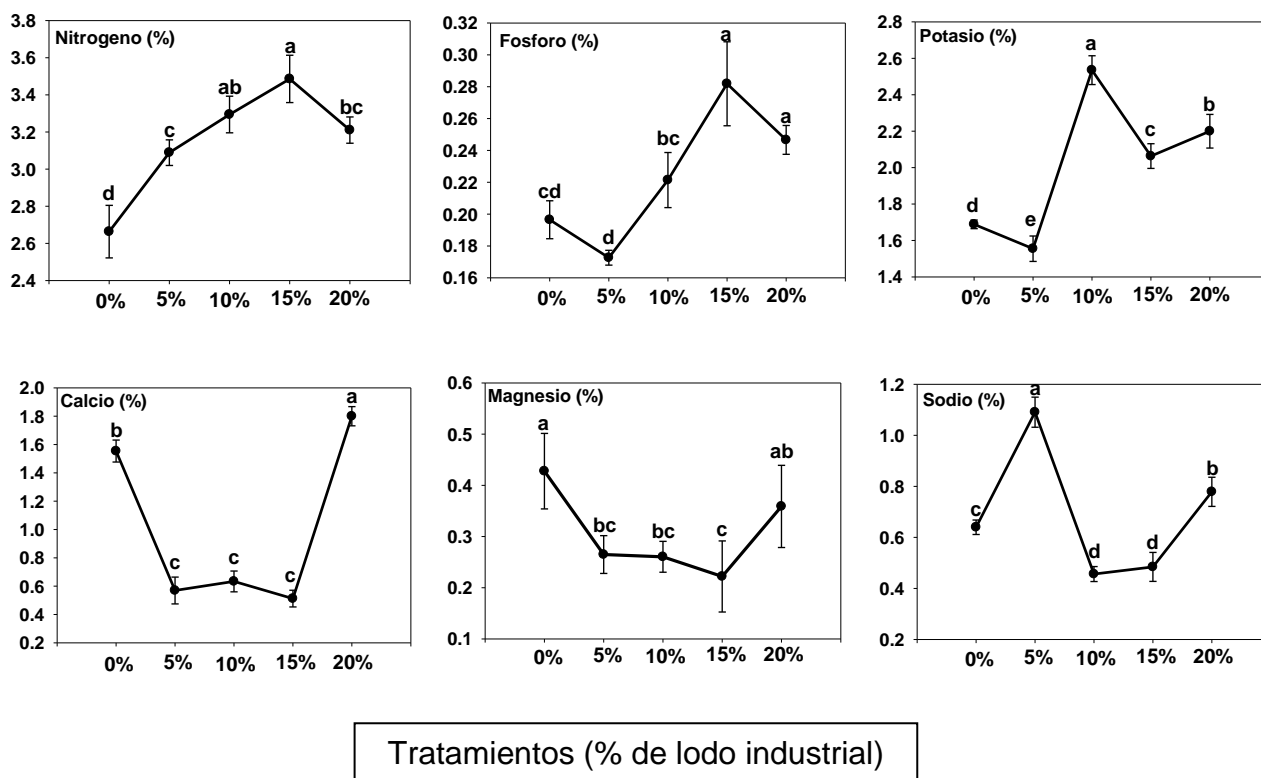


Figura 2. Efecto de la aplicación de lodos industriales textiles en el sustrato sobre el contenido de macronutrientes en plantas de lechuga. Los promedios con la misma literal no fueron estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

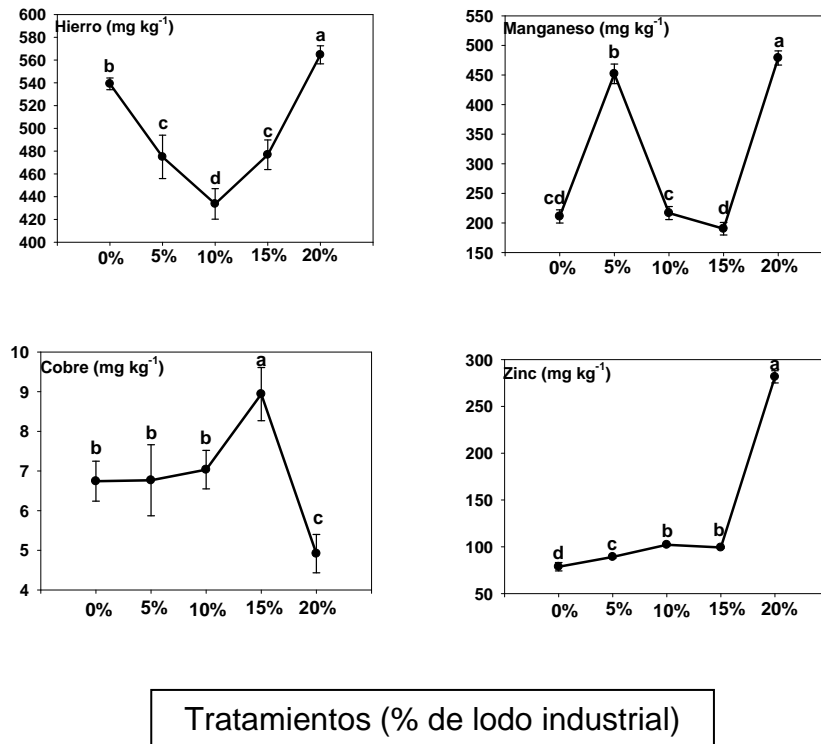


Figura 3. Efecto de la aplicación de lodos industriales textiles en el sustrato sobre el contenido de micronutrientes en plantas de lechuga. Los promedios con la misma literal no fueron estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

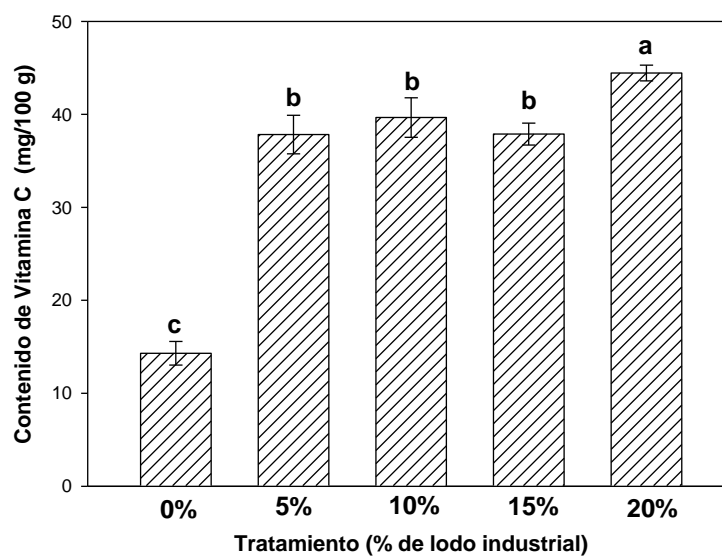


Figura 4. Efecto de la aplicación de lodos industriales textiles en el sustrato sobre en el contenido de vitamina C en lechuga. Los promedios con la misma literal no fueron estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

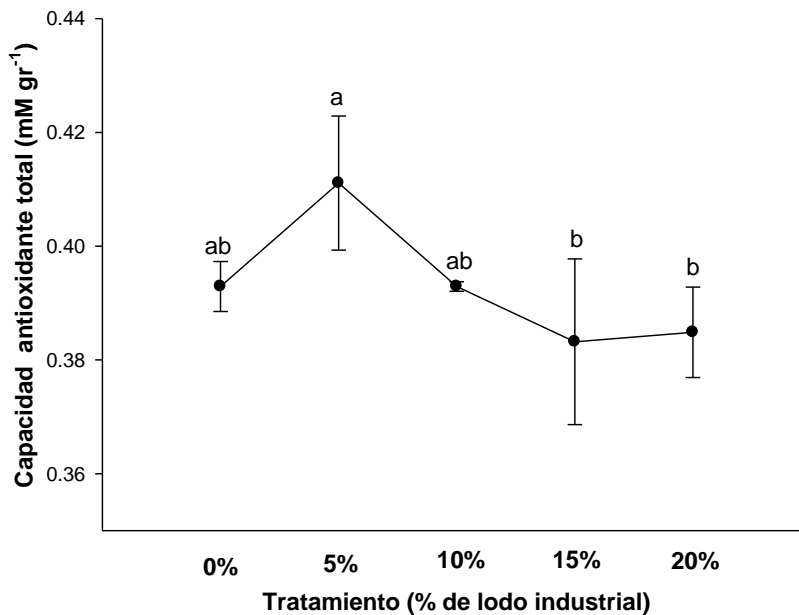


Figura 5. Efecto de la aplicación de lodos industriales textiles en la capacidad antioxidante total en lechuga. Los promedios con la misma literal no fueron estadísticamente diferentes según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Cuadro IV. Análisis microbiológico de plantas de lechuga en sustratos con adición de lodos industriales textiles.

Parámetro	Testigo (0%)	5 %	10 %	15%	20%	Límites Permisibles	Fuente
Coliformes fecales (NMP/Gst)	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	<3.0	NOM-093-SSA1-1994
Salmonella (NMP/Gst)	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	Ausente/25gr	Digesa (2003) RTCA (2009) AESAN (2005)
Huevos de Helminos HH/gST	< 0.5	< 0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<10 HH/gr <1 HH/gr	NOM-EM-034-FITO-2000 NOM-004-SEMARNAT-2002

Cuadro V. Contenido de Zinc en plantas de lechuga sometidas a lodos industriales

Parámetros	Testigo (0%)	5 %	10 %	15 %	20 %	Limite permisible	Fuente
Zinc	82.75	100.4	127.6	81.81	305.4	15 mg·día-1 hombres 12 mg·día-1 mujeres (ID)	Nirmal et al. (2007)

V. CONCLUSIONES

- La aplicación de lodos industriales textiles crudos al sustrato de crecimiento no provocó efectos negativos en el rendimiento de fruto y no modificó el peso fresco o la biomasa seca de las plantas de lechuga.
- La aplicación de lodos industriales textiles al sustrato no provocó efectos estadísticamente diferentes en el contenido de minerales en los frutos de tomate mientras que en las plantas de lechuga incrementó el contenido de N, P, K, Ca, Na, Cu, Mn, Fe y Zn, caso contrario sucedió con el Mg.
- La vitamina C en frutos y en plantas de lechuga presentó un incremento estadísticamente significativo al aplicar lodos industriales textiles, el pH de los frutos no se ven modificados por la presencia de lodos textiles y el contenido de sólidos solubles totales del fruto se incrementaron significativamente al aplicar un 20% de lodo industrial al sustrato.
- La aplicación de lodos industriales textiles al sustrato de crecimiento no cambió significativamente la capacidad antioxidante total en plantas de lechugas.
- No se encontró evidencia de transferencia de metales pesados por parte de los lodos textiles tanto para frutos de tomate como para plantas de lechuga.
- Se encontró transferencia de coliformes fecales y huevos de helmintos por parte del lodo industrial textil hacia los dos cultivos manteniéndose por debajo de los límites permisibles, a excepción del tratamiento al 20% de lodo industrial textil

en frutos de tomate, donde hubo presencia de huevos de helmintos por encima del límite máximo permisible.

- La vitamina C, pH y sólidos solubles totales del fruto en general no mostraron respuesta a la presencia de los lodos textiles, encontrándose sin embargo algunas respuestas positivas en muestreos específicos.
- No se encontró evidencia de transferencia de microorganismos patógenos o metales pesados por parte de los lodos textiles.

VI. LITERATURA CITADA

- Acosta. G. Y., E. Ramírez, E. Gutiérrez. 1998. Efectos de la aplicación del lodo residual municipal sobre suelos y plantas, Universidad del Zulia. Venezuela. pp 20
- Benavides-Mendoza. A., H. Ramírez, N. Ruiz-Torres, A. Perales-Huerta, E. Cornejo-Oviedo, H. Ortega-Ortiz, R. V. Dávila-Salinas. 2007. Aplicación de subproductos industriales de la Compañía Industrial de Parras, S.A. de C.V. en sustratos para la siembra y crecimiento de plantas. *En: Tópicos Selectos de Botánica*. M. González-Álvarez, S.M. Salcedo Martínez (eds). Universidad Autónoma de Nuevo León, México. pp. 147-162.
- Álvarez. R., M. Alconada, R. Lavado. 1999. Sewage sludge effects on carbon dioxide-carbon production from a desurfced soil. *Commun. SoilScience. Plant Anal.* 30: 1861-1866.
- Barrios. J. A., A. Rodríguez, A. González, B. Jiménez, C. Maya. 2000. Destrucción de coliformes fecales y huevos de helmintos en lodos fisicoquímicos por vía ácida. *Memorias XII Congreso Nacional. FEMISCA. AIDIS. Morelia, Mich. México.* 1 (1): 913.
- Bautista Vargas Emilio 2009. efectividad del lodo industrial textil en la produccion de hortensias (*Hydrangea microphylla L.*) en maceta. Tesis maestría,

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura,
Saltillo, México.

Barbarick, K., K. Doxtader, E. Rédente, & R. Brobst. 2004. Biosolids effects on
microbial activity in shrubland and grassland soils. *SoilScience*. 169 (3) 176-
187.

Burchard-Señoret. L. 2010. Manejo de lodos. Secretaría Regional Ministerial de
Salud de Antofagasta, Chile

Castrejón. A., J. A. Barrios-Perez, B. E. Jimenez-Cisneros, C. Maya, A. Rodríguez.
A. González. 2002. Evaluación de la calidad de lodos residuales de México.
Memorias. In: federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del
Ambiente; AIDIS. Memorias. México, D.F., FEMISCA, p.1-14

Castro-Paz, C., O. Henríquez, R. Freres. 2007. Posibilidades de aplicación de lodos
o biosolidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de
Santiago. *Revista de geografía Norte Grande*. 37: 35-45

Celis. H. J. 2007. Biosolidos residuales de la salmonicultura y su potencial uso como
remediadores de suelos. *Ciencia Facultad de Medicina Veterinaria,*
Universidad de Concepcion, Campus Chilla.10 (20). pp 80-85

Cennaro, M., A. Vanni, E. Ferrara, B. Petronio, G. Petruzzelli & A. A. Liberatori.
1991. Characterization study of organic matter in municipal treatment
sludges by reversed-phase HPLC chromatography. *Journal of Environmental
Science and Health*. 26 (7) : 1115-1138.

Coker G. y Matthews J. 1983. Metals in sewage sludge and their potential effects in
agriculture. *WaterSci. Technol*. 15, 209-225.

- Comisión Nacional del Agua, 2009. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, pp 224.
- Del Campo. M., P. R. Vaca, F. J. Lugo, B. G. Gomez, A. Esteller, S. E. Garrido-Hoyos. 2002. Aplicación de lodos residuales municipales en cultivo de haba (*vicia faba l.*) en suelos agrícolas del valle de toluca. En XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún, México. pp 1-7
- Dos Santos, A.B., F.J. Cervantes y J.L. Van Lier, 2007; Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. *BioresourceTechnology*: 98, 2369-2385.
- Escalante. V. E., G. E. Moelle, C. A. Martínez, F. Z. Hipólito. 2000. Efecto de un estimulante en la degradación anaerobia de lodos residuales. *Ciencia y conciencia compromiso nacional con el medio ambiente: memorias técnicas*. México, D.F., FEMISCA, pp.1-8.
- Fresquez. P. R., R. E. Francis, G. L. Dennis. 1990. Sewage sludge effects on soil and plant quality in a degraded semiarid grassland. *J. Environ. Qual.* 19:324-329.
- Garcés- Giraldo. L. F., G. A. Peñuela-Mesa. 2007. Tratamiento de las aguas residuales de una industria textil utilizando colector solar. *Revista lasallista de investigación, Colombia*: 4, 24-31.
- Jaakko P.1970. Fertilizerfromsewagesludge. *Environ. Pollut.Manag.*3,169-172.
- Jokela. E. J., W. H. Smith, S. R. Colbert. 1990. Growth and elemental content of slash pine 16 years after treatment with garbage composted with sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 19: 146-150.

- Legret, M., L. divet, C. Juste. 1988.. Migration et speciation des metaux lourds dans un sol soumis á des epandages de boues de station d'epuration á tres forte charge. *Nickel Water Residual*. 22(8) :953-959.
- Mectal & Eddy. 1996. *Ingeniería de aguas residuales*. McGraw-Hill, México. Pp 409-504.
- Moller-Chavez .G. 2002. El lodo y su producción. En el XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitario y Ambiental, Cancún, México.
- Ottaviani M., A. Santarsiero, S. De Fulvio. 1991. Hygienic, technical and legislative aspects of agricultural sewage sludge usage. *Acta Chim. Hung*. 128(4-5):535-543.
- Palomo-Rodriguez. M., G. Martínez-Rodríguez, U. Figueroa-Viramontes. 2007. Desarrollo sustentable de los recursos naturales al disminuir riesgos de contaminación en actividades agropecuarias. *CULCyT//Sustentabilidad*, Coahuila (México). 4 (20) pp 4-14
- Pattero J. (1979). Fertilizer from sewage sludge. *Environ. Pollut. Management* 2, 169-172.
- Salcedo-Pérez. E., A. Vázquez-Alarcón, Lakshmy Krishnamurthy, F. Zamora-Natera, E. Hernández-Álvarez, R. Rodríguez-Macías. 2007. Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. *Asociación Interciencia*. 32 (32). pp 115-120.
- SEN. S., G. N. Demirer. 2003. "Anaerobic Treatment of real textile wastewater with fluidized bed reactor (FBR)". En: *water research*. 37: 1868-1878.

Scott. A., B. C. Ball, I. J. Crichton, M. N. Aitken. 2000, Nitrous oxide and carbon ...
grassland amended with sewage sludge. *Soil Use Manage.* **16**, 36–41.

SEMARNAT 2002. Norma oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002,
proteccion ambiental – lodos y biosolidos.- especificaciones y límites
máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y
disposición final. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales.

Valencia, M, G. 1976. Características de aguas residuales y lodos, CEPIS, Lima. Pp
1-44

Water Treatment Handbook, 1991. Degremont 6th Edition Vol.I y II. U.S.A. (Manual
de tratamiento de agua 1991) 6a. Edición Vol. I y II. E.U.A.