

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Efecto de la Aplicación de Lodos Textiles sobre la Biomasa, el Contenido de Nutrimientos Minerales, la Producción y Características del Tomate (*Solanum lycopersicum L.*).

Por:

MARÍA DE LOURDES LÓPEZ GUTIÉRREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGIA

Saltillo, Coahuila, México.

Septiembre, 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Efecto de la Aplicación de Lodos Textiles sobre la Biomasa, el Contenido de
Nutrimentos Minerales, la Producción y Características del Tomate (*Solanum
lycopersicum L.*).

Por:

MARÍA DE LOURDES LÓPEZ GUTIÉRREZ

TESIS

Presenta como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Aprobada por

Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor Principal

Dra. Silvia Judith Martínez Amador
Coasesor

M. C. Andrés Rodríguez Gámez
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía
Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Septiembre del 2012

AGRADECIMIENTO

A DIOS

Por el maravilloso regalo: la vida, por la hermosa familia en la cual me permitió nacer, por las bendiciones dadas día con día, por permitirme concluir mi carrera profesional, por los momentos maravillosos, mil gracias.

A MI FAMILIA

Por el amor y la confianza depositada en mí, porque gracias a ustedes soy lo que soy.

A MI ALMA MATER: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARÍA ANTONIO NARRO.

Por darme la oportunidad de cumplir una de mis metas más anheladas, porque en ella adquirí los conocimientos que me hacen ser una buena profesionista.

AL DR. ADALBERTO BENAVIDES MENDOZA

Por el apoyo brindado en la realización de este trabajo.

AL ING. WILLIAM NARVAEZ ORTIZ

Por su paciencia, sus sugerencias, por compartir sus conocimientos y todo el apoyo brindado para que este trabajo fuera un éxito.

A LOS PROFESORES DE LA UNIVERSIDAD

En especial a los del departamento de botánica que con sus enseñanzas contribuyeron a mi formación profesional.

A MIS ASESORES

Biol. Andrés Rodríguez Gámez y Dr. Silvia Judith Martínez Amador por sus valiosas sugerencias en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

Con amor y respeto a MIS PADRES:

ORLANDO JULIO LOPEZ RODRIGUEZ

Y

MARIA DEL SOCORRO GUTIERREZ AGUILAR

Porque juntos logramos la culminación de mi carrera, porque aun con todas las adversidades que se nos presentaron nunca me dejaron de ayudar, por su amor, comprensión, confianza y por todos los buenos consejos que me dieron por que gracias a eso formaron a un ejemplo de mujer los amo.

A mis abuelos:

ABELARDO LOPEZ MERIDA

BLANCA RODRIGUEZ MAZARIEGOS

ZENAIDA AGUILAR VELAZCO

Por todo su amor, por sus sabios consejos, por consentirme tanto en especial tú abue SORI por ser la persona más maravillosa.

A mis hermanos:

DIEGO E ISELA

Por brindarme tanta alegría, por las peleas en las que yo siempre ganaba, por ser mi fuente de inspiración en todo lo que hago, por el amor el más puro y sincero que me demuestran día a día, los quiero mucho

A mis tíos:

ANGEL

MAGDALENA

ELIZABETH

Por todo su apoyo económico y moral, por formar parte de mi vida, por ser como mis angelitos de la guarda, por enseñarme que se debe luchar con toda el alma para salir adelante y ser mejores cada día, porque aunque no están físicamente conmigo, siempre están en mi corazón, los quiero mucho.

A mi tío LUIS LOPEZ HERNANDEZ (+):

Aunque ya no estás con nosotros siempre creíste en mí, Dios te llevo a su lado y no permitió que compartiéramos la felicidad de haber terminado mi carrera, pero sé que la compartiste desde donde estas, siempre te recordare.

A BLANCA LOPEZ RODRIGUEZ:

Por ser como mí hermana, porque lloramos y reímos juntas, porque juntas vivimos las mejores cosas en la universidad y las peores también, por ser la mejor amiga, la confidente y consejera gracias te quiero mucho.

A MIS PRIMOS:

ALEX, LAURIS, LALO, ANDREA, SERGIO, IVAN, JOSUE, ARLET, MAYLI, LUPITA, KEVIN, ISABEL, LUISITO, y mi chiquito hermoso BRAYAN, por los momentos felices compartidos en familia, por hacerme reír con sus travesuras y ocurrencias.

A mis compañeros de la carrera de INGENIERO EN AGROBIOLOGIA: en especial a los de la generación CXIII, por todas la experiencias vividas, por que juntos compartimos alegrías y tristezas, por lo bien que la pasábamos en las salidas a prácticas, porque a pesar de las diferencias siempre logramos nuestros objetivos, los llevaré en mi corazón.

A mis amigos:

OSCAR, AMADO, MALLENI, SARAÍN, YESARELA, YONIC, CLAUDIO, OLIVIA, ANITA, KARINA, LETY, ANGIE, YAS, BERE, MAYBER, LULU, BERLAIN, RUBICEL, ALEX, HILARIO, JOSE LUIS, LISANDRO, ALARIT, ELIZA, ELOY, GELMI, MIRIAM, YESI, RICARDO, CHECO, JAIME, MANOLO, EFREN. Gracias por compartir con migo tantos momentos felices por ser las mejores personas y los mejores amigos, los voy a extrañar.

A todas las personas que no mencione pero que de una u otra forma contribuyeron en la terminación de mi carrera profesional.

| INDICE DE CONTENIDO | Página |
|---|---------------|
| AGRADECIMIENTO | ii |
| DEDICATORIA | iv |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. JUSTIFICACIÓN | 3 |
| 1.2. OBJETIVO | 3 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. Lodo residual y biosólidos. | 4 |
| 2.2. Generalidades de los biosólidos. | 5 |
| 1) Metales | 5 |
| 2) Nutrientes importantes en las plantas | 5 |
| 3) Contaminantes orgánicos. | 6 |
| 4) Patógenos. | 6 |
| 2.3. Aplicación de Biosólidos en la Agricultura. | 6 |
| 2.4. Problemática actual de los biosólidos en México. | 9 |
| 2.5. Efecto de los biosólidos en la producción de hortalizas. | 10 |
| 2.6. Importancia del cultivo. | 10 |
| 2.6.1. Origen y distribución. | 10 |
| 2.6.2. Importancia económica. | 11 |
| 2.6.3. Producción en México. | 11 |
| 2.6.4. Producción mundial de jitomate. | 12 |
| 2.6.5. Importancia alimenticia. | 12 |
| III. MATERIALES Y METODOS | 13 |
| 3.1. Localización. | 13 |
| 3.2. Lodos industriales textiles crudos. | 13 |
| 3.3. Material vegetativo. | 14 |
| 3.4. Siembra. | 14 |
| 3.5. Preparación de los tratamientos. | 15 |
| 3.6. Trasplante e instalación del sistema de riego. | 15 |
| 3.7. Nutrición. | 16 |
| 3.8. Control de plagas y enfermedades | 17 |
| 3.9. Diseño experimental. | 18 |
| | vi |

| | |
|--|-----------|
| 3.10. Variables a evaluar. | 18 |
| 3.10.1 Peso fresco de raíz y parte aérea. | 18 |
| 3.10.2 Peso seco de raíz y parte aérea. | 18 |
| 3.10.3 Producción por planta y diámetro polar y ecuatorial. | 19 |
| 3.10.4 Análisis de minerales. | 19 |
| 3.10.5 Determinación de metales pesados y contenido microbiológico en frutos. | 19 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSION | 20 |
| 4.1. Análisis microbiológico del lodo industrial textil. | 20 |
| 4.2. Análisis de metales pesados del lodo industrial textil. | 20 |
| 4.3. Análisis de Salinidad y Sodicidad en Extracto de Saturación. | 21 |
| 4.4. Análisis Físico. | 21 |
| 4.5. Análisis de Fertilidad. | 21 |
| 4.6. Biomasa de la planta. | 23 |
| 4.7. Rendimiento por planta y diámetro polar y ecuatorial. | 24 |
| 4.8. Análisis de minerales | 26 |
| 4.9. Análisis microbiológico y contenido de metales pesados en frutos de tomate. | 29 |
| V. CONCLUSIONES | 32 |
| VI. RECOMENDACIÓN | 32 |
| VII. LITERATURA CITADA | 33 |

INDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Principales estados productores de jitomate. 12

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos aplicados en la investigación. 15

Cuadro 2. Fuente de fertilizantes para la preparación de la Solución Steiner para 1000 L. 16

Cuadro 3. Cronograma de Aplicación de solución nutritiva. 17

Cuadro 4. Productos aplicados durante el cultivo para el control de plagas y enfermedades. 17

Cuadro 5. Análisis microbiológico de la mezcla de lodo industrial textil crudo. 20

Cuadro 6. Contenido de metales pesados del lodo industrial textil crudo. 21

Cuadro 7. Propiedades fisicoquímicas de los lodos textiles de FLESA. 22

Cuadro 8. Resultados de la prueba de medias de Tukey (0.05) para el peso promedio fresco y seco en follaje de las plantas de tomate. 24

Cuadro 9. Resultados de la prueba de medias de Tukey (0.05) para el peso promedio fresco y seco de raíz de las plantas de tomate. 24

Cuadro 10. Resultados de la prueba de medias de Tukey (0.05) para la producción de fruto por planta y diámetro polar y ecuatorial del fruto. 25

| | |
|--|----|
| Cuadro 11. Resultados de la prueba de medias de Tukey (0.05) para la producción de fruto por planta y diámetro polar y ecuatorial del fruto. | 27 |
| Cuadro 12. Resultados de la prueba de medias de Tukey (0.05) para el contenido de minerales en fruto de tomate en diferentes cortes. | 28 |
| Cuadro 13. Análisis microbiológico de los frutos de tomate sometidos a lodos industriales. | 29 |
| Cuadro 14. Análisis del contenido de metales pesados en frutos de tomate sometidos a lodos industriales. | 30 |

I. INTRODUCCIÓN

La búsqueda de alternativas que reduzcan los altos niveles de contaminación en todo el planeta es una tarea continua en todas las áreas del quehacer humano. El incremento de la población mundial, asociado con la necesidad de mejorar su calidad de vida, cubrir la creciente demanda de servicios y aumentar la producción de alimentos, ha ocasionado considerables alteraciones al medio ambiente.

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. La actividad industrial ha tenido un importante papel en el desarrollo económico y social de nuestro país. Sin embargo en el tratamiento de aguas residuales de diferentes industrias se producen importantes cantidades de subproductos sólidos, comúnmente llamados lodos industriales, cuyo destino definitivo es importante puesto que pueden convertirse en una posible fuente de contaminantes con impacto negativo sobre el entorno sin embargo algunos de estos subproductos son recuperables.

La fabricación de los diferentes productos textiles se realiza a partir de procesos como lavado, lanzado, estirado, acabado, teñido, entre otros. A consecuencia de estos procesos la industria textil genera aguas residuales que contiene 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. El manejo inadecuado de estos residuos puede ocasionar problemas ambientales dado su contenido de sólidos en suspensión, sólidos

volátiles, sólidos sedimentables, acidez o alcalinidad, alta concentración de sales minerales y algunas sustancias con potencial de generar un alto impacto ambiental, tales como metales pesados, cloruros y sulfatos. Otro punto a considerar es la probable presencia de coliformes fecales como *Escherichia coli*, *Vibrio spp*, *Salmonella spp* y huevos de helmintos (NOM-004-SEMARNAT 2002).

El uso de lodos residuales, derivados del tratamiento de aguas residuales de la industria textil, como mejoradores de suelos presenta los siguientes beneficios: 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.

La aplicación de residuos orgánicos, lodos de aguas negras, residuos agrícolas e industriales a la tierra, pueden beneficiar la calidad del suelo debido a la incorporación de elementos nutrimentales y materia orgánica.

Palabras clave: Biosólidos, biomasa, minerales, producción, tomate.

1.1. JUSTIFICACIÓN

Los lodos residuales textiles 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. De obtenerse resultados positivos se tiene la posibilidad de utilizar los lodos textiles y evitar su exposición al aire libre reduciendo cada vez más el área donde puedan almacenarse.

1.2. OBJETIVO

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la aplicación de lodos textiles crudos en el sustrato de crecimiento del tomate, sobre la biomasa, el contenido de minerales, la producción de fruto y las características del mismo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Lodo residual y biosólidos.

El lodo residual se define como los residuos sólidos, semisólidos o líquidos, removidos en los procesos de tratamientos primarios, secundarios o avanzados del agua residual. El lodo incluye escorias o sólidos removidos en los procesos de tratamiento y cualquier material derivado del lodo (por ejemplo, una mezcla de lodo fertilizante) pero no incluye a los granitos de arena, cribados y cenizas generadas por la combustión del lodo en un incinerador (USEPA, 1995).

Los residuos orgánicos han sido utilizados por el hombre desde tiempos remotos para abonar los suelos dedicadas a la agricultura y a la ganadería. El incremento de la población mundial, asociado con la necesidad de mejorar su calidad de vida, cubrir la creciente demanda de servicios y aumentar la producción de alimentos, ha ocasionado considerables alteraciones al medio ambiente. Desde este punto de vista, la conservación de los ecosistemas depende de un esfuerzo de todos los sectores de la sociedad, que de una u otra forma, generan desechos que contaminan el ambiente.

En la depuración de aguas residuales de diferentes industrias se producen importantes cantidades de subproductos sólidos, comúnmente llamados lodos industriales, cuyo destino definitivo es importante puesto que puede convertirse en una posible fuente de contaminantes con impacto negativo sobre el entorno. Una alternativa atractiva es 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, et al 2007).

2.2. Generalidades de los biosólidos.

La cantidad de lodos generados por un sistema de tratamiento es variable, dependiendo de diversos parámetros, entre ellos si el sistema de tratamiento biológico involucra procesos aeróbicos o anaeróbicos. La generación de sólidos finales en un proceso aeróbico puede llegar a ser el doble que en un proceso anaeróbico (Cortés, 2003).

Santiago (2000), menciona que la calidad del lodo depende, fundamentalmente, de cuatro grupos de contaminantes principales:

1) Metales

Principalmente zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cromo (Cr). Su potencial de acumulación en los tejidos humanos y su biomagnificación en la cadena alimentaria suscitan preocupaciones, tanto medioambientales como sanitarias.

2) Nutrientes importantes en las plantas

Nitrógeno y fósforo. Su peligrosidad radica en su potencial de eutrofización para las aguas subterráneas y superficiales. Sin embargo, se pueden considerar

como fertilizantes valiosos y el principal valor para la agricultura, de los lodos industriales, reside en su alto contenido en materia orgánica y por lo tanto de elementos esenciales para las plantas.

3) Contaminantes orgánicos.

Plaguicidas, disolventes industriales, colorantes, plastificantes, agentes tenso activos y muchas otras moléculas orgánicas complejas, generalmente con poca solubilidad en agua y elevada capacidad de absorción, tienden a acumularse en los lodos. Todos ellos son motivo de preocupación por sus efectos potenciales sobre el medio ambiente y, en particular, sobre la salud humana. Una característica específica de éstos, es su potencial de biodegradación que puede ocurrir después de esparcir los lodos en la tierra o durante el composteo.

4) Patógenos.

Los agentes patógenos que se han encontrado en los lodos son las bacterias como la salmonella, los virus, sobre todo enterovirus, los protozoos, los tremátodos, los céstodos y los nemátodos. Como resultado, para que cualquier vertido de los lodos sea seguro se precisa la eliminación, o al menos una inactivación suficiente, de estos agentes patógenos.

2.3. Aplicación de Biosólidos en la Agricultura.

El uso de residuos en la agricultura data desde la antigüedad, el Imperio romano, utilizaba desechos humanos en la agricultura, los antiguos chinos, usaban *night soil* en la agricultura, en los EUA en 1880 existían reportes de 103 de 222

ciudades, los cuales usaban los desechos humanos en la agricultura (Barrios, 2004).

Fondahl (1999) menciona que California, un estado con 31 millones de habitantes utiliza en tierras agrícolas, el 52% de los biosólidos producidos (390,000 toneladas por año en base seca), mientras que Arizona utiliza el 86% de lo que produce, lo cual corresponde a 56,000 ton/ año (Fondahl, 1999).

El destino generalizado actual de estos residuos es el confinamiento en rellenos sanitarios, sin embargo en otros países es común su aplicación en suelos agrícolas, pastizales, bosques o elaboración de composta (USEPA, 1999).

Con frecuencia, la aplicación de biosólidos a tierras de cultivo es, posiblemente, el método de eliminación más barato. Se puede comparar con lo que se hace tradicionalmente con el estiércol o los residuos de ganadería. Ofrece una oportunidad para reciclar nutrientes de las plantas y materia orgánica beneficiosos para las cosechas. Además, parece que, en muchos casos, la aplicación de los lodos al suelo puede mejorar las propiedades físicas de éste, aumentando la productividad de las cosechas (Smith, 1996).

Sin embargo, Bontoux *et al.*, (1999) mencionaron cuidar los contaminantes químicos o patógenos presentes en los lodos, para que no produzcan efectos adversos. Por ejemplo, las concentraciones de metales pesados en los lodos suelen ser mayores que las que existen en el suelo y estos elementos pueden quedar retenidos indefinidamente en las capas de suelo. Por tanto, las aplicaciones

repetidas de lodos aumentarán gradualmente el contenido en elementos traza del suelo. Según la aplicación de los lodos y las concentraciones de los metales, se puede calcular el tiempo (generalmente de 70 a 80 años) en que se alcanzarán las concentraciones máximas permisibles de cada elemento en el suelo. Pasado este período los lodos no se pueden aplicar más, de forma segura. Zn, Cu y Hg son los principales elementos que limitan el resultado de lodos en las tierras de cultivo, mientras que el Cd suscita problemas específicos debidos a su toxicidad y a su movilidad variable.

El uso de lodos digeridos, procedentes de la depuración de aguas residuales urbanas y de residuos sólidos urbanos, como fertilizantes orgánicos es uno de los principales medios de reutilización de estos residuos sólidos, si bien tiende a disminuir debido a la contaminación por cationes pesados a que da lugar (López *et al.*, 2000).

Sin embargo, la necesidad evidente de incrementar los volúmenes de agua tratada en el país, traerán como resultado un aumento considerable de sólidos residuales que deberán ser utilizados racionalmente para evitar impactos ambientales negativos. La aplicación correcta de la legislación en este tema, permitirá un aumento en los métodos de manejo y utilización benéfica de biosólidos tales como en suelos agrícolas, bosques y composta, entre otros, que en corto plazo el potencial de beneficio puede alcanzar 52,000 ha por año a nivel nacional, con el consecuente ahorro de fertilizantes químicos (Flores, 2003).

Los resultados de investigación y validación de biosólidos realizados desde 1999 en el Valle de Juárez, Chih., confirman la factibilidad de su utilización en suelos agrícolas, pero estudios a mediano plazo se consideran necesarios para conocer el impacto en la productividad de los suelos y calidad de los productos (Flores y Figueroa, 2004).

2.4. Problemática actual de los biosólidos en México.

No existen reportes de volúmenes de lodos generados en el país, en el año 1992 se inició el monitoreo de 546 plantas de tratamiento, las cuales no se tenían bien documentados los tipos de plantas de tratamiento que operaban en el país, solamente se conocían las formas de manejo y eliminación, centrado en el transporte a rellenos sanitarios, confinamientos, esparcidos al suelo, vertidos al mar e incinerados (CNA, 2003).

Jurado (2004) en base a estimaciones realizadas en el 1996, reporta que la generación de biosólidos en México alcanzará aproximadamente 650,000 t de materia seca (MS) por año, en un futuro próximo, para Estados Unidos se estiman 12 millones y para la Comunidad Europea con 15 miembros 7.5 millones.

Por su parte, Flores (2003) estimó que el volumen los sólidos residuales es de 480,363 toneladas por año, ó bien en base húmedo (70%) es de 1.6 millones de toneladas. Una dosis promedio de 50 t/ha alcanzaría para aplicarse en 32,280 ha, ó bien para 51,981 ha si se considera la capacidad instalada de tratamiento de agua nacional que generaría 2.6 millones de toneladas de sólidos en base húmedo.

2.5. Efecto de los biosólidos en la producción de hortalizas.

La aplicación al suelo de biosólidos sola o en combinación con otros materiales ha sido reportada que aumentar el rendimiento de varias hortalizas las cuales incluyen tomate (*Lycopersicon esculentum*), calabaza (*Cucurbita maxima*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*). En Florida, las dosis de aplicación en el nivel más bajo es de 3 a 6 ton/acre (6.7 a 13.5 t. /ha) reflejó un incremento del rendimiento de los cultivos de tomate, calabaza y frijol (Bryan y Lance, 1991; Ozores-Hampton *et al.* 1994a, 1994b). Los biosólidos se utilizan en el cultivo de chile pimiento (*Capsicum annuum*) para reducir la dosis de N en un 50% lográndose alcanzar el mismo rendimiento comercial que un cultivo de chile pimiento con la aplicación del fertilizante (Ozores-Hampton *et al.*, 2000). La biomasa de la planta fue mayor con la aplicación de biosólidos que el control al cual no se había aplicado biosólidos.

Existen varios beneficios para los productores a través del uso de biosólidos como la mejora física (capacidad de retención de agua), química (reducción de la aplicación de fertilizante) y propiedades biológicas del suelo las cuales incrementan la población microbiana (Gallardo-Lara y Nogales, 1987; Li *et al.*, 2000).

2.6. Importancia del cultivo.

2.6.1. Origen y distribución.

La planta de jitomate es una planta nativa de América tropical, cuyo origen se encuentra en la región de los Andes (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú) y

son los lugares en donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres.

En México el jitomate está considerado como la segunda especie hortícola más importante por la superficie sembrada que ocupa, y como la primera por su valor de producción. A esta hortaliza de fruto se le encuentra en los mercados durante todo el año y se consume tanto fresca como combinada con picante (salsa), siendo una fuente rica en vitaminas (Valadez, 2001).

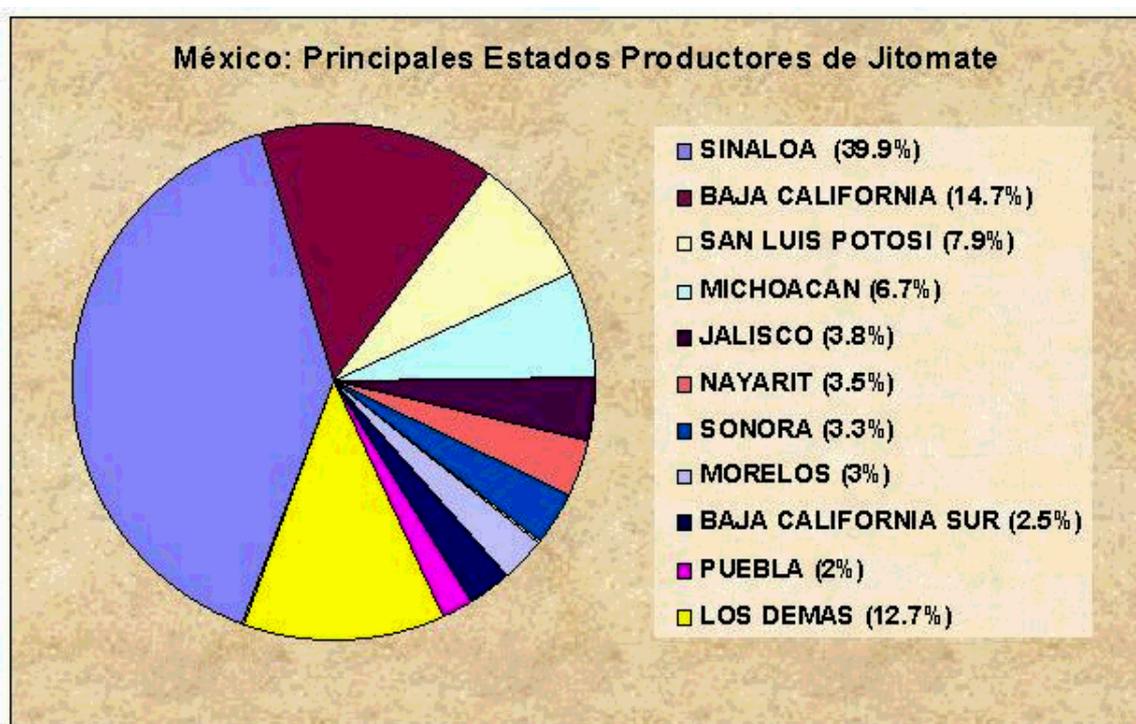
2.6.2. Importancia económica.

En la actualidad la siembra de éste cultivo en nuestro país es de suma importancia, ya que es uno de los cultivos hortícolas de mayor generación de divisas y mano de obra; además de ser el principal cultivo hortícola destinado para exportación. México ocupa el décimo lugar a nivel mundial como productor, pero ocupa el tercer lugar como país exportador de tomate con volúmenes cercanos a 600 mil toneladas anuales, la mayoría con destino a los Estados Unidos de América (Valadez, 2001).

2.6.3. Producción en México.

Según cifras del Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la producción total de jitomate durante los últimos diez años (1991-2000) fue de 19 millones de toneladas, concentrándose el 70% de la producción en los estados de Sinaloa (39.9%), Baja California (14.7%), San Luis Potosí (7.9%) y Michoacán (6.7%).

Figura 1. Principales estados productores de jitomate.



2.6.4. Producción mundial de jitomate.

Pocas son las hortalizas que a nivel mundial presentan una demanda tan alta como el jitomate. En los últimos años, la producción mundial se ha mantenido estable, con un nivel promedio anual de 86 millones de toneladas (SIAP, 2003).

2.6.5. Importancia alimenticia.

En nuestro país, como en otras partes del mundo, la preferencia por el consumo del jitomate en fresco, es predominantemente; además es utilizado como producto industrializado para la elaboración de pastas, salsas, purés, jugos, etc. Aspectos que han cobrado importancia en los últimos años, gracias a los avances tecnológicos logrados para su procesamiento, así como los gustos y costumbres de las nuevas generaciones. Estas exigencias con lleva a mayores exigencias en la

calidad para su distribución y venta en fresco, que a su vez determina renovados nichos y condiciones de mercado (Barreiro 1997).

El consumo de jitomate ha alcanzado tal difusión que difícilmente puede encontrarse otro producto agrícola que sea consumido en tales cantidades como el jitomate, ya sea en fresco o en sus diferentes presentaciones comerciales. Por lo tanto, su importancia en la alimentación guarda una relación con el alto consumo del mismo, y constituye el principal nutriente de la alimentación en muchos países (Rodríguez, 1997).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización.

El experimento se llevó a cabo en uno de los invernaderos del departamento de horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Saltillo, Coahuila, México, en la latitud Norte 25° 23` y longitud Oeste 101° 02`, con una altitud de 1743 msnm.

3.2. Lodos industriales textiles crudos.

Para este trabajo se utilizaron lodos industriales textiles crudos (sin tratamiento), que fueron colectados del área de almacenamiento de la empresa productora de mezclilla Fabrica La Estrella, S.A de C. V. (FLESA), ubicada en el municipio de Parras de la Fuente, Coahuila; estos lodos textiles crudos son el resultado del proceso de la decantación, filtración y prensado de los sólidos acarreados por el agua, resultado del proceso de elaboración de la mezclilla. Los

lodos cuentan con un certificado CRETIB (corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico-infeccioso) de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) de la SEMARNAT. Los lodos fueron caracterizados de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002 en un laboratorio certificado por la EMA esto para verificar y documentar la presencia y concentración de coniformes fecales, *Salmonella sp.*, huevesillos de helmintos, metales pesados y metaloides como arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc. Adicionalmente se caracterizaron de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, esto para determinar la salinidad, sodicidad y las características físicas y de fertilidad.

3.3. Material vegetativo.

Como material biológico se utilizaron plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*) de la variedad "Rio Grande" de crecimiento determinado, con un ciclo de vida de 120 días, las cuales fueron sembradas en charolas de 200 cavidades utilizando como sustrato peat moss y perlita (70:30).

3.4. Siembra.

La siembra se realizo el día 3 de marzo 2011 bajo condiciones de invernadero, para lo cual se utilizo 1 charola germinadora de 200 cavidades colocando una semilla por cavidad, como sustrato se utilizo una combinación de peat moos y perlita 70:30 v/v.

3.5. Preparación de los tratamientos.

Como sustrato se utilizó peat moss y perlita (70:30 v/v) que fueron mezclados con los lodos industriales textiles crudos (Cuadro 1), en macetas de plástico de 14 L.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos aplicados en la investigación.

| Tratamiento | Abreviatura | Descripción |
|-------------|-------------|---|
| T1 | 0% | Testigo sin lodos textiles. |
| T2 | 5% | Tratamiento con un 5% de lodos textiles. |
| T3 | 10% | Tratamiento con un 10% de lodos textiles. |
| T4 | 15% | Tratamiento con un 15% de lodos textiles. |
| T5 | 20% | Tratamiento con un 20% de lodos textiles. |

3.6. Trasplante e instalación del sistema de riego.

El trasplante se realizó a los 30 días después de la siembra en las macetas que contenían la mezcla del sustrato y lodo textil. Se instaló un sistema de riego por goteo proveniente de un tinaco de 1000 L, una bomba de 1 HP con una tubería principal de 1 pulgada y tubos secundarios de ½ pulgada con goteros de 4 L/ hora.

3.7. Nutrición.

Para la nutrición del cultivo se aplicó una solución nutritiva Steiner (Steiner, 1961) aumentando su concentración de acuerdo a su crecimiento (Cuadro 2).

Cuadro 2. Fuente de fertilizantes para la preparación de la Solución Steiner para 1000 L.

| Fertilizantes | g |
|---|-------------------|
| Nitrato de calcio | 1062 |
| Sulfato de magnesio | 492 |
| Nitrato de potasio | 303 |
| Fosfato ácido de potasio (KH_2PO_4) ó ácido fosfórico 85% | 136.08 ó 22.56 ml |
| Sulfato de potasio | 348 |
| Quelato de hierro EDHHA (EDTA) | 50 |
| Sulfato de manganeso | 2.17 |
| Ácido bórico en polvo | 2.5 |
| Sulfato de zinc | 0.39 |
| Sulfato de cobre | 0.079 |
| Molibdato de sodio | 0.09 |

Cuadro 3. Cronograma de Aplicación de solución nutritiva.

| Fechas de Aplicación | Concentración de solución Steiner (%) |
|----------------------|---------------------------------------|
| 21 de marzo/2011 | 25 |
| 10 de abril/2011 | 30 |
| 25 de abril/2011 | 50 |
| 6 de mayo/2011 | 75 |
| 12 de mayo/2011 | 100 |
| 22 de julio/2011 | 100 |

3.8. Control de plagas y enfermedades

Cuadro 4. Productos aplicados durante el cultivo para el control de plagas y enfermedades.

| Producto | dosis | Acción | Fecha de aplicación |
|---|---------|-------------|---------------------|
| Captan | 0.5ml/L | Fungicida | 6 de abril |
| Confidor (Imidacloprid) | 0.5ml/L | Insecticida | 6 de abril |
| Clorotalonil-tetracloroisofalónitrilo (Xenomil) | 0.5gr/L | Fungicida | 14 de abril |
| Terramicina agrícola (Oxitetraciclina) | 1 gr/L | Antibiótico | 15 y 25 de abril |

| | | | |
|----------------------|---------|-------------|----------------------|
| Furadan (Carbofurán) | 1ml/L | Insecticida | 26 de abril |
| Captan (Captan) | 0.5ml/L | Fungicida | 30 abril, 12 de mayo |

3.9. Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 15 repeticiones, siendo la unidad experimental una maceta con una planta, los datos fueron sometidos a un análisis de varianza con pruebas de comparación de medias (Tukey $p=0.05$), en el Statistical Analysis System versión 9.0 (SAS 2002).

3.10. Variables a evaluar.

3.10.1 Peso fresco de raíz y parte aérea.

Se evaluó el peso fresco de la raíz y de la parte aérea en tres ocasiones, antes de la floración, después del amarre del fruto y previo a la cosecha, utilizando tres plantas por tratamiento. Se separó la parte aérea de la raíz y se pesó por separado en una balanza granataria de la marca Sauter 223. Los resultados se expresaron en gramos.

3.10.2 Peso seco de raíz y parte aérea.

Se evaluó en peso seco de la raíz y de la parte aérea en tres ocasiones, antes de la floración, después del amarre del fruto y previo a la cosecha, utilizando tres plantas por tratamiento. Ambas partes fueron introducidas en la estufa de secado marca Robert Shaw por un tiempo de 72 horas a una temperatura de 60°C y

se pesaron en la balanza granataria marca Sauter 223 para determinar el peso, los resultados se expresaron en gramos.

3.10.3 Producción por planta y diámetro polar y ecuatorial.

La producción por planta fue determinado 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). Los diámetros polares y ecuatoriales fueron determinados con un vernier de la marca SCALA INOX.

3.10.4 Análisis de minerales.

Para la variable contenido de minerales en tejido foliar se determinaron en tres muestreos antes de floración, antes del amarre del fruto y previo a la cosecha. El contenido de minerales en los frutos fue determinado en frutos obtenidos en el tercer, cuarto y quinto corte. Para la determinación del nitrógeno total se usó la técnica de micro Kjeldhal (AOAC, 1980 a), mientras que para el fósforo se utilizó un método colorimétrico (AOAC, 1980 b). El potasio, calcio, magnesio, sodio, hierro, manganeso, cobre y zinc se determinaron por medio de un cromatografo de absorción atómica de la marca Varían AA-1275 (Ficket *al.*, 1976).

3.10.5 Determinación de metales pesados y contenido microbiológico en frutos.

Para el análisis microbiológico y contenido de metales pesados en frutos, se consideró un índice de la transferencia de microorganismos y metales del lodo a los frutos, 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.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Análisis microbiológico del lodo industrial textil.

Según los resultados del análisis del lodo textil, de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002, este se categoriza como tipo C a causa del contenido de coliformes fecales permitiendo su uso con fines agrícolas, forestales y de mejora de suelos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis microbiológico de la mezcla de lodo industrial textil crudo.

| Parámetro | Resultado | Química General | | | 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

4.2. Análisis de metales pesados del lodo industrial textil.

La concentración de los metales pesados presentes en el lodo industrial textil (Cuadro 6) fue muy baja, en todos los casos por debajo de los límites máximos permisibles NOM-004-SEMARNAT-2002. Hernández *et al.* (2005) reportaron que los análisis de la concentración de metales pesados, muestran que el lodo residual proveniente de una planta tratadora de aguas residuales está por debajo del límite permitido por la NOM-004.

Cuadro 6. Contenido de metales pesados del lodo industrial textil crudo.

| Límite máximo permisible NOM-004-SEMARNAT-2002 | | | | | |
|--|------------|---------------------|-----------|------------|---------------------|
| Parámetro | Resultados | Excelentes mg/Kg | Parámetro | 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 |

4.3. Análisis de Salinidad y Sodicidad en Extracto de Saturación.

Los resultados aparecen el Cuadro 7. Considerando que los lodos presentaron una conductividad eléctrica muy alta, pH alcalino y valores altos de cloruros y bicarbonatos, no se recomienda su uso directo como sustrato, salvo que se mezcle con peat moss u otros materiales para diluir las sales presentes. Estudios anteriores (Benavides *et al.*, 2007) indicaron que el uso de residuos industriales textiles como sustrato puede darse en mezcla con peat moss en una proporción no mayor del 25% de lodo.

4.4. Análisis Físico.

Los resultados se aprecian en el Cuadro 7. El lodo textil presentó una textura franco arcilloso, mostrando una capacidad aceptable de almacenar agua, la densidad aparente fue de buena con un 58% de porosidad. El contenido de materia orgánica fue muy alto.

4.5. Análisis de Fertilidad.

Los resultados (Cuadro 7) para los elementos analizados indicaron muy bajas y moderadamente bajas concentraciones para el nitrógeno, fosforo y azufre

respectivamente. Los contenidos de calcio, zinc, manganeso, hierro y magnesio fueron altos. Con respecto a la conductividad eléctrica todos los subproductos son fuertemente salinos. No se recomienda utilizarlos directamente como sustrato a no ser que se le aplique un lavado. Por otra parte según nuestros resultados preliminares (Benavides *et al.*, 2004), los residuos industriales pueden utilizarse mezclados (hasta en un 25% del volumen total) con otro sustrato como turba canadiense o bien someterse a un proceso de compostado o vermicompostado mezclados con basura orgánica o estiércol vacuno. De una u otra forma se aminora el problema de salinidad.

Cuadro 7. Propiedades fisicoquímicas de los lodos textiles de FLESA.

| Salinidad y sodicidad extracto de saturación | | Análisis Físico | | Análisis de Fertilidad | |
|--|--|---|--------------------|------------------------|---------------------------------|
| Conductividad Eléctrica | 20.8 mmhos/cm Extremadamente Salino | Textura | Franco Arcilloso | Azufre | 7.77 ppm Moderadamente Bajo |
| pH | 8.4 Alcalino | | | Fosforo | 4.12 ppm Muy Bajo |
| Calcio | 29.972 meq/l Bajo | Humedad a capacidad de campo % | 37.50 | Calcio | 11,500 ppm Muy Alto |
| Magnesio | 8.260 meq/l Moderadamente Bajo | Humedad a punto de marchites permanente % | 19.68 | Zinc | 56.90 ppm Muy Alto |
| Sodio | 3.713 meq/l Medio | Densidad Aparente | 1.052 gr/cm | Cobre | 1.17 ppm Medio |
| Potasio | 0.974 meq/l Muy Bajo | Materia Orgánica | 4.69 % Muy Alto | Manganeso | 14.76 ppm Moderadamente Alto |
| Carbonatos | 0.0 | Carbonatos | 3.00 % Calizo | Hierro | 213.50 ppm Muy Alto |
| Bicarbonatos | 5.120 meq/l Alto | | | Magnesio | 1,412.50 ppm Muy Alto |
| Sulfatos | 21.950 meq/l | | | Nitrógeno | 8.78 ppm |

| | | | |
|--|------------------------------|------------|--------------------------------|
| | Moderadamente Bajo | inorgánico | 33.01 kg/Ha de N disponible |
| relación de absorción de sodio (ras) | 0.849 meq/l Bajo en Sodio | | |
| cloruros | 15.500 meq/l Altos | | |

4.6. Biomasa de la planta.

Los resultados obtenidos para peso fresco y seco en follaje antes de la floración indicaron un incremento significativo al aplicar lodos textiles industriales, para la etapa después del amarre de fruto en peso fresco y seco en follaje el testigo supero a los demás tratamientos, previo a la cosecha los pesos fresco y seco en follaje también se encontró un incremento significativo al aplicar los lodos textiles industriales. Los resultados obtenidos para peso fresco y seco de raíz antes de la floración mostraron un incremento significativo con la aplicación de lodos industriales, después del amarre de fruto en peso fresco y seco de raíz el testigo supero a los demás tratamientos y previo a la cosecha se presento un incremento significativo con la aplicación de lodos textiles. Resultados similares se encontraron Miralles *et al.*, (2002b) en plantas de trigo y Martínez *et al.* (2003) en zanahoria, quienes concluyeron que la aplicación de biosólidos incrementa significativamente el peso seco de las plantas, posiblemente como respuesta al incremento que provoca este residuo en el contenido de elementos esenciales del suelo. Al aplicar lodo residual industrial, Benavides *et al.* (2007) observaron impactos positivos sobre el peso seco y fresco de lechuga al desarrollarse en el suelo en las hojas de las plantas cultivadas. Por otra parte, Mañas *et al.* (2001) afirmaron que la aplicación de

lodos residuales en lechuga a una dosis de 20,000 kg/ ha duplica el peso individual de la planta.

Cuadro 8. Resultados de la prueba de medias de Tukey (0.05) para el peso promedio fresco y seco en follaje de las plantas de tomate.

| Tratamiento | Antes de la floración (gr) | | Después del amarre de fruto (gr) | | Previo a la cosecha (gr) | |
|--------------|----------------------------|---------|----------------------------------|----------|--------------------------|----------|
| | PF | PS | PF | PS | PF | PS |
| 0% (Testigo) | 17.7 c | 1.78 b | 252.5 a | 44.55 a | 478 a | 93.5 ab |
| 5% | 28.05 ab | 3.55 a | 157.75 a | 32.75 b | 339.5 b | 66.5 bc |
| 10% | 30.4 a | 3.49a | 181 a | 35.85 ab | 283 b | 60 c |
| 15% | 24.85 abc | 3.28 a | 196.5 a | 31.9 b | 344 b | 100 a |
| 20% | 18.95 bc | 2.63 ab | 164.25 a | 32.35 b | 421 a | 86.5 abc |

Cuadro 9. Resultados de la prueba de medias de Tukey (0.05) para el peso promedio fresco y seco de raíz de las plantas de tomate.

| Tratamiento | Antes de la floración (gr) | | Después del amarre de fruto (gr) | | Previo a la cosecha (gr) | |
|--------------|----------------------------|---------|----------------------------------|---------|--------------------------|---------|
| | PF | PS | PF | PS | PF | PS |
| 0% (Testigo) | 4.9 b | 0.35 b | 173.45 a | 21.95 a | 218.5 a | 52.0 b |
| 5% | 8.6 ab | 0.55 ab | 73.0 b | 15.6 b | 241.5 a | 48.0 b |
| 10% | 10.1 a | 0.55 ab | 77.75 b | 15.5 b | 437.5 a | 111.5 a |
| 15% | 11.2 a | 0.62 a | 73.75 b | 15.8 b | 188.5 a | 44.5 b |
| 20% | 7.9 ab | 0.45 ab | 80.10 b | 16.55 b | 134.5 a | 34.5 b |

4.7. Rendimiento por planta y diámetro polar y ecuatorial.

Los resultados para las variables rendimiento por planta, diámetro polar y ecuatorial no se encontraron diferencias estadísticas, cabe señalar que el testigo presento valor numérico más alto en las variables de diámetro polar y ecuatorial, este comportamiento pudo haberse debido al efecto del alto contenido de sales que contiene el lodo industrial el cual reduce el tamaño, pero favorece el incremento del contenido de sólidos solubles totales, carotenoides y licopeno, lo cual mejora la

calidad del fruto (Mizrahi et al., 1986; Goykovic y Saavedra, 2007) y para rendimiento por planta el valor más alto lo presentó el tratamiento con 15% de lodos industriales. Los resultados de rendimiento obtenidos en este estudio fueron similares a los de Quinteiro *et al.* (1998), quienes estudiaron dosis de biosólidos desde 5 hasta 40 t ha⁻¹ en los cultivos de cebada y maíz; encontraron que la dosis más adecuada fue de 20 t ha⁻¹ y que la adición de lodos residuales aumentó el rendimiento de los cultivos. En Florida, las dosis de aplicación en el nivel más bajo es de 3 a 6 ton/acre (6.7 a 13.5 t.ha-1) reflejaron un incremento del rendimiento de los cultivos de tomate, calabaza y frijol (Bryan y Lance, 1991; Ozores-Hampton *et al.* 1994a, 1994b).

Cuadro 10. Resultados de la prueba de medias de Tukey (0.05) para la producción de fruto por planta y diámetro polar y ecuatorial del fruto.

| Tratamiento | Rendimiento por planta (gr) | Diámetro polar del fruto (cm) | Diámetro ecuatorial del fruto (cm) |
|--------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|
| 0% (Testigo) | 1268 a | 4.6750 a | 3.7288 a |
| 5% | 1079.7 a | 4.5542 a | 3.7015 a |
| 10% | 1046.5 a | 4.6175 a | 3.5544 a |
| 15% | 1389.9 a | 4.3293 a | 3.4946 a |
| 20% | 1155.7 a | 4.1000 | 3.2888 |

4.8. Análisis de minerales

Para el contenido de minerales en follaje antes de la floración el P, Mg, Mn y Fe el testigo supero a los demás tratamientos, el contenido de Ca se presento en mayor concentración en el tratamiento con 5% de lodo industrial y para el caso del N, K, Na, Zn y Cu no mostraron diferencias significativas. Antes del amarre del fruto el contenido de K, Na, Zn, Cu, Mn se encontró en mayor concentración en el testigo superando a los demás tratamientos. El mayor contenido de Ca y Fe se presento en el tratamiento con 15% de lodos industriales y el tratamiento con el 20% de lodos presento mayor contenido de N; para el caso del P, Mg no se encontró diferencias significativas. Finalmente en la etapa previo a la cosecha en el contenido de Zn, Cu y Mn el testigo supero a los demás tratamientos; mientras que mientras que el tratamiento con 5% de lodos presento mayor contenido de P; el tratamiento con 10% de lodos industriales presento mayor contenido de Fe y Ca; el mayor contenido de N y Na se presento en el tratamiento al 15% de lodos industriales; el tratamiento con 20% de lodos presento el mayor contenido de K; y el contenido de Mg no se encontraron diferencias significativas. Un efecto similar fue reportado por Ortiz *et al.* (1999) al observar que el contenido de nutrimentos esenciales (N, P, Ca, Mg, K, Fe, Na, Zn y Mn) se encuentran dentro del intervalo normal en la planta de maíz (*Zea mays* L.). Así mismo, Cuevas y Walter (2004), observaron que el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn estuvieron dentro de los límites normales para el buen desarrollo de las plantas de maíz después de la aplicación de la composta de lodo durante dos años. Dado que los sólidos muestran niveles altos de hierro y zinc, la diferencia no parece deberse a una carencia real de los elementos, sino más bien a una carencia

inducida por diferentes factores como la presencia de alta concentración de magnesio que origina déficit de absorción de zinc, alta concentración de sodio que da lugar a disminución en el manganeso y alta cantidad de bicarbonatos que disminuye la asimilación de hierro (Benavides-Mendoza, 2002). Al aplicar lodo residual industrial, Benavides *et al.* (2007) observaron mayor concentración de Fe, Mn y B en las hojas de las plantas cultivadas.

Cuadro 11. Resultados de la prueba de medias de Tukey (0.05) para la producción de fruto por planta y diámetro polar y ecuatorial del fruto.

| Trat. | N | P | K | Ca | Mg | Na | | | | |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|--------|----------|--------|---------|--------|---------|---------|
| | | | | | | | % | | | mg/kg |
| Antes de floración | | | | | | | | | | |
| 0% | 3.43 a | 0.90 a | 2.19 a | 2.98 a | 0.09 a | 0.38a | 98 a | 11.5 a | 225.5 a | 454.0 a |
| 5% | 3.32 a | 0.43 b | 2.51 a | 3.30 a | 0.08 ab | 0.31a | 118 a | 10.5 a | 181 ab | 297.0 a |
| 10% | 3.54 a | 0.38 bc | 2.46 a | 2.43ab | 0.065abc | 0.41a | 130 a | 10 a | 169.5ab | 253.8 b |
| 15% | 2.94 a | 0.34 bc | 2.22 a | 1.99 b | 0.05 c | 0.44a | 126.6 a | 9.5 a | 139 b | 180 b |
| 20% | 2.96 a | 0.25 c | 2.56 a | 1.74 b | 0.06 bc | 0.40a | 123 a | 8.5 a | 116 b | 452.5 a |
| Antes del amarre del fruto | | | | | | | | | | |
| 0% | 2.02 b | 0.29 a | 2.83 a | 3.33 b | 0.16 a | 0.7 a | 161 a | 14 a | 444.3 a | 55.33d |
| 5% | 2.53 ab | 0.23 a | 1.88 b | 3.80ab | 0.13 a | 0.35b | 91.5cd | 8 b | 379.3 a | 638.0 b |
| 10% | 2.32 ab | 0.28 a | 2.50 ab | 3.24 b | 0.09 a | 0.45b | 139.3ab | 9 b | 168.6 c | 221.33c |
| 15% | 2.66 a | 0.28 a | 2.8 a | 4.75 a | 0.17 a | 0.30b | 67.5 d | 7 b | 253.83b | 989.17a |
| 20% | 2.73 a | 0.25 a | 2.60 ab | 3.78ab | 0.11 a | 0.51ab | 115.6bc | 7 b | 190 bc | 214.17c |
| Previo a la cosecha | | | | | | | | | | |
| 0% | 1.95 b | 0.73ab | 1.70 ab | 1.36ab | 1.37 a | 0.46 a | 55.19 a | 11.24a | 634.84a | 530.75b |
| 5% | 0.33 c | 1.04 a | 1.33 b | 1.2 ab | 1.35 a | 0.19 b | 35.67 c | 10.7 a | 361.31b | 190.63d |
| 10% | 1.66 b | 0.25 c | 1.69 ab | 1.65 a | 1.68 a | 0.45 a | 51.6 ab | 7.5 b | 304.7cd | 676.91a |
| 15% | 2.81 a | 0.63 b | 1.65 ab | 1.43 a | 1.46 a | 0.60 a | 48.2abc | 10.0 a | 342.7bc | 321.65c |
| 20% | 1.95 b | 0.21 c | 1.97 a | 0.92 b | 1.52 a | 0.49 a | 41.2 bc | 8.0 b | 293.29d | 295.1 c |

El contenido de minerales en el fruto en el tercer corte fue el siguiente: P, Mn y Fe se detecto en una mayor concentración en el testigo en comparación a los demás tratamientos; mientras que la mayor concentración de K se encontró en el tratamiento con 10% de lodos industriales; el contenido más alto de Na se presento

en el tratamiento con 20% de lodos y en el caso del N, Ca, Mg, Zn y Cu no se encontraron diferencias significativas. En el cuarto corte el testigo fue superior a los demás tratamientos en contenido de K y Mn; el tratamiento con el 5% de lodos industriales mostro mayor contenido de Zn y Cu; y el mayor contenido de Na se presento en el tratamiento con 10% de lodos; el tratamiento con 20% de lodos mostro mayor contenido de Fe; mientras que para el contenido de N, P, Ca y Mg no se mostraron diferencias significativas. En el quinto corte el contenido de Ca y Cu el testigo presento mayores concentraciones; el tratamiento con 5% de lodos industriales presento mayor contenido de Fe y el tratamiento con 10% presento mayor contenido de Zn y Mn; mientras que el Na se presento en mayor cantidad en el tratamiento con 15% de lodos y en el contenido de N, P, K y Mg no se encontraron diferencias significativas. Todos los resultados de los contenidos de minerales a nivel de fruto están por encima del rango de insuficiencia (Salisbury *et al.*, 1992) a excepción del Ca y Mg.

Cuadro 12. Resultados de la prueba de medias de Tukey (0.05) para el contenido de minerales en fruto de tomate en diferentes cortes.

| Trat. | N | P | K | % | | | mg/kg | | | |
|---------------------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | | | | Ca | Mg | Na | Zn | Cu | Mn | Fe |
| Tercer corte | | | | | | | | | | |
| 0% | 1.64 a | 0.58 a | 2.48 bc | 0.11 a | 0.22 a | 0.15 b | 34.1 a | 6.3 a | 19.05 a | 197.26 a |
| 5% | 1.66 a | 0.43 ab | 2.93 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 | 0.46 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 | 0.42 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 | 3.22 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 | 7.04 ab | 29.8 a | 220.0 c |
| 5% | 1.52 a | 0.39 a | 2.4 abc | 0.10 a | 0.19 a | 0.19 ab | 44.09 a | 9.68 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 | 6.16 ab | 10.9 c | 333.26 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 | 263.25 c |
| 20% | 1.64 a | 0.36 a | 2.46 bc | 0.06 a | 0.24 a | 0.12 b | 28.23 b | 4.7 b | 7.7 c | 443.19 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 | 0.11 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 | 0.04 b | 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 | 0.03 b | 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 | 0.03 b | 0.23 a | 0.13 bc | 29.3 bc | 5.0 ab | 11.6 ab | 103.0b |

4.9. Análisis microbiológico y contenido de metales pesados en frutos de tomate.

El análisis microbiológico realizado a los frutos de tomate nos muestra que *Salmonella*, Coliformes fecales y huevesillos de helmintos estuvieron presentes en todos los tratamientos incluyendo el testigo, la *Salmonella* y coliformes fecales se presentaron en cantidades iguales mientras que la mayor cantidad de coliformes fecales se presentó en el tratamiento con 20% de lodos. Estudios mencionan que los puntos de entrada de bacterias en plantas incluyen estomas, hidatodos, nectarios, lenticelas, radículas en germinación y áreas emergentes de las raíces laterales (Hallmann *et al.*, 1997; Huang, 1986; Sturz *et al.*, 2000).

Cuadro 13. Análisis microbiológico de los frutos de tomate sometidos a lodos industriales.

| Parámetro | Testigo (0%) | 5 % | 10 % | 15% | 20% | Límites permisibles | fuentes |
|-------------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|---------------------|--|
| 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 Helmintos HH/gST | < 0,5 | < 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | | |

NMP= Numero más probable HH= Huevos de helminto

El análisis del contenido de metales pesados en frutos nos muestra que el tratamiento testigo y con 5% de lodos presenta alto contenido de Cadmio (Codex 1995), así como también se encontraron altas concentraciones de Níquel en los tratamientos 5%, 15% y 20% y en todos los tratamientos. Esto coincide a excepción del cadmio y níquel con Illera *et al.* (2001) y Salcedo *et al.* (2007), quienes detectaron contenidos de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) en la parte aérea de la planta de tomillo (*Thymus zygis*), y en el grano de maíz que no superaban los límites considerados como tóxicos para las plantas herbáceas y el tipo de grano después de la aplicación de biosólidos y lodos residuales, respectivamente. En otro estudio Hernández *et al.* (2005) encontraron que la concentración promedio de metales pesados (Cd, Pb, Cu, Ni, Fe, Zn, Mn) en la parte aérea en el cultivo del sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pres.) se ubica en los niveles nutricionales adecuados después de la aplicación del lodo residual.

Cuadro 14. Análisis del contenido de metales pesados en frutos de tomate sometidos a lodos industriales.

| Parámetros | Testigo (0%) | 5 % | 10 % | 15 % | 20 % | Limite permisible | fuelle |
|------------|--------------|------|------|------|------|---|----------------------|
| Arsénico | ND | ND | ND | ND | ND | 0.0003mg kg ⁻¹ día ⁻¹ (RfD) | EPA (2006) |
| Cadmio | 42,5 | 27.5 | ND | ND | ND | 0.05 mg kg ⁻¹ (CMPH) | CODEX (1995) |
| Cromo | ND | ND | ND | ND | ND | 35 µg·día-1 hombres y 25 µg·día-1 mujeres (ID) | Hernández (2004) |
| Cobre | ND | ND | ND | ND | ND | 10 mg·día-1 adultos (NMIT) | Nirmal et al. (2007) |
| Plomo | ND | ND | ND | ND | ND | 0.10 mg·kg-1 (CMPF) F y H | CODEX (1995) |

| | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|------|-----|---|---|
| Mercurio | ND | ND | ND | ND | ND | 0.0003 mg·kg ⁻¹ (RfD) Hgi y 1.6 µg·kg ⁻¹ (PC) Hgme | De Rosa et al. (1998) Cabrera- Vique et al. (2007) |
| Níquel | ND | 61 | ND | 39 | 32 | ----- | ----- |
| Zinc | 64,78 | 62.73 | 137.5 | 83.6 | 157 | 15 mg·día ⁻¹ hombres y 12 mg·día ⁻¹ mujeres (ID) | Nirmal et al. (2007) |

RfD: dosis oral de referencia (cantidad de xenobiotico que puede ser consumida diariamente sin que existan efectos nocivos a la salud durante el tiempo de vida); CMPH: concentración máxima permitida en hortalizas; ID: ingesta diaria; PC: peso corporal; (CMPF) F y H: concentración máxima por peso fresco en frutas y hortalizas.

V. CONCLUSIONES

- Con la aplicación de lodos textiles industriales se incremento el peso fresco y seco tanto de la parte aérea como de raíz.
- La aplicación de lodos industriales textiles reflejo un incremento en la producción de fruto por planta, sin embargo los diámetros polar y ecuatorial presentaron una ligera disminución.
- La aplicación de lodos industriales textiles al sustrato de crecimiento no provoco efectos negativos en el contenido de minerales tanto en planta como en fruto.
- No se encontró evidencia de transferencia de microorganismos patógenos o metales pesados por parte de los lodos industriales a los frutos.

VI. RECOMENDACION

En base a los resultados obtenidos se recomienda utilizar la aplicación de lodos industriales para incrementar la producción y rendimiento de cultivos como el tomate y otras hortalizas o forrajes y se reduce su confinamiento en rellenos sanitarios o su disposición en sitios a cielo abierto lo que ocasiona efectos negativos al ambiente.

VII. LITERATURA CITADA

Association of official analytical chemiste (AOAC). 1980 a. Official Methods of Analysis 13th edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC., USA. pp 547 -562.

Association of official analytical chemiste (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. pp 39.

Barreiro, P. M. 1999. Frutas y Hortalizas Nacionales. Revista de Claridades Agropecuarias. Sinaloa, México.

Barrios P., J. A. 2004. Tratamiento y aplicación de lodos residuales en México. Grupo Tratamiento y Reúso del Instituto de Ingeniería UNAM. Memorias del Sexto Congreso de Químicos Farmacéuticos Biólogos. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Benavides-Mendoza, A. (Compilador). 2002. Ecofisiología y Bioquímica del Estrés en Plantas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura, Buenavista, Saltillo, Coah. México. 287 páginas.

Benavides-Mendoza, A., H. Ortega-Ortiz, N.A. Ruiz-Torres, M. Cantú-Sifuentes, L.O. Fuentes-Lara, R.V. Dávila-Salinas. Determinación de la utilidad y calidad de un

fertilizante orgánico y/o mejorador de suelo fabricado en base a lodos residuales de la Compañía Industrial de Parras (Plantas HILPAR, PARLASA y FLESA). 2004. Reporte Técnico de actividades y resultados al 31 de agosto del 2004.

Benavides M., A., H. Ramírez., N. Ruiz T., A. Perales H., E. Cornejo O., H. Ortega O. y R.V. Dávila S. 2007. Aplicación de subproductos industriales de la compañía industrial de Parras, S.A. de C.V. en sustratos para la siembra y crecimiento de plantas. pp. 147-162. *In*: M. González-Álvarez y S.M. Salcedo Martínez (eds.). Tópicos Selectos de Botánica. Vol. III. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México.

Bontoux, L.; M. Vega; D. Papameletiou. 1999. Tratamiento de las aguas residuales urbanas en Europa: el problema de los lodos.

Bryan, H.H. and C.J. Lance. 1991. Compost trials on vegetables and tropical crops. *BioCycle* 27(3):36-37.

Comisión del Codex alimentarius (CODEX). 1995. Norma general del CODEX para los Contaminantes y las Toxinas Presentes en los Alimentos y Piensos (codex stan 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.

Comisión Nacional del Agua. 2003. Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales. México.

Cortés C., E. 2003. "Fundamentos de Ingeniería para el Tratamiento de los Biosólidos Generados por la Depuración de Aguas Servidas de la Región Metropolitana" Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil Químico. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Química. Santiago de Chile.

Cuevas, G. y I. Walter. 2004. Metales pesados en maíz (*Zea mays* L.) cultivados en un suelo enmendado con diferentes dosis de compost de lodos residual. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 20: 59-68.

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, F L. USA. 81 p.

Flores M., J. P. 2003. Manejo y Biodegradación de Biosólidos Aplicados a la Agricultura. Ponencia Presentada en la XV Semana Internacional de Agronomía de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Dgo.

Flores M., J. P. y Figueroa V.U. 2004. Biosólidos en Suelos Agrícolas: Avances en la Investigación y Validación. Memorias del XXXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. León, Gto., México.

Fondahl, L. 1999. Biosolids management in the western region. Biocycle July. pp. 70-74.

Gallardo Lara, F. and R. Nogales. 1987. Effect of the application of town refuse compost on the soil plant system: A review. Biol. Wastes 10:35-62.

Goykovic C., V. y G. Saavedra del Real. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. IDESIA 25(3): 47-58.

Hallmann, J.; Quadt-Hallman, A.; Mahaffee, W. F. and Kloepper, J. W. 1997. Bacterial endophytes in agricultural crops. Canadian Journal Microbiology. 43:895-914.

Hernández H., J. M., E. Olivares S., I. Villanueva F., H. Rodríguez F., R. Vázquez A. y J. F. Pissani Z. 2005. Aplicación de lodos residuales, estiércol bovino y fertilizantes químicos en el cultivo del sorgo forrajero (*Sorghum vulgare pers.*). Revista Internacional de Contaminación Ambiental 21: 31-36.

- Huang, J. S. 1986. Ultrastructure of bacterial penetration in plants. Annual. Review of Phytopathology. 24:141-157.
- Illera, V., I. Walter y V. Cala. 2001. Niveles de metales pesados en *Thymus zygis* desarrollado en suelos enmendados con residuos orgánicos urbanos. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 17: 179-186.
- Jurado G., P; L. M. Luna; H. R. Barretero. 2004. Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos, en pastizales áridos y semiáridos. Revista Técnica Pecuaria Mexicana. 42 (3): 379-395.
- López, F.; Juana I; G. M. Navarro; C. S. González. 2000. Tratamiento de Descontaminación de Materia Orgánica Residual: Límites Alcanzados en Metales Pesados. Edafología. 7(3): 151-757.
- Li, Y.C., P.J. Stoffella, and H.H. Bryan. 2000. Management of organic Amendments in vegetables crop production systems in Florida. Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc. 59:17-21.
- Mañas, Elena Castro, Juan Carlos Sánchez y Jorge de las Heras. 2001. Uso de lodos digeridos procedentes de una e.d.a.r. de lechos bacterianos en cultivos hortícolas, Universidad de Castilla-la mancha. e.t.s.i.a. Albacete. España. 1-6.
- Martínez, F.; Cuevas, G.; Calvo, R.; Walter, I. 2003. Biowaste effects on soil and native plants in a semiarid ecosystem. J. Environ. Qual. 32(2): 472-479.

Miralles, R.; Beltrán, E.; Porcel, M. A.; Beringola, M. L.; Martín, J. V.; Calvo, R.; Delgado, M. M. 2002b. Influencia de tres tipos de biosólidos de estaciones depuradoras en el desarrollo de estaquillas de olivo. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 14(4): 163-169.

Mizrahi, Y.; Arad, S.; Mizrahi, Y.; Zohar, R. 1986. Salinity as a possible means of improving fruit quality in slow-ripening tomato hybrids. *Acta Hort.* 190: 223-224.

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.

Ozores-Hampton, M., H.H. Bryan and R. McMillan. 1994a. Suppressing disease in field crops. *BioCycle.* 35(7):60-61.

Ozores-Hampton, M., B. Schaffer, H.H. Bryan, and E.A. Hanlon. 1994b. Nutrient concentrations, growth and yield of tomato and squash in municipal solid waste amended soil. *HortScience* 29:785-788.

Ozores-Hampton, M., P.A. Stansly, T.A. Obreza. 2000. Biosolids and soil solarization effects on bell pepper (*Capsicum annuum*) production and soil fertility in a sustainable production system. *HortScience* 35:443.

Ortiz H., Ma. L., E. Sánchez S. y M. Gutiérrez R. 1999. Efectos de la adición de los lodos residuales sobre un suelo agrícola y un cultivo de maíz. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 15: 69-77.

Quinteiro R., M. P., M. L. Andrade C. y E. De Blas V. 1988. Efecto de la adición de un lodo residual sobre las propiedades del suelo: Experiencias de Campo. *Edafología* 5: 1-10.

Rodríguez, R. R. , J. M. Tabares y J. A. Medina. 1997. *Cultivo Moderno del Tomate*. Ed. Mundi-prensa. 2° Ed. PP 13,19-23.

SAGARPA. (SIAP 2003) *Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera*.

Salcedo P., E., A. Vázquez A., L. Krishnamurthy., F. Zamora E., E. Hernández A. y R. Rodríguez M. 2007. Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. *Interciencia* 32: 115-120.

Salisbury. F. B. and Ross. C. W. 1992. Plant physiology. Wadsworth publishing company, Inc Belmont.

Santiago, E. 2000. Apuntes del Curso: Tratamiento de Aguas Residuales. Especialización en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Saltillo.

Smith, E. 1996. Agricultural recycling of sewage sludge and the environment, Cab. International.

Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant Soil. 15:134-154.

Sturz, A. V.; Christie, B. R. and Nowak, J. 2000. Bacterial end ophytes: potential role in developing sustainable systems of crop production. Critical Review in Plant Science. 19:1-30.

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.

U. S. Environmental Protection Agency. 1995. A guide to the biosolids risk assessments for the EPA part 503 rule. EPA832-B-93-005. September.

U.S. Environment Protection Agency (EPA). 1999. Biosolids generation, use, and disposal in the United States. EPA530-R-99-009.

Valadez L. A. 2001. Producción de hortalizas. Editorial Limusa. México.