



**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
División de Ingeniería**

**IMPACTO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE LA UAAAN EN CALABACITA TIPO ZUCCHINI
(*Cucúrbita pepo L.*)**

Por:

Axel Ivan Ortiz Ramos

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2013

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Impacto de Lodos Residuales de la Planta de Tratamiento de la UAAAN en
Calabacita tipo Zucchini (*Cucúrbita pepo L.*)

Por:

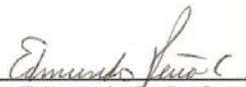
Axel Ivan Ortiz Ramos

TESIS

Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador, Como Requisito
Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

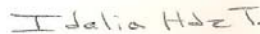
Aprobado Por:



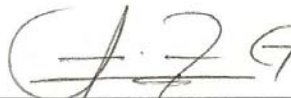
Dr. Edmundo Peña Cervantes
Presidente del H. Jurado



Dr. Rubén López Cervantes
Sinodal



M.C. Idalia María Hernández Torres
Sinodal



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio 2013

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



Coordinación de
Ingeniería

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CUADROS	i
INDICE DE FIGURAS	i
RESUMEN	iii
INTRODUCCION	1
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	2
REVISION DE LITERATURA	3
Definición de lodo residual.....	3
Contaminantes presentes en lodos.....	3
Tipos de lodos.....	3
Lodo primario.....	3
Lodo secundario.....	4
Lodo terciario.....	4
Clasificación de lodos.....	4
Lodos peligrosos.....	4
Lodos no considerados peligrosos.....	5
Otros lodos.....	5
Legislación para uso de los lodos residuales.....	5
Definición de biosólidos.....	6
Aprovechamiento de los biosólidos.....	6
Disposición final de lodos y biosólidos.....	7
Características de lodos residuales para aplicarlo al suelo.....	8
Cantidad de lodo residual.....	9
Contenido de sólidos totales.....	10
Contenido de Sólidos Volátiles.....	11
pH.....	11

Materia orgánica.....	11
Patógenos.....	12
Nutrientes.....	13
Metales pesados en lodos.....	14
Contaminantes peligrosos.....	17
Aplicación de lodo al suelo.....	17
Legislación para el uso agrícola de los lodos residuales.....	18
Factores que hay que tener en cuenta en la aplicación de los lodos como fertilizantes.....	19
Acidez del suelo.....	19
Contenido de materia orgánica.....	19
Granulometría del Suelo.....	19
Propiedades de la Cal Dolomita (Doble Carbonato de Calcio Magnesio).....	20
Características químicas.....	20
Beneficios de cal Dolomita.....	20
Función en el suelo.....	20
Generalidades del cultivo de la Calabaza (Cucúrbita pepo L. Tipo Zucchini).....	21
Taxonomía.....	21
Morfología.....	22
Fisiología.....	22
Fenología.....	23
MATERIALES Y METODOS.....	24
Localización y características de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	24
Metodología.....	24
Ubicación de los Puntos de Muestreo.....	24
Preparación de muestras.....	26
Diseño experimental.....	27
Variables evaluadas.....	27

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
Concentración de Elementos en Raíz, Tallo y Hoja.....	31
CONCLUSIONES	52
LITERATURA CITADA	53

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tipo y Clase de los Biosólidos y su Aprovechamiento.....	7
Cuadro 2. Límites Máximos Permisibles para Patógenos y Parásitos en Lodos y Biosólidos.....	12
Cuadro 3. Límites Máximos Permisibles de Metales Pesados en Biosólidos y su Clasificación.....	16
Cuadro 4. Composición de la Cal Dolomita.....	20
Cuadro 5. Elementos totales en los diferentes materiales y lodos en mg kg ⁻¹	29
Cuadro 6. Algunas características químicas importantes en la caracterización de los materiales utilizados.....	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Croquis de la planta de tratamiento de agua residual y puntos de muestreo....	25
Figura 2. Acomodo y clasificación de los tratamientos.....	26
Figura 3. Contenido de Calcio en raíz.....	31
Figura 4. Contenido de Calcio en tallo.....	32
Figura 5. Contenido de Calcio en hoja.....	33
Figura 6. Contenido de Magnesio en raíz.....	34
Figura 7. Contenido de Magnesio en tallo.....	35
Figura 8. Contenido de Magnesio en hoja.....	36
Figura 9. Contenido de Potasio en raíz.....	37
Figura 10. Contenido de Potasio en tallo.....	38
Figura 11. Contenido de Potasio en hoja.....	39
Figura 12. Contenido de Hierro en raíz.....	40
Figura 13. Contenido de Hierro en tallo.....	41
Figura 14. Contenido de Hierro en hoja.....	42
Figura 15. Contenido de Zinc en raíz.....	43
Figura 16. Contenido de Zinc en tallo.....	44
Figura 17. Contenido de Zinc en hoja.....	45

Figura 18. Contenido de Manganeso en raíz.....	46
Figura 19. Contenido de Manganeso en tallo.....	47
Figura 20. Contenido de Manganeso en hoja.....	48
Figura 21. Contenido de Cromo en raíz.....	49
Figura 22. Contenido de Cromo en tallo.....	50
Figura 23. Contenido de Cromo en hoja.....	51

RESUMEN

Actualmente el agua es un recurso indispensable e insuficiente debido a la alta tasa de crecimiento de la población, razón por la cual se hace necesaria la reutilización de este recurso mediante procesos de tratamiento, pero a consecuencia de dichos tratamientos son generados grandes volúmenes de lodos o biosólidos, una de las alternativas para la disposición final de los biosólidos es su utilización como mejoradores de suelos agrícolas por su alto contenido de materia orgánica, además son una fuente indispensable de nutrimentos. El objetivo de esta investigación fue, evaluar el efecto de los lodos de la PTAR de la UAAAN en la acumulación de algunos elementos en planta de calabacita, antes y después de haberles dado un proceso de estabilización alcalina con cal dolomita, basado en la NOM-004-SEMARNAT-2002. Para la cual se obtuvieron dos muestras simples de las diferentes etapas de la PTAR de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, después de haber aplicado el proceso de estabilización, estos se mezclaron con un suelo ácido en macetas de 5 kg cada una hasta tener cinco tratamientos y un testigo absoluto, Las variables evaluadas fueron algunos elementos esenciales y componentes de los materiales usados para la estabilización y algunos elementos de los lodos residuales tales como Calcio (Ca), Cromo (Cr), Hierro (Fe), Potasio (K), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn), en Raíz (R), Tallo (T) y Hoja (H). Los resultados obtenidos demuestran un comportamiento muy variado para los micronutrimentos y metales pesados, en general el K, Ca y Mg reportan cantidades muy elevadas de estos elementos en todas las partes de la planta, sobresaliendo el T4 (lodo laguna no estabilizado). Los lodos independientemente del sitio del muestreo tienen grandes cantidades de materia orgánica lo que los hace aptos para ser utilizados como mejoradores de suelos, con el proceso de estabilización alcalina mejoran las condiciones de pH del suelo ácido y modifican la disponibilidad de algunos metales.

Palabras clave: Lodos Residuales, Cal Dolomita, Calabacita, Estabilización, Materia Orgánica.

INTRODUCCION

En los centros urbanos e industriales se incrementa la generación de aguas residuales día con día, para ello se han construido plantas de tratamiento a fin de generar un efluente líquido de calidad adecuada para que pueda ser retornada a las aguas superficiales naturales con un impacto mínimo al medio ambiente o a la salud pública, en consecuencia son generados grandes volúmenes de lodos residuales con alta carga orgánica y toxicidad. En muchas ocasiones en las plantas de tratamiento de agua, los lodos que generan no se han considerado su manejo y disposición, en la mayoría de los casos son descargados al drenaje municipal y a las corrientes superficiales provocando contaminación y disminuyendo las posibilidades de uso del agua o cualquier otro recurso el que se provoque contaminación. En México la práctica común de descargas de los lodos sin previo tratamiento es directamente al alcantarillado municipal y finalmente a otros cuerpos mayores de agua (Cardozo, *et al.* 1988). La mayoría de los contaminantes que se presentan en el agua no son destruidos durante el tratamiento, eso tienden a concentrarse en los lodos. Por eso es necesario manejar adecuadamente este producto para buscar alterar lo menos posible el ambiente.

El problema de la acumulación de residuos sólidos generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales es un problema ambiental que cada día cobra mayor relevancia en México. La NOM-004-SEMARNAT-2002 (Diario Oficial de la Federación 2002), establece en el punto 3.5, que los lodos residuales que han sido estabilizado por algún proceso se denomina biosólidos.

Una de las alternativas para la disposición final de los biosólidos es su utilización como mejoradores de suelos agrícolas por su alto contenido de materia orgánica, además son una fuente importante de macronutrientes como N, P, K y micronutrientes como Cu y Zn (Azevedo, *et al.* 2003).

Los biosólidos que son destinados a uso agrícola también pueden contener metales pesados por lo que es importante conocer su contenido total por el riesgo existente de que se acumulen en el suelo.

Para el caso del agua residual y sólidos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) no existe un estudio sobre el contenido y distribución de metales pesados en las diferentes etapas de tratamiento, y sin embargo, estas se usan para riego agrícola y los sólidos no tienen uso y/o confinamiento determinado. En el agua residual de la UAAAN un elemento potencialmente tóxico importante, es el Cromo, el cual es utilizado desde muchos años

para la determinación de la materia orgánica del suelo y la demanda química de oxígeno (DQO) de aguas residuales, el cual está sujeto a ser precipitado por las condiciones del medio ambiente y acumularse en los lodos.

Sabiendo la importancia del tratamiento de las aguas residuales así como del lodo que se genera en las diferentes etapas del tratamiento y la necesidad de darle un uso determinado al mismo, dada la potencialidad de uso agrícola que tiene después de ser estabilizado por alguna de las metodologías propuestas en la NOM-004-SEMARNAT-2002 se realizó el presente trabajo de investigación con los siguientes:

Objetivos

- Evaluar el impacto del lodo producido en la PTAR en un cultivo a través de la cuantificación de metales pesados en la misma.
- Determinar la absorción de metales por la planta.
- Observar los cambios producidos en los lodos después de la estabilización alcalina propuesta por la NOM-004-SEMARNAT-2002, al compararlos con los lodos en bruto.

Hipótesis

- El uso de lodos estabilizados o en bruto incrementan los niveles de metales pesados en planta

REVISION DE LITERATURA

Definición de Lodo Residual

En la NOM-004-SEMARNAT-2002, se definen los lodos residuales como sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización.

Por otro lado la EPA (1995), define el lodo residual como los residuos sólidos, semisólidos o líquidos, removidos en el proceso de tratamientos primarios, secundarios y avanzados del agua residual. El lodo incluye escorias o sólidos removidos en los procesos de tratamiento y cualquier material derivado del lodo.

Los lodos residuales son el subproducto del tratamiento de las aguas residuales y mientras mayor sea la efectividad del tratamiento, mayores cantidades de lodo serán generados.

Contaminantes Presentes en los Lodos

Varios componentes orgánicos y minerales confieren características de fertilizantes a los lodos, pero otros componentes resultan indeseables por que manifiestan riesgos ambientales y sanitarios. Estos pueden ser agrupados genéricamente en:

- Metales Pesados
- Microorganismos patógenos
- Contaminantes orgánicos variados

Tipos de Lodos

Lodo Primario

El lodo primario, es el lodo que resulta del tratamiento primario del agua residual, y que no ha experimentado ningún proceso de tratamiento, usualmente contiene de 93 a 99.5 % de agua, así como también los sólidos y sustancias disueltas que tuvieron presentes en el

agua residual o fueran degradados durante los procesos de tratamiento. Los tratamientos primarios remueven los sólidos (EPA, 1984).

Lodo Secundario

Los tratamientos secundarios del agua residual generalmente involucran un proceso de clarificación primario seguido de un tratamiento biológico y una clarificación secundaria (EPA, 1990). El lodo generado por procesos de tratamiento secundarios del agua residual, tales como los sistemas biológicos activados y filtro de goteo, tienen un contenido de sólidos bajo (0.5 a 2 %) y son más difíciles de espesarse y deshidratarse que los lodos primarios.

Lodo Terciario

Los lodos terciarios son producidos por procesos de tratamiento avanzado del agua residual, tales como la precipitación química y filtración.

Los químicos usados en los procesos de tratamiento avanzados del agua residual, tales como aluminio, fierro, sales, cal o polímeros orgánicos, incrementan la masa del lodo y usualmente el volumen del lodo.

Generalmente, si la cal o polímeros son usados, las características del espesamiento y deshidratación del lodo serán mejores, si se usan fierro o sales de aluminio, la capacidad de la deshidratación y espesamiento del lodo comúnmente será reducido.

Clasificación de los Lodos

La clasificación es utilizada por la legislación para determinar cuáles lodos residuales son factibles para su tratamiento y reúso, y en los cuales no es conveniente aplicarlos al suelo, y por lo tanto, cuál será el lugar de disposición final. De acuerdo a varios procesos productivos, se pueden presentar las siguientes alternativas:

Lodos Peligrosos

Las condiciones de manejo, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición deberán apegarse al reglamento de desechos peligrosos del país. Para la disposición de

estos lodos, se deben contar con las instalaciones adecuadas y de personal capacitado para la recepción de desechos. En México solo existe uno en el estado de Nuevo León.

Lodos no Considerados Peligrosos

Son aquellos que por su características pueden ser utilizados o valorizados como mejoradores de suelos como en los bosques, cementerios, jardines públicos, parques, entre otros.

Otros Lodos

A los que no se les revaloriza pero su concentración en contaminantes es relativamente baja, en este caso la legislación autoriza su disposición en un relleno sanitario de tipo municipal, con las restricciones que las normas establecen para ese tipo de desechos.

Legislación para el Uso de los Lodos Residuales.

En la actualidad existe una tendencia mundial en las exigencias para la normalización, de mayores niveles de calidad del lodo para el reciclaje agrícola, que se refleje en una mejoría de la calidad de los biosólidos lodos producidos. La reglamentación para disponer adecuadamente los lodos debe ser específica de acuerdo con las condiciones ambientales, sociales y económicas de cada región o país. Los parámetros intercambiables deben servir de referencia, sin embargo, deben ser validados a través de los resultados experimentales que consideren las peculiaridades regionales, tales como el nivel y el tipo de industrialización, o perfiles sanitarios de la población y las características edafológicas regionales.

En México en el Artículo 139 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA, 1998), se menciona que toda descarga, deposito o infiltración de sustancias o minerales contaminantes en los suelos se sujetara a lo que disponga la Ley de Aguas Nacionales, sus disposiciones reglamentarias y las Normas Oficiales Mexicanas que para tal efecto se expidan.

La normatividad establece las cargas máximas anuales, así como cargas máximas acumuladas, en función del uso de terrenos para fines agrícolas. Las medidas encaminadas a la reducción de la presencia de patógenos y de la atracción de vectores también deben ser establecidas por la legislación. Por lo tanto, antes de realizar la aplicación del lodo al terreno agrícola se deberá revisar la normatividad vigente. Además se encuentran estipulado cuales metales y compuestos orgánicos no deben contener el lodo. Las normas pueden exigir análisis detallado del lodo para la identificación y caracterización de sus constituyentes y para determinar su aptitud para la aplicación al suelo.

Definición de Biosólidos

La NOM-004-SEMARNAT-2002, define a los biosólidos como lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrimentos y características adquiridas después de su estabilización, puede ser susceptibles de aprovechamiento.

El término biosólido se originó dentro de la industria del tratamiento de aguas residuales, tratando de definir la porción descontaminada y agrícolamente viable de los lodos residuales por los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Actualmente es utilizado para describir a los lodos que contienen principalmente productos orgánicos con altos contenidos de nutrimentos esenciales para las plantas que pueden ser benéficamente reciclados como fertilizantes y mejoradores del suelo (Pissani, 1998).

Según Sorber, (1994), el término lodo difiere de biosólido este último se refiere a un producto tratado que es cuidadosamente verificado y periódicamente reutilizado a través de aplicaciones innovativas.

Aprovechamiento de los Biosólidos

Es el uso de biosólido como mejoradores o acondicionadores de los suelos por su contenido de materia orgánica y nutrimentos, o en cualquier actividad que represente un beneficio. El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en el cuadro 1 y sus contenidos de humedad hasta el 85% (NOM-004-SEMARNAT-2002).

Cuadro 1. Tipo y Clase de los Biosólidos y su Aprovechamiento

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	<ul style="list-style-type: none">•Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación.•Los Establecidos para clase B y C.
EXCELENTE O BUENO	B	<ul style="list-style-type: none">•Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación.•Los establecidos para la clase C.
EXCELENTE O BUENO	C	<ul style="list-style-type: none">•Usos Forestales•Mejoradores de Suelo•Usos Agrícolas

La aplicación de los biosólidos con fines agrícolas y mejoramiento de sus suelos se sujetara a lo establecido en la Ley Federal de Sanidad Vegetal y conforme a la normatividad vigente en la materia.

Disposición Final de Lodos y Biosólidos

En la acción de depositar de manera permanente lodos y biosólidos en sitios autorizados.

Los sitios para disposición final de lodos y biosólidos, serán lo que autorice la autoridad competente, conforme a la normatividad vigente en la materia.

Los lodos y biosólidos que cumplan con lo establecido en la NOM-004-SEMARNAT-2002, pueden ser almacenados hasta por un periodo de dos años.

El predio en el que se almacenen deben ser habilitado para que no existan infiltraciones al subsuelo y contar con un sistema de recolección de lixiviados.

Se permite la mezcla de dos o más lotes de lodos y biosólidos, siempre y cuando ninguno de ellos este clasificado como residuo peligroso y su mezcla resultante cumpla con lo establecido en la norma (NOM-004-SEMARNAT-2002).

Características de Lodo Residual para Aplicarlo al Suelo

Según Celis *et al.*, (2006), la aplicación de lodos residuales al suelo pueden mejorar las propiedades físicas del mismo como la densidad aparente, la estructura, porosidad y retención de agua, lo cual puede reflejarse en un incremento de rendimiento de los cultivos junto a los beneficios del uso de los lodos, también deben considerarse los riesgos que presentan estos materiales, ya que cada material es diferente y puede contener altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos para los cultivos o para los consumidores de los productos de los mismos, como son los metales pesados.

Determinar la conveniencia del lodo para aplicarlo al suelo, por la caracterización de sus propiedades, es el primer paso indispensable en la planeación y diseño de un sistema de aplicaciones de lodo (EPA, 1995). La composición del lodo será fundamentalmente en las siguientes decisiones de diseño:

- Si el lodo puede ser aplicado al suelo a bajos costos.
- Cuál práctica de aplicación es la más factible técnicamente.
- La cantidad de lodo que se aplicara por unidad de área, ya sea anualmente o acumulativamente.
- El grado de control de regularidad y los sistemas de monitoreo requeridos.

Las propiedades más importantes del lodo que se necesitan caracterizar son:

- Cantidad
- Contenidos de Sólidos Totales
- Contenido de Sólido Volátiles

- pH
- Materia Orgánica
- Patógenos
- Nutrimentos
- Metales Pesados
- Contaminantes Peligrosos

La composición del lodo depende principalmente de las características del influente del agua residual que entra a las plantas de tratamiento de aguas residuales y de los procesos de tratamiento usado. Entre más industrializada este una ciudad, tendrá mayores posibilidades de tener un contenido mayor de metales pesados, y será un problema para la aplicación del lodo al suelo.

Los requerimientos para los pretratamientos industriales y los programas de prevención de contaminantes, así como los procesos avanzados de tratamiento en las aguas residuales y lodos, generalmente tenderán a reducir los niveles de contaminantes del lodo final que sale de las plantas de tratamiento.

La composición química del lodo puede variar grandemente entre las plantas de tratamiento y también en el tiempo. Esta variable en la composición del lodo, subraya la necesidad de un programa de muestreo firme que aporte una composición estimada confiable del lodo (Ostergaard, 1997).

Cantidad de Lodo Residual

La cantidad de lodo que se aplicara al suelo, afectara la evaluación del terreno y el diseño en varios aspectos importantes, incluyendo la superficie de suelo necesaria, tamaño del equipo de transportación, instalaciones de almacenamiento y costos. La cantidad de lodo disponible, también afectara la selección de las prácticas de aplicación (p.e. aplicación a suelos agrícolas, forestales, sitios de contacto público o recuperación de terrenos), así como las dosis de aplicación y la agenda de operación.

La cantidad de lodo puede medirse en dos formas: en volumen del lodo húmedo, el cual incluye el contenido de agua y el contenido de sólidos, o en masa de los sólidos secos del

lodo. El volumen del lodo es expresado en galones, litros o metros cúbicos, mientras que la masa usualmente se expresa en términos de peso, en unidades de toneladas métricas. Debido a que el contenido de agua puede ser alto y muy variado, la masa de los sólidos seco del lodo, es usada a menudo para comparar el lodo con las diferentes proporciones de agua (EPA, 1984).

Los factores importantes que afectan el volumen y masa del lodo, son las fuentes del agua residual y los procesos de tratamiento del agua y lodo residual. Por ejemplo, las contribuciones industriales en las corrientes del agua residual, pueden incrementar significativamente la cantidad de lodo generado de una cantidad dada de agua residual.

Contenido de Sólidos Totales

El contenido de sólidos totales (ST) del lodo residual, incluye a los sólidos suspendidos y sólidos disueltos y usualmente es expresado como el porcentaje de los sólidos totales presentes en un lodo residual. Los sólidos totales pueden afectar el potencial de los sistemas de diseño de aplicación del lodo en varios aspectos, incluyendo:

- *Tamaño de los sistemas de transportación y almacenamiento:* Si el contenido de sólidos es alto, será más bajo el volumen del lodo que se transportara y almacenara debido al bajo contenido de agua que será manejada.
- *Modo de transporte:* Diferentes tipos de transportación para la aplicación del lodo (pipas, camiones, etc.) serán usados dependiendo del contenido de sólido del lodo que será aplicado.
- *Métodos y equipos de aplicación:* los métodos de aplicación del lodo al suelos (esparcido superficialmente, inyectando o irrigando por aspersión) los tipos de equipo de aplicación necesarios serán variados dependiendo del contenido de sólidos del lodo.
- *Método de almacenamiento:* Diferentes métodos de almacenamiento serán usados dependiendo del contenido de sólidos (p.e., tanques para el lodo líquido o pilas para el lodo deshidratado).

En general, es menos costoso transportar el lodo con alto contenido de sólidos (lodo deshidratado) que transportando con un bajo contenido de sólidos (lodo líquido). Estos costos ahorrados en transporte deben compararse contra los costos de deshidratación de lodos. Típicamente, el lodo líquido tiene un contenido de sólidos de 2 a 12%, mientras el lodo deshidratado tiene un contenido de sólidos 12 a 40% (incluyendo aditivos químicos). El lodo seco o composteado típicamente tiene un contenido de sólidos encima del 50%.

El contenido de sólidos totales depende, del tipo de lodo residual (primario, secundarios o terciarios), si el lodo ha sido tratado previo a la aplicación al suelo y como fue tratado. Los procesos de tratamiento tales como espesamiento, acondicionamiento, deshidratación, composteo y secado pueden bajar el contenido de agua y así incrementar el porcentaje de sólidos.

Contenido de Sólidos Volátiles

Los Sólidos Volátiles del lodo (SV), son compuestos orgánicos que son reducidos cuando el lodo es calentado a 550 °C (1,022°F) bajo condiciones de oxidación. El contenido de sólidos volátiles del lodo, da una estimación del contenido del material orgánico. El contenido de sólidos volátiles es comúnmente expresado como el porcentaje de los sólidos totales que son sólidos volátiles. Los sólidos volátiles son un determinante importante de problemas potenciales de olores para los sitios de aplicación. La reducción de sólidos volátiles es una opción para satisfacer los requerimientos de reducción de atracción de vectores, en E.U.A. muchos lodos estabilizados contienen 75 a 85% de sólidos volátiles base peso seco. Varios procesos de tratamiento, incluyendo digestión anaerobia, digestión aerobia, estabilización con cal y composteo, pueden usarse para reducir el contenido de sólidos volátiles, y así el potencial de olores. Una digestión aerobia, el método más común para la estabilización de lodos, generalmente biodegrada cerca del 50% de los sólidos volátiles en un lodo residual.

pH

El pH del lodo puede afectar la producción de los cultivos en los sitios donde es aplicado el lodo, ya que altera el pH del suelo e influye en la asimilación de metales por la planta. Los niveles de patógenos y el control de vectores, son otras razones importantes para

ajustar el pH del lodo. Un bajo pH en el lodo (menos de 6.5) promueve lixiviación de metales, mientras uno alto (mayor de 11.5) mata muchas bacterias y, en conjunto con el pH neutro o alto el suelo, puede inhibir el movimiento de metales pesados a través del suelo, algunas alternativas para la reducción de patógenos incluyen el incremento de los niveles del pH.

Materia Orgánica

El nivel relativamente alto de materia orgánica en el lodo le permite ser usado como un acondicionador de suelos, mejorando las propiedades físicas del suelo (p.e. incrementa la filtración y la capacidad de retención del agua). Las propiedades del lodo para acondicionar suelos son especialmente útiles para la recuperación de terrenos, por ejemplo, para las minas estropeadas. Un suelo sin aportaciones orgánicas se empobrece. El suelo agrícola pierde, en términos medios de 900 a 1200 kg/ha/año de humus. Estas pérdidas se pueden cubrir con aportaciones de fuentes variadas de materia orgánica con que se cuente. Utilizando lodos residuales, un aporte de 6000 a 9000 kg/ha de materia seca de lodo, cada tres años, puede aportar hasta 20 o 40 por ciento del humus perdido en un suelo de labor, sin riesgos de contaminación de las aguas por nitrógeno, (Bellapark, 1988).

Patógenos

Los microorganismos causantes de enfermedades conocidos como patógenos, incluyen a las bacterias, virus, protozoos, y algunos huevecillos de helmintos, frecuentemente están presentes en las aguas residuales municipales y el lodo crudo. Los patógenos pueden representar un peligro para la salud pública, si estos son transferidos a los cultivos alimenticios sobre los suelos en el cual el lodo es aplicado, contenido en los escurrimientos de los sitios de aplicación a las aguas superficiales, o transportados lejos de los sitios por los vectores tales como insectos, roedores y aves. Por esta razón, la NOM-004-SEMARNAT-2002, establece los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en lodos y biosólidos. Cuadro 2

Cuadro 2. Límites Máximos Permisibles de Patógenos y Parásitos en Lodos y Biosólidos.

CLASE	INDICADOR BACTERIOLÓGICO DE CONTAMINACIÓN	PATÓGENOS	PARÁSITOS
	Coliformes fecales NMP/g	<i>Salmonella spp.</i>	Huevos de helmintos/g

	en base seca	NMP/g en base seca	en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a)Huevos helmintos viables
NMP= Número más probable.

Generalmente, el lodo proyectado para aplicarlo al suelo, es estabilizado por los procesos químicos y biológicos. La estabilización reduce grandemente el número de patógenos en el lodo, incluyendo, parásitos, protozoos y virus (Sagik *et al.*, 1979), así como el potencial de olores.

El óxido de calcio (CaO) es utilizado comúnmente para la estabilización de lodo residual, la adición de este químico produce un aumento de pH.

Según Jiménez *et al.*, (2000), es necesario mantener el pH en un mínimo de 12 por 2 horas para reducir la concentración de coliformes fecales y Salmonella spp. Por debajo de 200 como número más probable por gramo en base seca (NMP/g).

Sostiene la EPA (1987), EPA (1992), que los vegetales que crecen en los suelos infectados se contaminan fácilmente. Por ellos, es vital conocer la supervivencia de los microorganismos patógenos en los vegetales y en el suelo, para poder evaluar así los problemas que puede dar lugar un vertido y para controlar la eficiencia en la eliminación de gérmenes de los diferentes tratamientos de depuración de las aguas residuales urbanas y lodos.

La supervivencia de los organismos patógenos en suelos, aguas, vegetales o en el aire, pueden variar desde días a semanas, o incluso meses, dependiendo de la humedad, de la temperatura del medio y del tipo de organismo.

Las bacterias, los quistes de protozoos y los huevos de helmintos, se adhieren tenazmente a la superficie de las plantas y quedan así protegidos del ambiente externo.

Los factores más importantes son, desde luego, la humedad y la temperatura; la supervivencia es casi siempre máxima ante un contenido óptimo de humedad y a temperaturas adecuadas.

Las plantas pueden contaminarse directamente durante la aplicación del lodo, o indirectamente por contacto con el suelo. Diversos estudios demuestran que las bacterias patógenas humanas, las amibas y los huevos de helmintos, no son capaces de atravesar la superficie limpia de los vegetales sanos, pero pueden entrar fácilmente a través de grietas o heridas que interrumpen sus barreras naturales de defensa.

La luz solar reduce el número de organismos. También se ha comprobado que las plantas con hojas múltiples y pliegues profundos en la superficie, da recuentos de coliformes más altos que las lisas.

Nutrientos

Los nutrientes presentes en los lodos tales como nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K), entre otros, son esenciales para el crecimiento de las plantas. El nivel de nutrientes es importante para determinar las dosis de aplicación de lodo. Niveles excesivos de nutrientes debido a las altas dosis de aplicación, puede resultar en una contaminación ambiental del agua subterránea y superficial y debe ser evitado.

Los niveles particularmente de nitrógeno, pueden variar significativamente por esta razón los análisis deben realizarse con el lodo actual que será aplicado al suelo. Típicamente, los niveles de nutrientes en el lodo son considerablemente más bajos que los fertilizantes comerciales. Especialmente el potasio, el cual está usualmente a menos de 0.5%. De esta manera, la aplicación de fertilizantes complementarios (usualmente) será indispensable con el lodo, para sostener un crecimiento vegetativo óptimo.

Metales Pesados en Lodos

Los metales pesados son elementos electropositivos, que representan un número, peso atómico y densidad superiores a 5 gr cm^{-3} (Tirelf, 1981 y Duffust, 1988). De manera natural, se encuentran ampliamente distribuidos y son movilizados por los ciclos biogeoquímicos.

El destino de los metales pesados en el suelo dependen de un gran número de procesos edafogénicos y propiedades que se dan en él como: disolución, complejación, migración, precipitación, oclusión, difusión, formación de enlaces con la materia orgánica (M.O.), adsorción y absorción por la microbiota y la volatilización; todos estos procesos son controlados por diferentes propiedades de los suelos como son: pH, potencial de redox, porcentaje de M.O., capacidades de intercambio catiónico (C.I.C), contenidos de carbohidratos, óxidos e hidróxidos de hierro y magnesio y los minerales arcillosos (Tamaríz, 1996 y Basta, *et al.* 1993).

Las cantidades de metales pesados disponibles están controladas en gran parte por el intercambio iónico. Además posiblemente existen ciertos procesos de adsorción que comprenden uniones covalentes con ciertos grupos funcionales de las superficies de las

arcillas. El intercambio de cationes y las quelaciones de la materia orgánica son los principales procesos que facilitan la disponibilidad de los metales.

En general, las propiedades del suelo que ejercen un efecto directo en la adsorción de los metales son: $\text{pH} > \text{M.O.} > \text{C.I.C.}$ (Basta *et al.*, 1993).

El pH es uno de los parámetros más importantes que controlan las formas de los elementos en el suelo, (López y López, 1990). Este influye de manera muy importante en la solubilidad y como consecuencia en la absorción de los metales por las plantas. El aumento del pH reduce la asimilación y absorción del aluminio, cobre, hierro, cobalto, zinc y manganeso (Loué, 1998). El cadmio y el plomo en suelos de cultivo pueden incrementar sus concentraciones al disminuir el pH del suelo (Holgrem, *et al.* 1993).

El incremento en los valores de pH y el contenido de M.O. es fundamental para reducir la movilidad y la disponibilidad de los metales pesados en el suelo, dicho comportamiento es atributo a la formación de complejos órgano-metálicos (Abdelrahman y Al-Ajmi, 1994, Kuo y Baker, 1980).

Según Ahumada, *et al.* (2004) se sabe que la materia orgánica y otros componentes aportados al suelo por los lodos pueden modificar la distribución y movilidad de metales pesados, lo que podría afectar principalmente la asimilabilidad de ciertos elementos como Cu y Zn.

La M.O. presente en el suelo contiene una fuerte proporción de metales pesados y en el juego un papel importante en el proceso de nutrición vegetal. Los suelos muy pobres en M.O. generalmente son pobres en metales pesados. Por lo tanto, la M.O. que tiene metales pesados es una fuente importante de minerales esenciales para la planta, ya que estos son retenidos como coloides orgánicos e inorgánicos y de esta manera son disponibles para los sistemas biológicos (Zunino y James, 1997).

La textura del suelo interviene en la dinámica de los metales, ya que la formación de macroporos puede causar una rápida infiltración y redistribución del agua y de los solutos del suelo, modificando el pH y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y por consecuencia la disponibilidad de los metales (Boekhold y Van der Zee, 1992).

Saeki, *et al.* (1993), mencionan que existen un incremento general en la concentración de metales pesados de las fracciones gruesas a las finas, por lo tanto las arcillas contienen

mayores cantidades de metales pesados. Por otro lado, los suelos con textura fina o con horizontes con altos niveles de M.O. tienen mayor capacidad de adsorción de metales que los suelos con textura arenosa y baja en cantidad de M.O. (Stahl y James, 1991).

Entre los metales pesados existentes, algunos son micronutrientes esenciales para las plantas como lo son el Cu y el Zn, pero otros como Cd, Pb, Cr, Ni, Hg y Co, no solo son y pueden, a partir de una determinada concentración resultar tóxico para algún componente de la cadena trófica suelo-planta-animal-hombre. La acumulación de metales pesados puede ocurrir en tallos, hojas y fruto, causando problemas muy variados.

Cuando los lodos residuales son manejados en forma inadecuada, pueden constituir un riesgo a la salud (As, Cd, Hg, Pb, Se y Zn), a los cultivos (Cu, Ni y Zn), y a los ecosistemas del suelo y agua (N, P).

El Cd, Ni, Cu y Zn, son los metales más problemáticos debido a sus defectos negativos sobre el metabolismo y la fisiología de la planta, tales como baja actividad nitrogenásica y fosforotásica, disminución en la respiración mitocondrial, daños en los cloroplastos, cierre de los estomas, baja tasa de transpiración y fotosíntesis, reducción de turgencia y clorosis, entre otros. Estos defectos son de gran preocupación en la colectividad, por lo que muchos investigadores se han dedicado al estudio de los mismos, cuando estos metales han sido incorporados al suelo a través de los residuos orgánicos, especialmente cuando se aplican los residuales (Wallace *et al.*, 1977).

Basándose en la evaluación del riesgo de los metales pesados del lodo, la NOM-004-SEMARNAT-2002, regula 8 metales en el lodo que será aplicado al suelo, estableciendo sus límites máximos permisibles. Cuadro 3

Cuadro 3. Límites Máximos Permisibles de Metales Pesados en Biosólidos y su Clasificación

CONTAMINANTE (Determinados en forma total)	EXCELENTES (mg/kg ⁻¹) En base seca	BUENOS (mg/kg ⁻¹) En base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Las concentraciones de metales en el lodo en gran parte dependen del tipo y cantidad de los residuos industriales descargados dentro de los sistemas de tratamiento del agua residual. Debido a que los metales generalmente son insolubles, éstos se presentan en el lodo en concentraciones más altas, que en las aguas residuales, y la deshidratación del lodo tiene un impacto mínimo en la reducción de las concentraciones del metal en el lodo que es destinado para aplicarlo al suelo. El pretratamiento del agua residual industrial descargada dentro de los sistemas residuales ha sido efectivo para reducir el contenido de metales, del lodo generado en una planta de tratamiento (EPA, 1995).

La acumulación de metales en determinados tejidos u órganos es variable, algunos como por ejemplo el Cr y Pb son bloqueados a nivel radicular, otros como Cd y Hg son más zootóxicos-fitotóxicos del Cu, Ni y Zn hace que el vegetal actúe de barrera de protección frente a la cadena trófica. En general, las hortalizas tienden a asimilarlos con mayor facilidad que las gramíneas, siendo más sensible a la toxicidad las primeras y más tolerantes las segundas.

Con respecto a la preocupación de la salud humana acerca del uso de lodos tratados sobre los cultivos, como el Cromo es el metal considerado de mayor preocupación, debido a que se le considera como agente cancerígeno.

Contaminantes Peligrosos

El lodo no está incluido en una lista de residuos específicos denominados peligrosos por EPA, ni los datos disponibles sugieren que el lodo manifiesta características de un residuo peligroso, la cual incluye corrosividad, reactividad, explosividad y toxicidad. La naturaleza no peligrosa del lodo, de cualquier modo, no puede ser asumida.

Aplicación del Lodo al Suelo

La aplicación del lodo residual al suelo se define como la “distribución del lodo sobre un terreno o inmediatamente por debajo de la superficie del mismo”. El lodo se puede aplicar en: terrenos agrícolas, terrenos forestales, terrenos marginales y terrenos especialmente preparados para la evaluación del lodo. En los cuatro casos, la aplicación al suelo se diseña con el objetivo de conseguir un tratamiento adicional del lodo. La luz solar, los microorganismos patógenos y muchas de las sustancias tóxicas presentes. Los metales

traza queda atrapados en la matriz del suelo, y los nutrimentos los consumen las plantas convirtiéndolos en biomasa útil. En los tres primeros casos, el lodo se utiliza como un recurso valioso para mejorar las condiciones del terreno. El lodo actúa como acondicionador del suelo al facilitar el transporte de nutrimentos, aumentar la retención del agua y mejorar la aptitud del suelo para el cultivo, de este modo el lodo sirve como sustituto parcial de fertilizantes químicos caros.

Cuando el lodo es aplicado a suelos agrícolas, la extensión del agua movida durante el tratamiento es el mejor factor que influye en los costos y procesos de selección al momento de la aplicación. No es necesario remover toda el agua de los lodos antes de la aplicación, pues el agua que contiene puede ser beneficiosa para los cultivos. Aunque los costos de la deshidratación completa de los lodos son más elevados se justifica cuando estos son compensados con el ahorro en los costos de transporte y también le da al lodo la posibilidad de poder ser almacenado y empacado.

Legislación para el Uso Agrícola de los Lodos Residuales

En la actualidad existe una tendencia mundial en las exigencias para la normalización, de mayores niveles de calidad del lodo para el reciclaje agrícola, que se refleje en una mejoría de la calidad del biosólido o lodos producidos. La reglamentación para disponer adecuadamente los lodos deben ser específicas de acuerdo con las condiciones ambientales, sociales y económicas de cada región o país. Los parámetros internacionales deben servir de referencia, sin embargo, deben ser validados a través de los resultados experimentales que consideren las peculiaridades regionales, tales como el nivel y tipo de industrialización, o perfiles sanitarios de la población y las características edafológicas regionales.

En México en el Artículo 139 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, se menciona que toda descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en los suelos se sujetara a lo que disponga la ley de aguas nacionales, sus disposiciones reglamentarias y las Normas Oficiales Mexicanas que para tal efecto se expida.

Las normatividad establecen las cargas máximas anuales, así como cargas máximas acumuladas, en función del uso de terrenos para fines agrícolas y no agrícolas. Las medidas encaminadas a la reducción de la presencia de patógenos y de la atracción de

vectores también deben ser establecidas por la legislación. Por lo tanto, antes de realizar la aplicación del lodo al terreno agrícola se deberá revisar la normatividad vigente. Además se encuentra estipulado cuales metales y compuestos orgánicos no debe contener lodo. Las normas pueden exigir el análisis detallado del lodo para la identificación y caracterización de sus constituyentes y para determinar su aptitud para la aplicación al suelo. Para este caso, se deberán considerar varios niveles de control de patógenos mediante diferentes métodos de estabilización. El lodo aplicado a la superficie del suelo e incorporado al mismo se debe tratar mediante procesos que reduzcan notablemente la presencia de patógenos.

Los pasos a adaptar en el sistema de aplicación incluyen:

- 1.- Caracterización de la calidad y cantidad del lodo.
- 2.- Revisión de las normas locales y federales aplicadas.
- 3.- Evaluación y elección de la opción de evacuación.
- 4.- Determinación de los parámetros de diseño del proceso (cargas, superficies del terreno necesarias, métodos y calendarios de aplicación).

Factores a tener en Cuenta en la Aplicación de los Lodos como Fertilizantes

Con objeto de evaluar adecuadamente el riesgo que comporta la utilización de lodos de depuradora con fines agrícolas y forestales, conviene analizar el conjunto de factores que determinan la movilidad de los metales pesados en el suelo que se va a tratar:

Acidez del suelo

Cuanto menor es el pH, mayor es la solubilidad de los metales pesados, por lo que aumenta su movilidad, incrementándose la toxicidad para las plantas. Para prevenir el problema, es necesario controlar el pH, extremando las precauciones en la aplicación del lodo a suelos ácidos o que sean susceptibles de recibir vertidos ácidos.

Contenido de Materia Orgánica

Los suelos que presentan contenidos de materia orgánica superiores al 5%, situación poco frecuente en nuestro país, donde el contenido medio no suele superar el 1%, exhiben un nivel relativamente bajo de captura de metales por las plantas, debido a la alta capacidad de complejación de las moléculas orgánicas. No obstante, a medida que la

materia orgánica se degrada, las formas moleculares resultan ser más sencillas, con lo que el proceso de retención de metales disminuye, favoreciendo la lixiviación de los mismos y permitiendo su movilización. Se ha verificado la tendencia a formar complejos con la materia orgánica en Cu, Ni, Cd, Cr (VI), Hg y Pb, observándose que la retención de metal por el suelo depende fuertemente del contenido orgánico.

La presencia en las aguas subterráneas de carbón orgánico disueltoprocedente del lixiviado de aguasresiduales, favorece la formación de complejos con Cd,Ni y Zn, entre otros metales, facilitando la movilidad delos mismos.

Granulometría del Suelo

La granulometría del suelo condiciona la captura de metal por las plantas, de modo que una textura arcillosa contribuye a una menor acumulación de metales en las plantas cultivadas en suelos contaminados. Los suelos calizos y aquéllos otros a los que se les añaden sustancias de carácter básico, mejoran la retención de los cationes metálicos al impedir la hidrólisis de éstos. Además, ciertas sustancias, como los óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso también se han ensayado con los de aluminio, manifiestan una elevada capacidad de adsorción sobre la mayoría de los metales.

Propiedades de la Cal Dolomita (Doble Carbonato de Calcio y Magnesio).

Está constituido por el sustrato de rocas carbónicas, por $(CaMg (CO_3)_2)$. Es el carbonato doble de calcio y magnesio. La Dolomita pura contiene hasta un 25% de calcio mínimo y un 8% de magnesio, por eso son apreciados en los fines agrícolas. Ya que el magnesio es un elemento esencial para los cultivos y frecuentemente es deficiente en suelos ácidos.

Características Químicas

La cal Dolomita es de color blanco con una humedad aproximada <10%, con un brillo vitrico algo aperlado con una dureza entre 3.5—4.0, con una densidad de entre 2.86—3.10 g/cm³ y un pH aproximado de 8.5.

Cuadro 4. Composición de la Cal Dolomita

CaO	37.13%	CaCO ₃	66.07%
MgO	13.26%	Fe ₂ O ₃	3.54%
MgCO ₃	26.33%	K ₂ O	.32%

Beneficios de la Cal Dolomita

- Eleva el pH del suelo
- Favorece la actividad microbiana

- Suministra Calcio
- Incrementa la disponibilidad de Fosforo, Potasio y Molibdeno
- Neutraliza el efecto fitotóxico del Aluminio y Magnesio
- Mejora la estructura del suelo
- Incrementa el rendimiento y calidad de las cosechas de cultivos sensibles a la acidez.

Función en el Suelo

El procedimiento habitual para corregir el exceso de acidez de un suelo es la aplicación de cal en forma de caliza, caliza dolomítica, o cal muerta. Cuando se añade cal, el hidrógeno del complejo coloidal del suelo es sustituido por el calcio de la cal. Las enmiendas son productos de naturaleza mineral u orgánica que al incorporarse al suelo modifican favorablemente sus propiedades físicas y/o químicas, sin tener en cuenta su valor como fertilizantes. El término enmienda incluye a los correctivos de la acidez del suelo.

Esta práctica agronómica se fundamenta en que en el rango de pH de 6,5 a 7 el proceso de fijación simbiótica del nitrógeno alcanza su máxima eficiencia. Además en este rango el P, Ca, Mg y M.Org. Presentan su máxima disponibilidad.

Generalidades del Cultivo de la Calabaza (Cucúrbita pepo L. Tipo Zucchini)

Antecedentes Históricos

La calabacita se considera originaria de México y de América Central (Vavilov, 1951), de donde fue distribuida a América del Norte y Sur. Sus orígenes se remontan al año 7000 A.C. (Whitaker y Davis, 1962).

Aparece en el territorio que actualmente constituye México, antes de que aparecieran las civilizaciones conocidas como Olmecas, Mayas y Aztecas. Estas primeras culturas se asentaron en la zona y basaron su experiencia en el cultivo de la calabaza, el maíz, el frijol y los pimientos. Igualmente se tiene referencia arqueológica de la misma época en el valle de YangziJiang en China de una civilización que cultivó principalmente arroz y calabazas (José, 2009).

Taxonomía

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Violales

Familia: Cucurbitácea.

Género: *Cucúrbita L.*,

Especie: Pepo L.

Subespecie: pepo N

Morfología

Es una planta herbácea, anual, monoica (con flores masculinas y femeninas separadas), erecta y también puede ser rastrera o trepadora, los tallos son vigorosos, erectos en sus primeras etapas de desarrollo (hasta antes del tercer corte de frutos) y después se tornan rastreros; son angulares, 5 a 38 cm y huecos, grandes, moderadamente moduladas y generalmente con manchas blancas en su superficie. Las flores no son aromáticas, las flores estimadas (masculinas) siempre aparecen primero, tienen tallo muy largo y delgado a diferencia de las femeninas que lo tienen corto. Los pétalos de ambas flores son de color amarillo anaranjado.

El fruto generalmente se consume inmaduro, y por lo general es de color verde claro, aunque existen calabacitas para consumo fresco de color verde oscuro que alcanza una longitud de 12 a 15 cm. Por su parte, Ruiz y Portuando (1982) menciona que el fruto es una baya, y que a la madurez, la pulpa es de color amarillo o anaranjado, además está constituida por gruesos filamentos; el pedúnculo es siempre prismático. Las semillas son generalmente de color blanco-amarillento, crema o ligeramente café, oval, alargadas, puntiagudas, lisas, con un surco longitudinal paralelo al borde exterior, longitud de 1.5 cm, anchura de 0.6-0.7 cm y grosor de 0.1-0.2 cm.

Fisiología

El desarrollo y crecimiento de las cucurbitáceas depende del factor genético de la planta y de las condiciones ambientales. Por lo tanto, es necesario describir su fisiología y los efectos fisiológicos que resultan de los cambios ambientales.

Ciclo de vida: la mayoría de las plantas mencionadas tienen un ciclo de vida anual. Dentro de los cultivos anuales se encuentran variedades precoces, intermediarias y tardías. Una sequía o temperatura elevada durante la polinización y la formación del fruto adelantaría la maduración de la planta.

Germinación: la germinación de las cucurbitáceas es de tipo epigeo. Las semillas germinan con facilidad en la obscuridad. Estas emergen a la superficie cinco u ocho días después de la siembra.

Condiciones Naturales: las plantas no se ven afectadas por la longitud del día solar. Es decir, florecen de acuerdo a la edad y su desarrollo natural. Las temperaturas bajas retardan la floración. Por otro lado, un exceso de nitrógeno puede provocar un crecimiento vegetativo profuso, retardando o reduciendo su floración.

Floración o Polinización: las flores nacen a lo largo de las ramas. La polinización es efectuada por insectos, especialmente por las abejas. La mayoría de las flores tienen fecundación por polinización cruzada. La eficiencia de la polinización está determinada por la temperatura. (Partson, 2008).

Fenología

La calabacita se maneja tanto en el sistema de agricultura tradicional de temporal como en el de riego, presentado diversas variantes en tiempo para la aparición de flores y frutos. En México, de manera general se siembran al inicio de la época de lluvias (Mayo-Junio), floreciendo en Julio-Septiembre y fructificando en Septiembre-Diciembre. También se cultiva en algunas regiones del país durante la época de sequía, principalmente en terrenos húmedos o con la ayuda de riegos, proporcionando una fructificación durante todo el año (Lira y Montes-Hernández, 1992 y Lira, 1995).

MATERIALES Y METODOS

Localización del Sitio Experimental

Esta investigación se llevó a cabo en el invernadero de dos aguas, del área experimental del Departamento de Ciencias del Suelo del campus de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

El clima predominante en la región según la clasificación de Köppen modificada por García (1973), es BWhw (x') (e), muy seco, semicálido, con invierno fresco, extremoso, con lluvias de verano y precipitación invernal superior a 10% del total anual, con temperatura media anual de 19.8 °C y precipitación media anual de 298.5 milímetros.

Metodología

La investigación se realizó con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), ubicada en los terrenos de la universidad, dicha PTAR colinda al Norte con el jardín botánico "Ing. Gustavo Aguirre Benavides", al Sur con el jardín hidráulico, al Este con el departamento de fitomejoramiento y al Oeste con el departamento de Horticultura.

En la planta de tratamiento de aguas residuales, se identificaron y localizaron los puntos de muestreo en diferentes etapas del tratamiento del agua residual y se realizaron muestreos simples de los lodos en los sitios ubicados.

Ubicación de los Puntos de Muestreo

Se localizaron y ubicaron dos puntos de muestreo los cuales se consideraron como tratamientos, en las diferentes etapas de la PTAR y donde en cada etapa se depositan lodos residuales. Una vez localizados los puntos, se tomaron muestras simples de lodos residuales.

La primera muestra se obtuvo al inicio del tratamiento de la PTAR es decir en el tanque Imhoff, donde se acumula la mayor cantidad de lodos y donde se supone estos tienen la mayor concentración de elementos y residuos, la segunda muestra se recolectó al inicio del tanque de amortiguamiento 1, donde el agua ya debería estar menos contaminada, sin embargo por modificaciones al proceso en este punto también entra agua bruta por lo que se acumula también una buena cantidad de lodo (Figura 1).

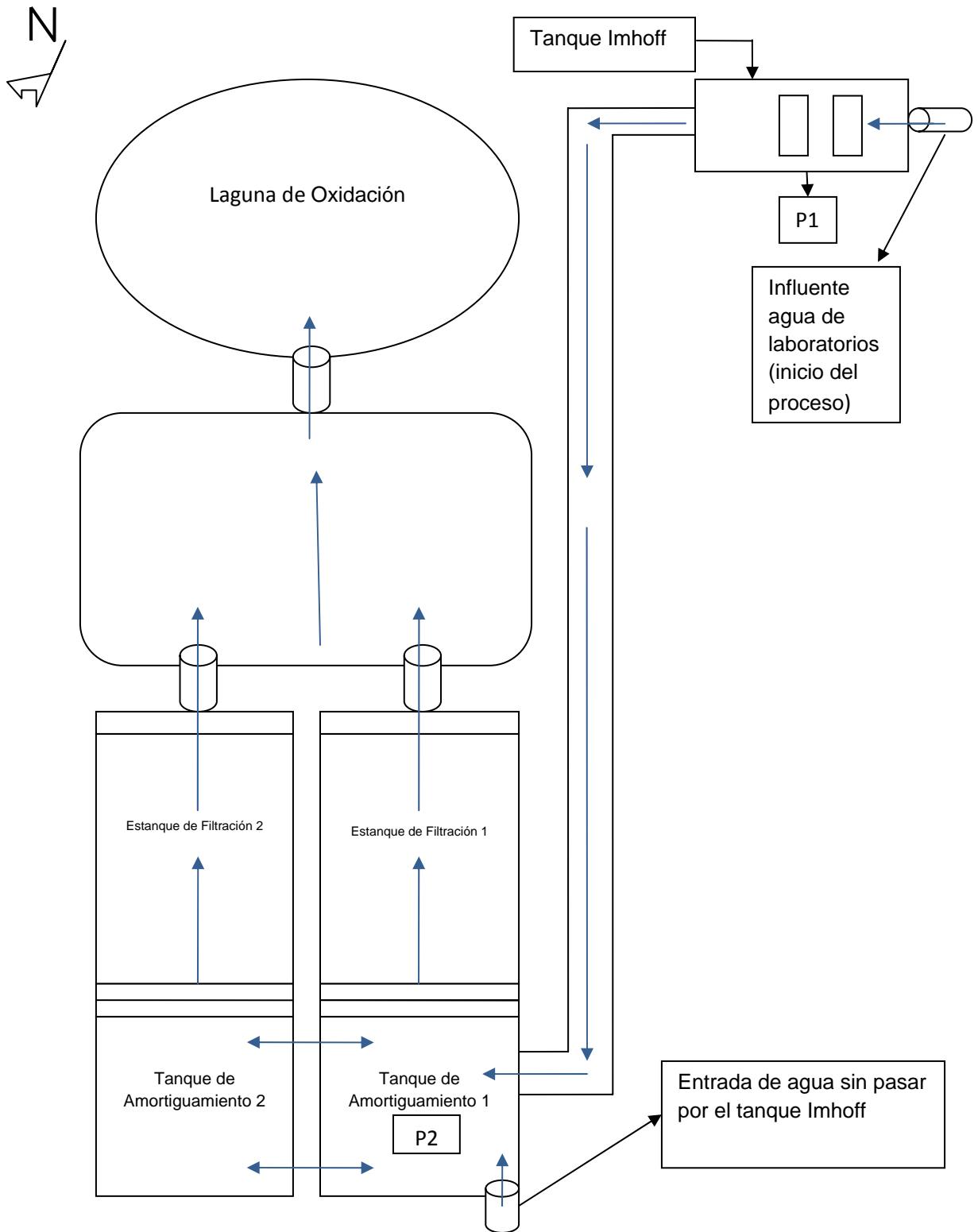


Diagrama de flujo de agua en el sistema de tratamiento
P Puntos de Muestreo

Figura 1. Croquis de la planta de tratamiento de agua residual y puntos de muestreo (Pérez, 2011).

Preparación de Muestras

Una vez obtenidas las muestras se identificaron y llevaron al laboratorio de química de suelos del Departamento de Ciencias del Suelo, se secaron las muestras a la intemperie durante un lapso de 24 horas aproximadamente, se tamizaron a dos milímetros de diámetro y se almacenaron para su posterior análisis y estabilización.

Una vez las muestras preparadas se procedió a la estabilización de los lodos, de acuerdo a uno de los métodos propuestos en la NOM-004-SEMARNAT-2002 en este caso se seleccionó la técnica de estabilización alcalina que consiste en elevar el pH de las muestras hasta aproximadamente 12, el material utilizado para tal efecto de estabilización fue agregar 160 g de cal Dolomita en 1.6 kg de lodo, esto se llevó a cabo durante 12 h, en húmedo, terminado este tiempo se secaron de nuevo las muestras de lodos, en este caso, ya estabilizados. Posteriormente se prepararon los tratamientos para lo cual se mezclaron los diferentes tratamientos de lodos con suficiente suelo para colocarlos en macetas con una capacidad de cinco kilogramos (la cantidad aproximada de lodo en cada maceta fue de 400 g). Además se prepararon macetas sin lodo para ser utilizadas como testigos. (Figura 2). Todas las macetas preparadas se incubaron durante un periodo de un mes con la finalidad de tener una buena incorporación de los lodos y suelo, además de iniciar el proceso de descomposición de los lodos.

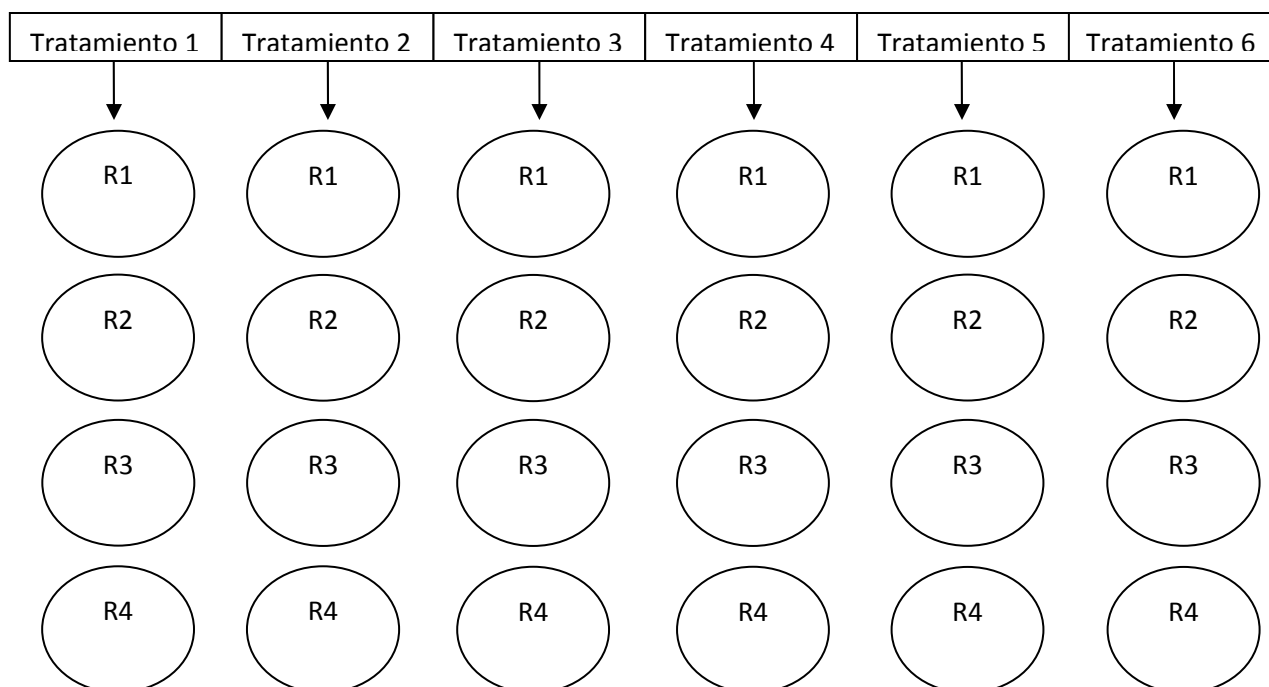


Figura 2. Acomodo y clasificación de los tratamientos

Tratamiento 1.- Suelo

Tratamiento 2.- Suelo + Lodo No Estabilizado Tanque Imhoff

Tratamiento 3.- Suelo + Lodo Estabilizado Tanque Imhoff

Tratamiento 4.- Suelo + Lodo No Estabilizado Laguna

Tratamiento 5.- Suelo + Lodo Estabilizado Laguna

Tratamiento 6.- Suelo + Solución Nutritiva

La solución nutritiva aplicada al tratamiento 6 se realizaron en dos aplicaciones, la primera aplicación fue 100 ml por repetición al momento de la siembra y la segunda fue de 200 ml por repetición 5 días después de la siembra, la solución aplicada se preparó con los siguientes compuestos y cantidades:

- 1 g de Nitrato de Calcio, 0.7 g de MAP, 0.5 g de Sulfato de Potasio.
- 0.3 g de Sulfato Ferroso, 0.3 g de Sulfato de Cobre, 0.3 g de Sulfato de Zinc, diluidas en 1 litro de agua.

Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado para el análisis de los resultados fue en su forma de un diseño completamente al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento, utilizando para esto el programa estadístico RGui (R x64 2.12.2).

Variables Evaluadas

Las variables evaluadas fueron algunos elementos esenciales y componentes de los materiales usados para la estabilización y algunos elementos componentes de los lodos residuales tales como Calcio (Ca), Cromo (Cr), Fierro (Fe), Potasio (K), Magnesio (Mg), Manganeseo (Mn) y Zinc (Zn), en Raíz (R), Tallo (T) y Hoja (H) en cada una de las repeticiones. Para la cuantificación de metales pesados y otros elementos totales tanto en planta, materiales y lodos, se calcino en mufla 1 gramo de muestra y a las cenizas recuperadas se les agrego dos mililitros de Ácido Nítrico (HNO_3) al 50% y se aforo a 100 ml con agua destilada. Posteriormente se almacenaron todas las muestras en frascos de plástico para ser leídas en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica Spectr AA VARIAN 5.

Además se tomó en cuenta algunas propiedades químicas como pH, conductividad eléctrica (CE) y contenido de materia orgánica (MO), de los diferentes materiales.

El pH se determinó por el método del potenciómetro usando una relación de materiales: agua destilada, de 10:25; para CE se usó el método de extracto de saturación de pastas, y la lectura del extracto con el puente de Wehaston. Por su parte la M.O. se determinó por dos métodos el de Walkley y Black para conocer la M.O. fácilmente oxidable y por el método de calcinación a 600 °C para conocer la M.O. total.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se exponen y discuten en función a cada variable. La información que se presenta corresponde a los análisis de laboratorio que se realizaron a los seis tratamientos con sus respectivas repeticiones. Para los diferentes elementos en raíz, tallo y hoja a los cuales se les realizó el análisis de varianza (ANVA) correspondiente y la comparación de medias. También se presentan los resultados de los diferentes análisis a los materiales utilizados.

En el cuadro 6 se presentan algunas características importantes de los diferentes materiales utilizados, en el cual se observa poca cantidad de calcio en el suelo comparados con los de los lodos estabilizados, donde tanto el Ca como el Mg se encuentran en grandes cantidades en estos tratamientos ya que la cal dolomita aporta Ca y Mg, en cuanto al cromo se refiere no existe diferencia entre los materiales ya que se encuentra en pequeñas cantidades. El fierro presenta una alta cantidad en el suelo algo que es normal ya que es un suelo ácido al igual que el manganeso comparados con los demás materiales, por su parte el zinc se presenta en diferentes cantidades pero tiene una mayor presencia en los lodos de la laguna. Datos parecidos encontró González(2011), en un trabajo realizado en la PTAR de la UAAAN analizando lodo de 6 puntos diferentes.

Cuadro 5. Elementos totales en los diferentes materiales y lodos en mg kg^{-1}

MATERIALES	Ca	Cr	Fe	K	Mg	Mn	Zn
Suelo	1,300	10	36,255	1,150	60	145	45
Lodo Imhoff	4,700	10	520	100	470	10	110
Lodo Imhoff Est.	55,000	10	740	100	23,100	20	140
Lodo Laguna	38,000	10	1,340	200	3,440	30	640
Lodo Laguna Est.	73,000	10	820	200	35,400	30	470
Cal Dolomita	42%	ND	1.0%	ND	15.8%	2.0%	ND

En el cuadro 7 se presentan algunas características químicas importantes de los lodos que hacen que estos puedan ser utilizados para mejorar las propiedades de los suelos de

acuerdo a la EPA, (1995), determinar las características de los lodos para su aplicación al suelo, es el primer paso indispensable en la planeación y diseño de un sistema de aplicación de lodo. Se menciona también que algunas de las propiedades más importantes de este material que se necesita caracterizar son: pH, C.E., M.O., entre otras. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar que el suelo utilizado es ácido sin problema de sales y medianamente rico en materia orgánica, el pH y la CE de los lodos aumenta al realizar el proceso de estabilización y es lo que se esperaría ya que se le agregó cal dolomita que modifica estas propiedades de los materiales. En general los lodos tienen una cantidad elevada de materia orgánica total y son ricos en materia orgánica fácilmente oxidable, lo que potencialmente los hace adecuados para su uso como mejorador de suelos.

Cuadro 6. Algunas características químicas importantes de los materiales utilizados

Material	pH	CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	%M.O. (Walkley y Black)	% M.O. (Calcinación)
Suelo	5.7	450	4.48	34.3
Lodo Imhoff	5.4	1,800	57.12	90
Lodo Imhoff Est.	7.5	2,600	51.68	80
Lodo Laguna	5.8	7,000	44.2	80
Lodo Laguna Est.	7.5	10,000	49.64	70

Concentración de Elementos en Raíz, Tallo y Hoja

Se puede observar (figura 3) que para el contenido de Ca en raíz hubo diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo se presentan estas únicamente para el tratamiento 4 y 6. Entre todos los demás las diferencias no son significativas desde el punto de vista estadístico. Estos valores de calcio que varían desde 11,000 a 17,000mg kg⁻¹ dan una muestra de la movilidad del calcio el cual es baja y tiende a acumularse en la raíz. Las pocas diferencias mostradas entre tratamientos aun siendo significativas, en el caso del Ca, se puede explicar con lo reportado por Gutiérrez (1995) quien menciona que todos los suelos agrícolas contienen calcio procedente de las rocas originarias, dominando entre los demás cationes. La mayor o menor cantidad se refleja en el grado de saturación de la arcilla, cuyo indicador es el pH del terreno. El calcio es absorbido por las plantas en su forma catiónica Ca²⁺ y es parte constituyente de las sales en la solución del suelo.

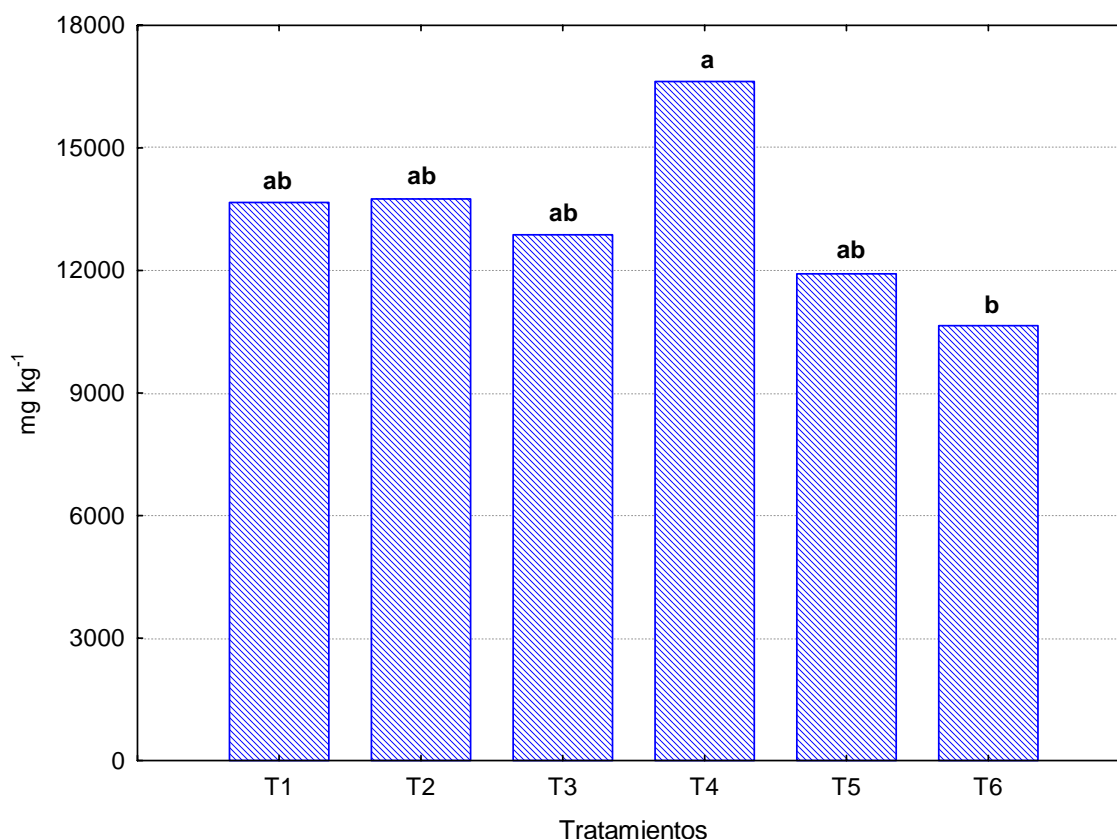


Figura 3. Contenido de Calcio en raíz

Se puede observar que hay diferencia significativa entre tratamientos para el contenido de Ca en tallo, estas diferencias varían un poco en relación a lo observado en raíz, sin embargo el tratamiento donde se presenta la mayor cantidad de Ca sigue siendo el

tratamiento 4 y en este caso es diferente al 1 y al 6. Estos resultados en general van en el mismo sentido que lo presentado en raíz, únicamente con valores máselevados. Tal como explicaArmstrong y Kirkby(1979),la toma de Ca y su distribución por los distintos órganos se incrementa a medida que lo hace la tasa de transpiración. Por el contrario, la inhibición de esta transpiración disminuye la traslocación de calcio, especialmente a los brotes apicales y a los frutos, aunque también puede hacerlo al resto de la planta.

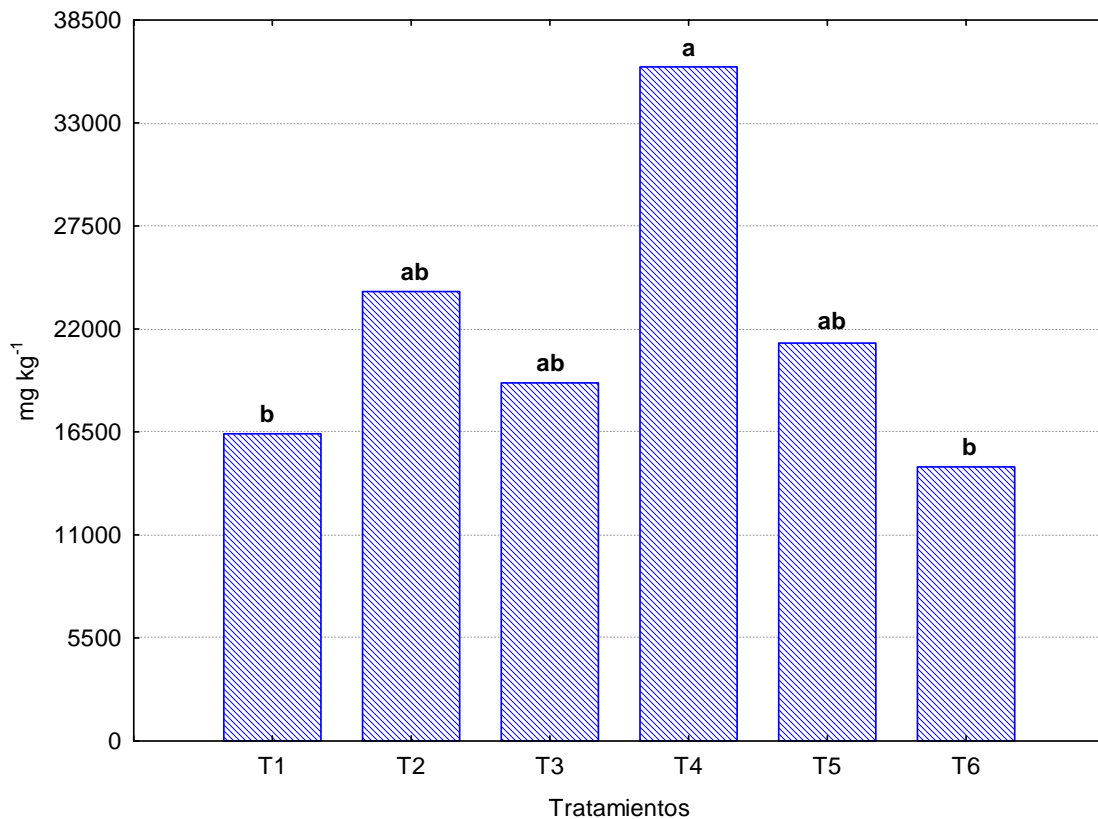


Figura 4. Contenido de Calcio en tallo

Con respecto a los valores de Ca encontrados en hoja (figura 5) también son bastante elevados ya que van de 15,000 a 37,000 mg kg⁻¹ y siempre manteniendo el mismo sentido que lo observado para raíz y tallo, de acuerdo a lo reportado por Marschner (1986),el

movimiento del calcio en la planta se da exclusivamente por la corriente xilemática desde las raíces hacia órganos como las hojas y frutos. Las hojas, en comparación con los frutos, presentan una mayor tasa de transpiración y, por tanto, la llegada de Ca^{2+} es mayor en dichos tejidos y menos en los frutos. En este caso no se observa diferencia significativa y el tratamiento 4 sigue presentando los valores más elevados.

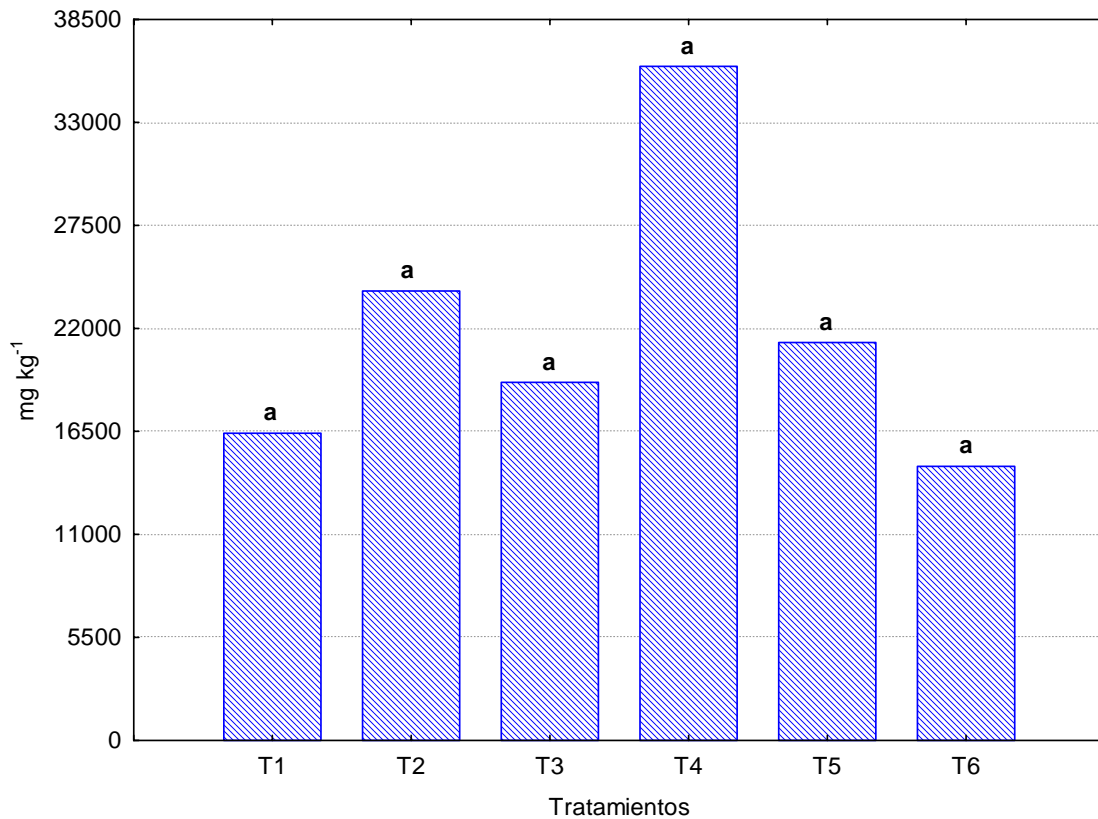


Figura 5. Contenido de Calcio en hoja

En lo que se refiere al contenido de magnesio en raíz, en el cual se observa que hubo diferencia significativa entre tratamientos. Observando que los tratamientos donde se tiene lodo son los que mayores cantidades presentan del elemento, esto se pudiera entender por el alto contenido de magnesio en los tratamientos con los lodos tanto en

bruto como estabilizados con cal Dolomita la cual tiene en su composición química un gran porcentaje de magnesio. (Figura 6).

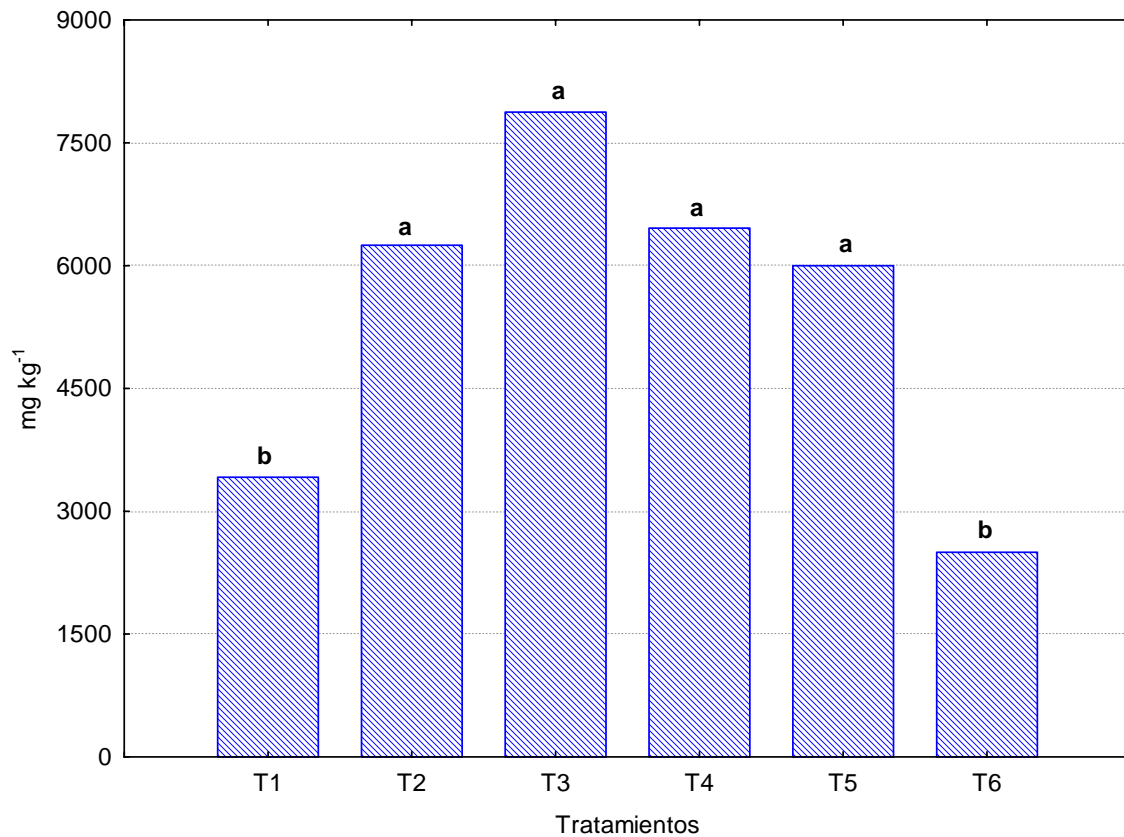
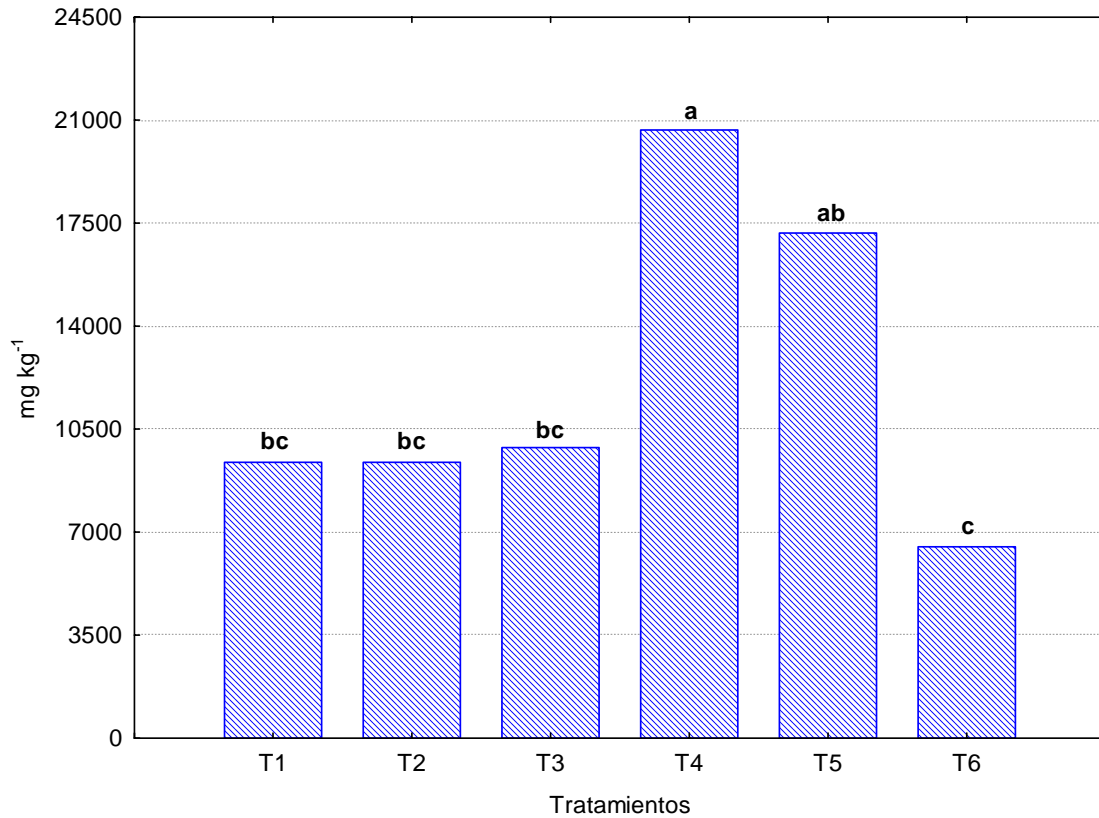


Figura 6. Contenido de Magnesio en raíz

Fi

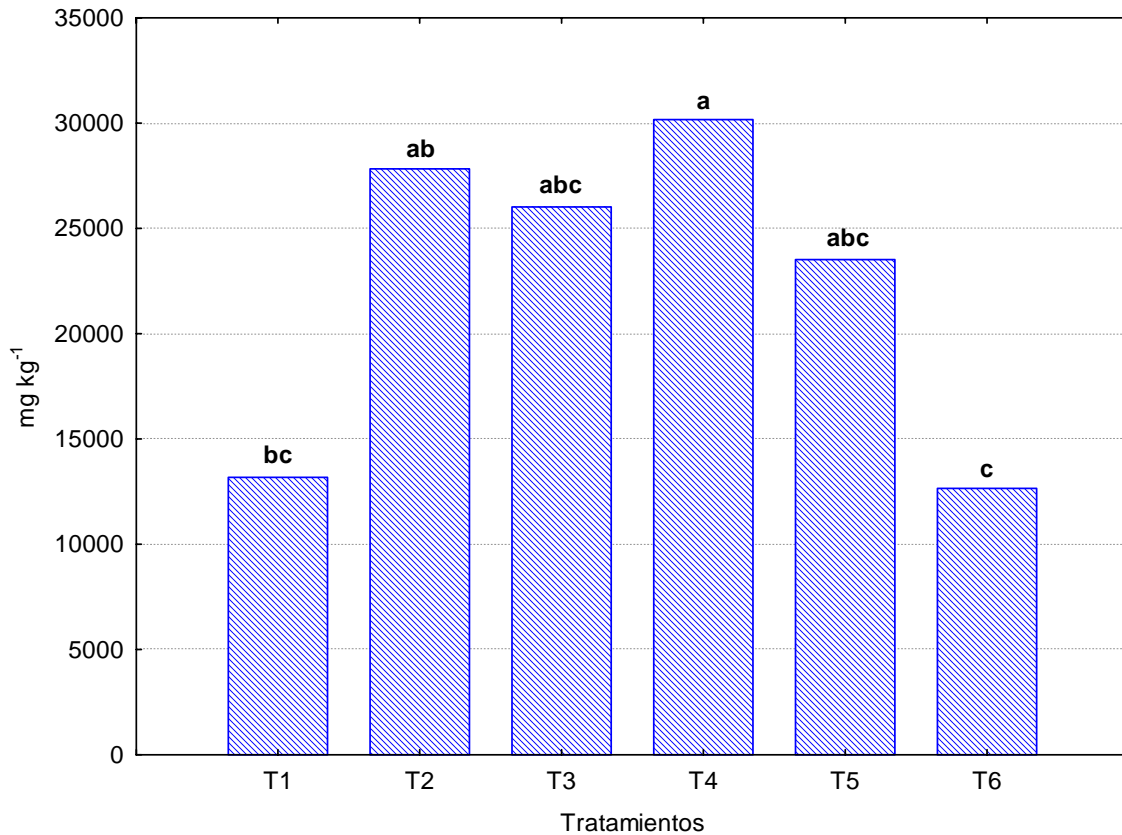
En cuanto a magnesio en el tallo se refiere, se observa diferencia significativa entre tratamientos. (Figura 7). En este caso se observa que los tratamientos 4 y 5 es decir los tratamientos de lodos laguna, sin estabilizar y estabilizados son los que presentan mayor cantidad de Mg en tallo, estos dos lodos reportan una gran cantidad de este elemento, aun sobre el lodo Imhoff no estabilizado.



Fig

Figura 7. Contenido de Magnesio en tallo

Al igual que en raíz y el tallo se presenta el contenido de magnesio en hoja (figura 8), la cual nos indica que hay diferencia significativa entre los tratamientos. Mostrando un comportamiento parecido a lo reportado en raíz ya que son los tratamientos con lodos donde las mayores cantidades de Mg se observa, sin embargo en este caso del tallo las cantidades son mucho mayores.



Fi

Figura 8. Contenido de Magnesio en hoja

Con lo correspondiente al contenido de potasio en raíz (figura 9), este presenta diferencia significativa entre tratamientos siendo el mejor el tratamiento 3, se observa una alta concentración de potasio en la raíz, ya que siendo un metal muy móvil en la planta llega a las raíces de las plantas por transporte en la solución del suelo y su concentración determina cuanto potasio alcanza las raíces en un momento dado. Se debe

conocer que los niveles de potasio soluble del suelo son solamente indicadores de disponibilidad momentánea. Para la exitosa producción de cultivos es más importante que se mantenga la concentración de potasio en la solución del suelo a un nivel satisfactorio a través del ciclo de cultivo (Ramírez, 1991).

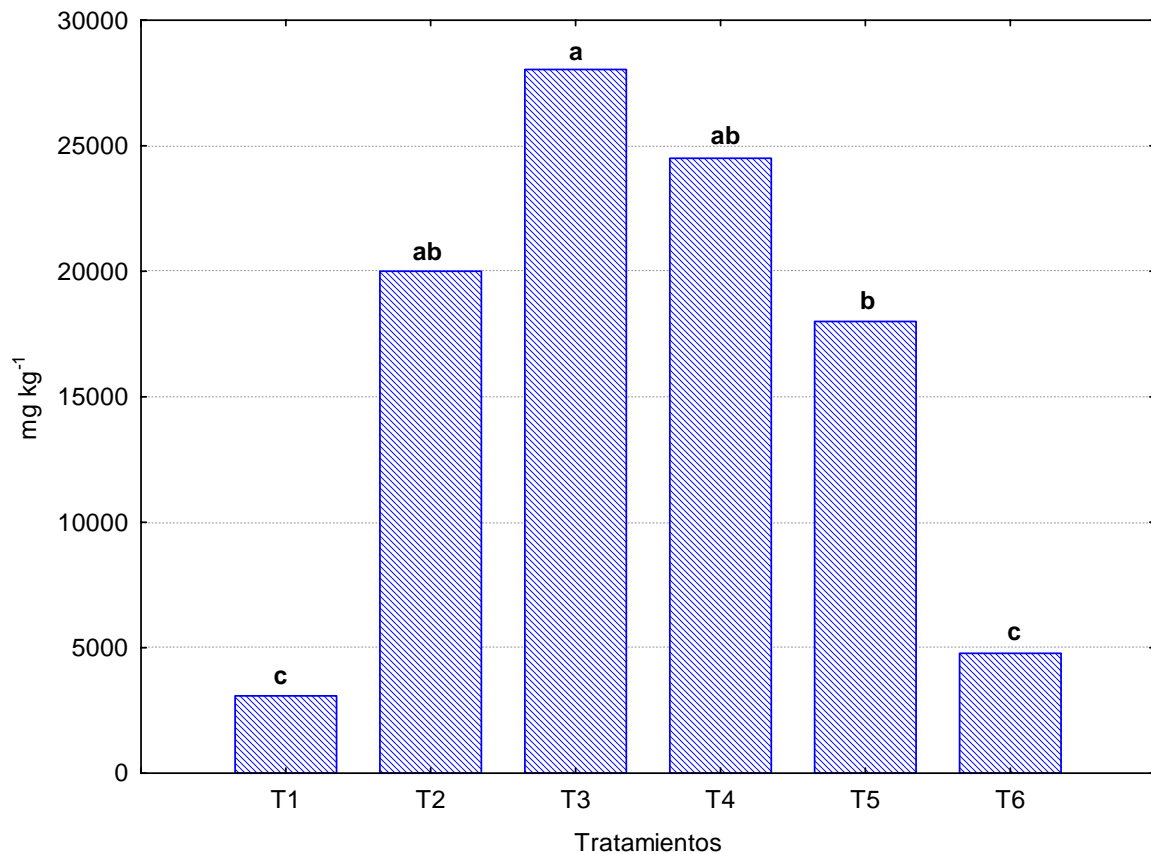
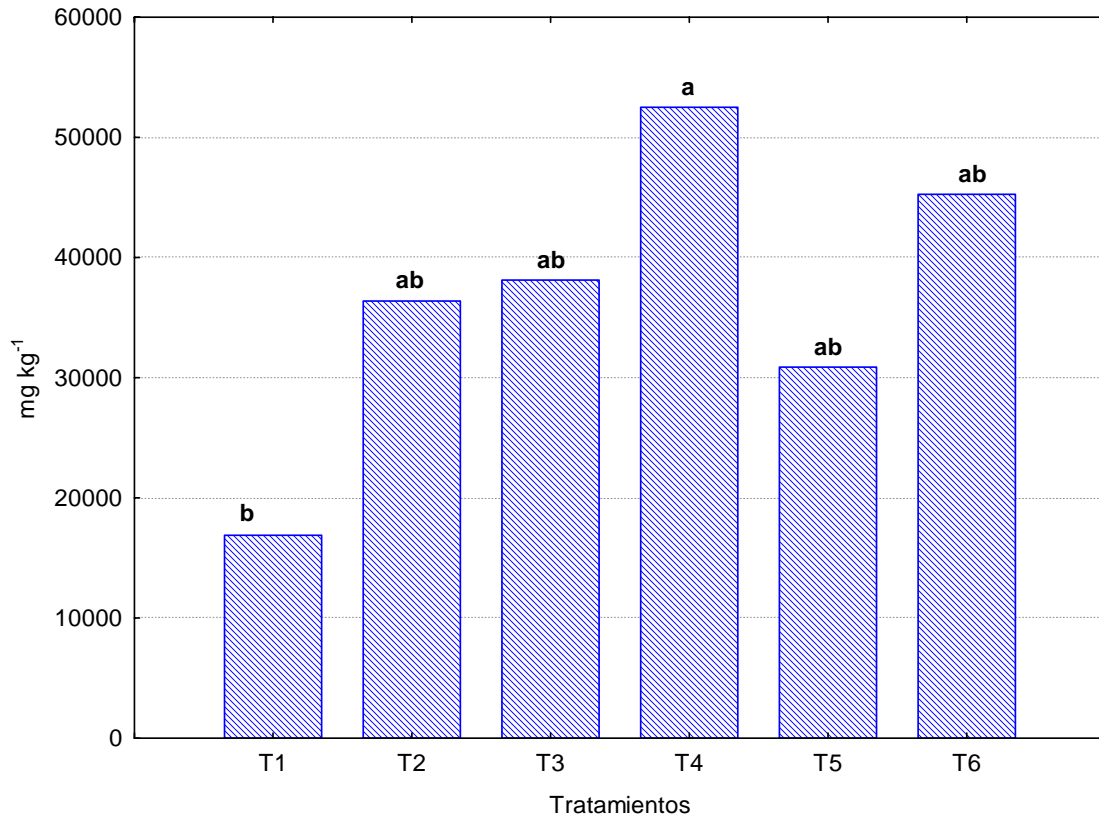


Figura 9. Contenido de Potasio en raíz

De igual manera se presenta el potasio en el tallo, en la cual se observan diferencias significativas pero se observa en este caso al tratamiento 4 con una mayor presencia de dicho elemento en el tallo teniendo un comportamiento similar entre los demás tratamientos. Los valores observados en potasio en tallo van de 18,000 a 52,000 mg kg⁻¹ habla de la movilidad de este elemento en planta. (figura 10)

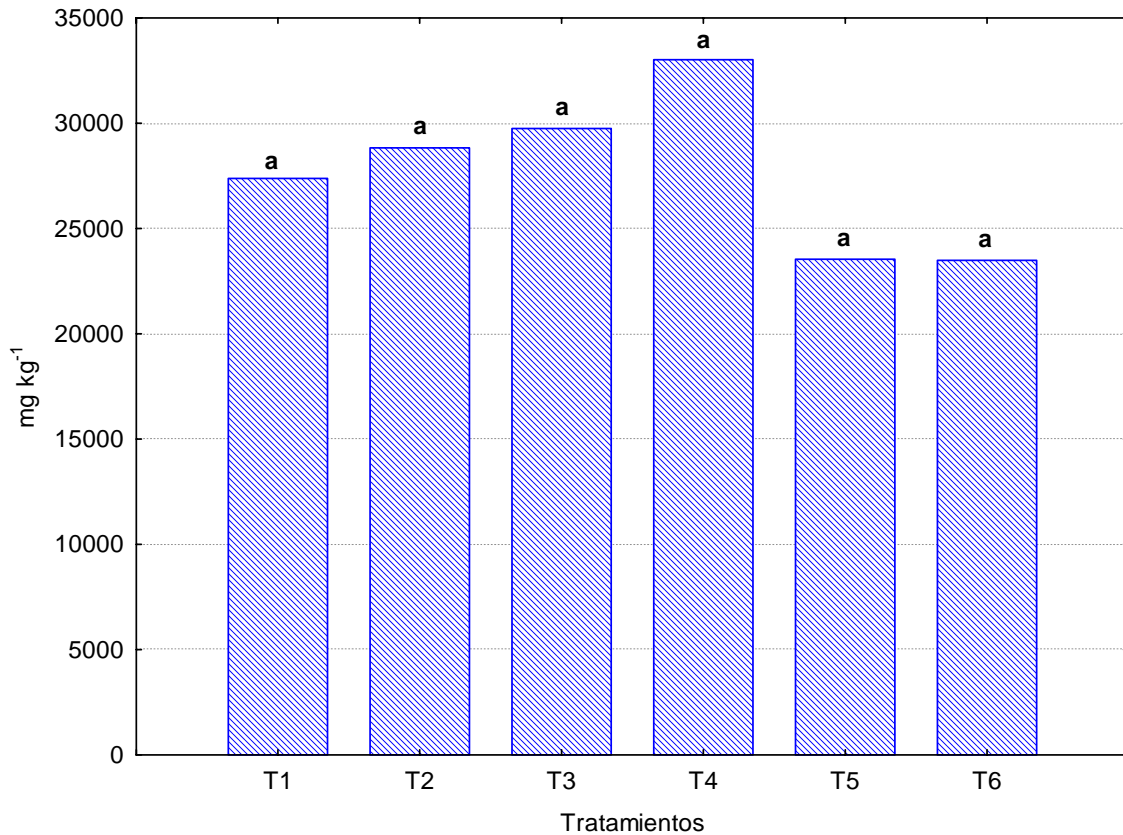


Fig

ura 10. Contenido de Potasio en tallo

Al igual que en raíz y tallo se observa el potasio en hoja en la figura 11 en este caso no se presenta diferencia significativa entre los tratamientos. Sin embargo los valores son muy elevados al igual que en el resto de la planta. Mencionan Mininni y Santori(1987), que la demanda de los cultivos, por potasio es mucho mayor que para fosforo y a menudo comparable a la de nitrógeno. Por su parte Juárez et al. (1987), comentan que solo se puede garantizar una elevada productividad de los cultivos si se dispone de una fuente

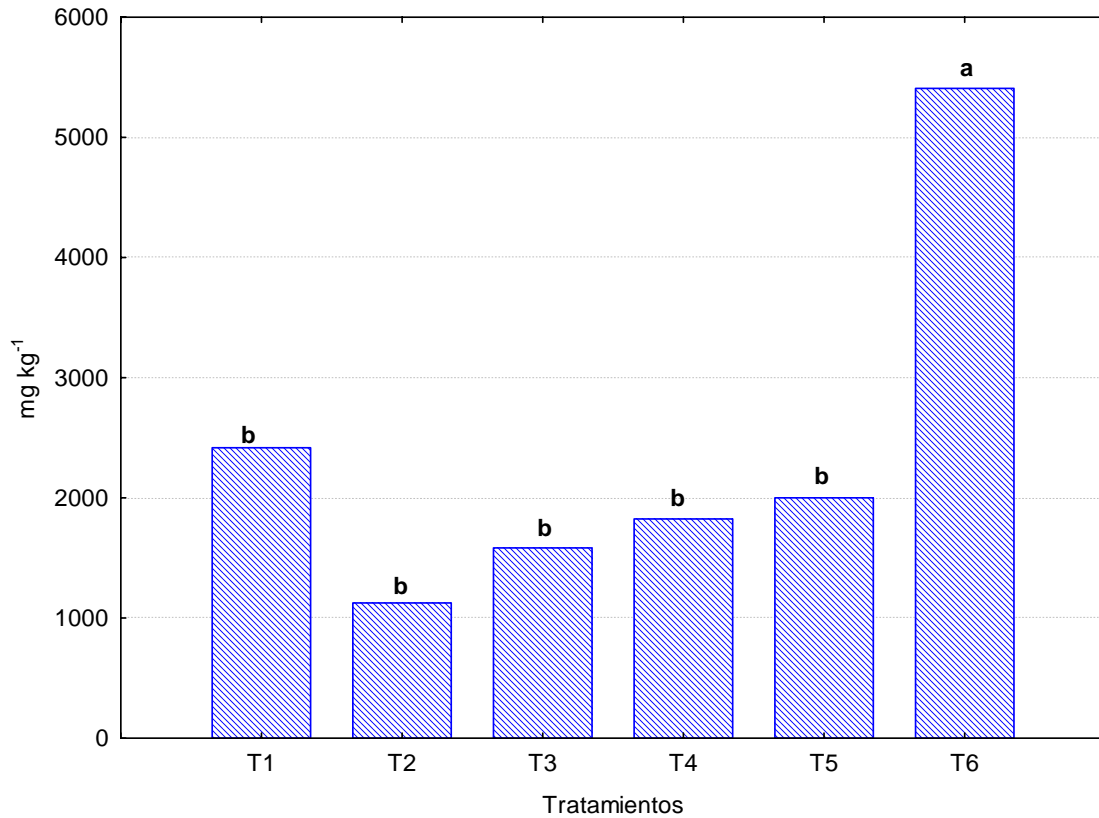
suplementaria de potasio cuando se fertiliza el suelo con lodo. En este trabajo se tienen lodos con una concentración media de potasio y el suelo se considera como rico.



Fi

Figura 11. Contenido de Potasio en hoja

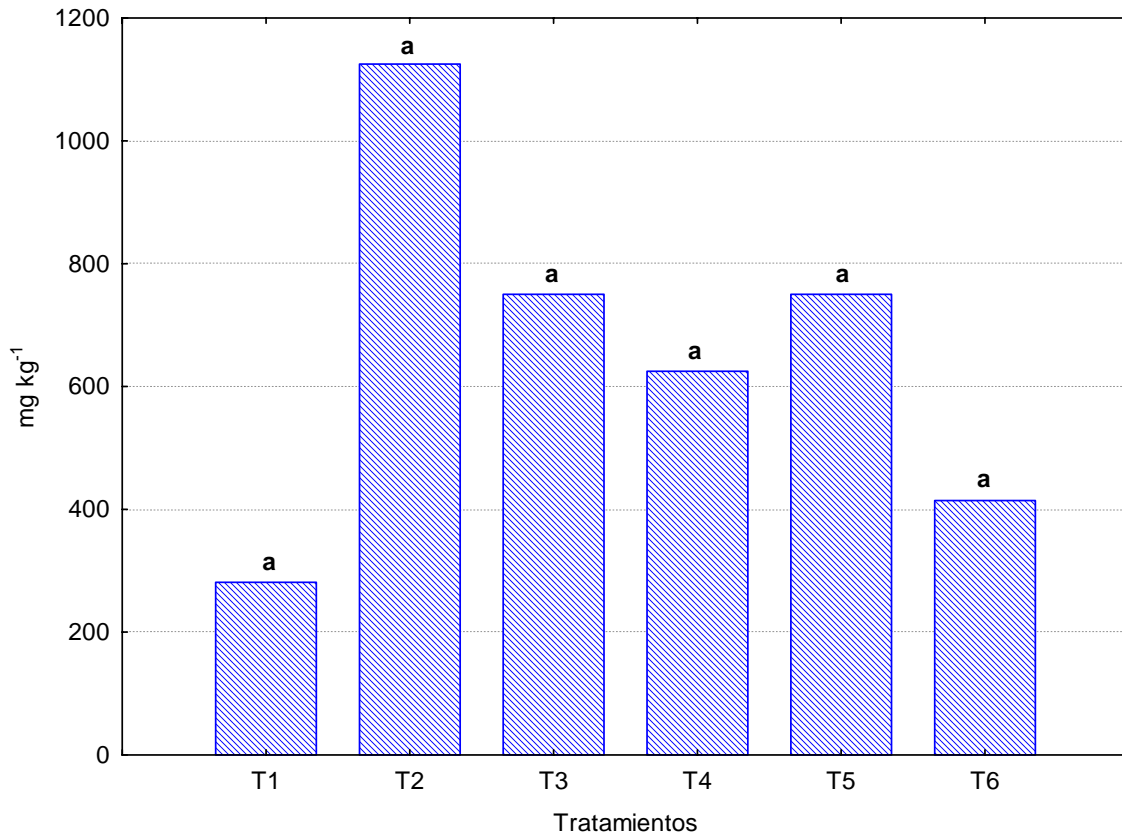
En la figura 12 se ilustra el contenido de Hierro en raíz, el cual presenta una diferencia significativa entre los tratamientos, observando que en este caso es el tratamiento 6 el que mayor acumulación de Fe presenta en raíz, le sigue el suelo como tratamiento testigo y después el resto de los tratamientos los cuales contienen lodo, y esto puede deberse al contenido elevado de Fe en el suelo ácido y que además el tratamiento 6 se le agregó una fertilización a base de Hierro (sulfato ferroso).



Fig

ura 12. Contenido de Hierro en raíz

Se muestra el contenido de hierro en tallo en la figura 13, donde se observa que los tratamientos no presentaron diferencia significativa, lo que sugiere que todos los tratamientos son iguales, sin embargo se observa que las diferencias en contenido de Fe que se presentan en algunos casos son importantes, como el tratamiento 1 y 2 que van de 280 a 1120 mg kg⁻¹. Los demás tratamientos son muy semejantes con cantidades que varían entre 400 y 700 mg kg⁻¹.



Fi

Figura 13. Contenido de Hierro en tallo

En la figura 14 se presentan los resultados de hierro en hoja, en la cual también se observa que no hay diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el tratamiento 5 el que presenta mayor cantidad en hoja, seguido por los tratamientos 2 y 3, pero sin rebasar en este caso ninguno de los tratamientos más de 650 mg kg⁻¹ el hierro es un elemento inmóvil en la planta, lo que puede causar que los puntos de crecimiento no se desarrollen bien, en este caso se observó que en general los valores más bajos se

presentaron en hoja y los más altos en raíz lo que nos indica de alguna manera cierta inmovilización del elemento.

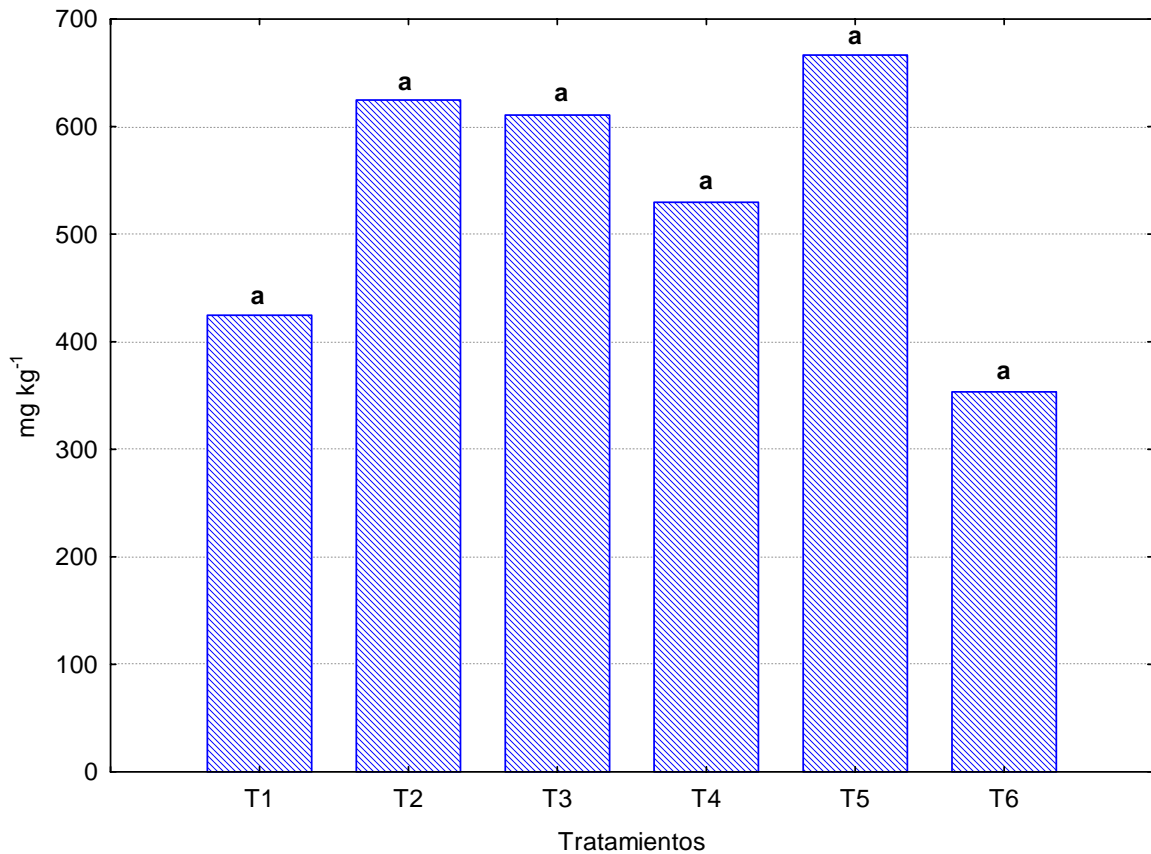
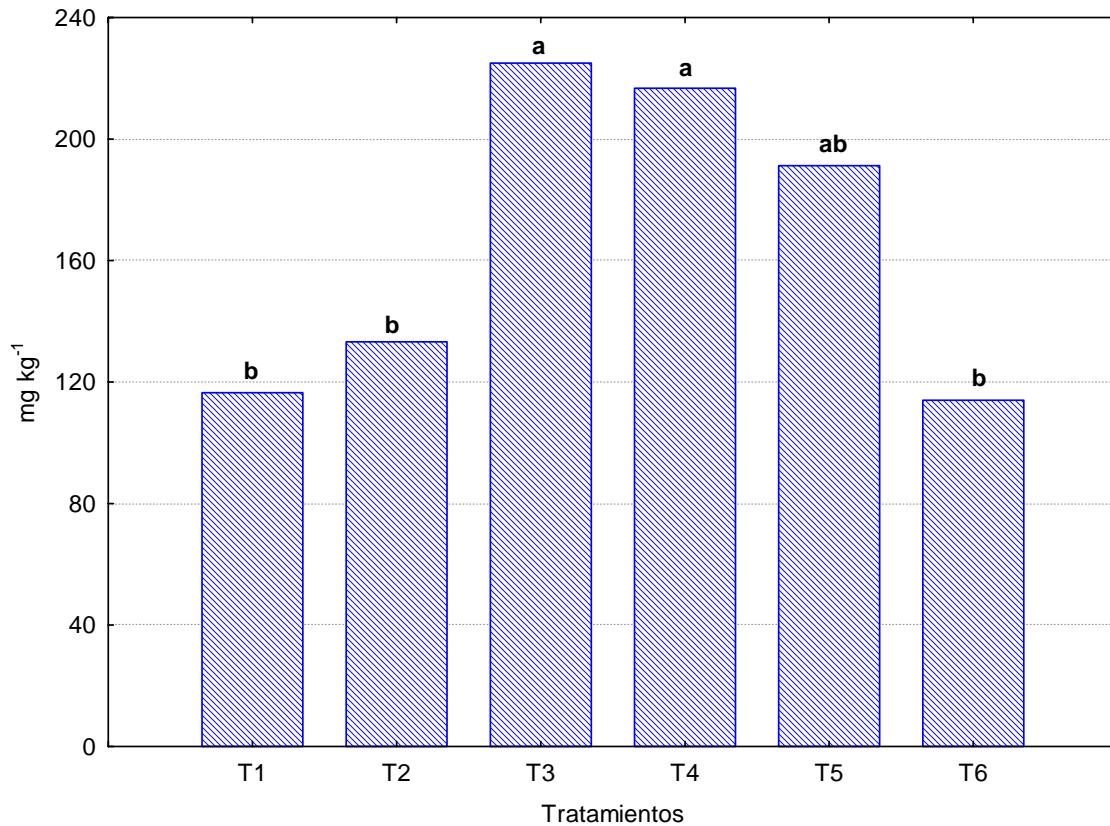


Figura 14. Contenido de Hierro en hoja

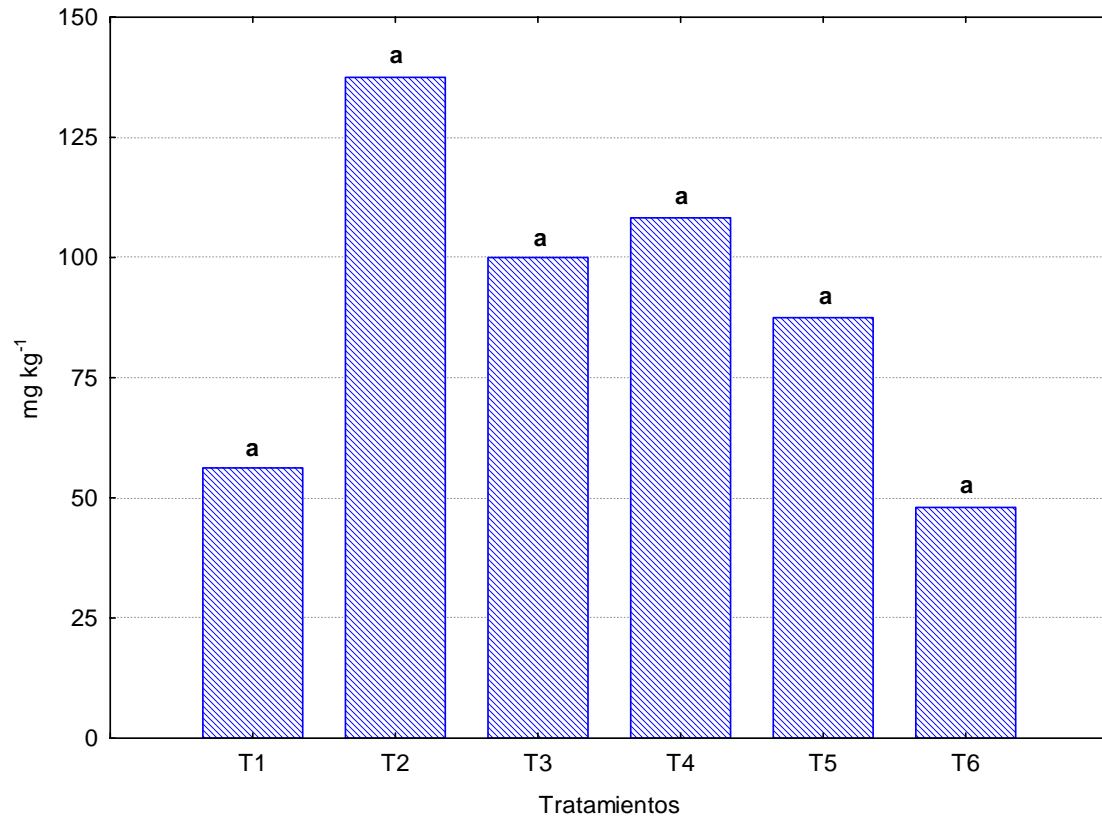
Se puede observar que para el contenido de zinc en raíz (figura 15) hay diferencia significativa, los valores se observan en el tratamiento con lodos, y los lodos de laguna tienen mayor cantidad de Zn, seguidos por los lodos Imhoff, el suelo presenta pequeñas cantidades de este elemento lo que se ve reflejado en el Zn contenido en raíz. Según Mosquera et al., (2001), el comportamiento de Zn en la planta, se debe a la concentración y disponibilidad del propio elemento, la interacción con macro y micronutrientes y la movilidad del Zn en las diferentes especies vegetales.



Fig

ura 15. Contenido de Zinc en raíz

En cuanto al contenido de zinc en el tallo se observa en la figura 16, que no presenta diferencia significativa entre tratamientos, aunque el tratamiento 2 tuvo una mayor movilidad de Zn el cual se acumuló en el tallo. Normalmente la deficiencia de zinc se presenta en suelos con una amplia variación en textura y pH (Murphy y Walsh, 1972).

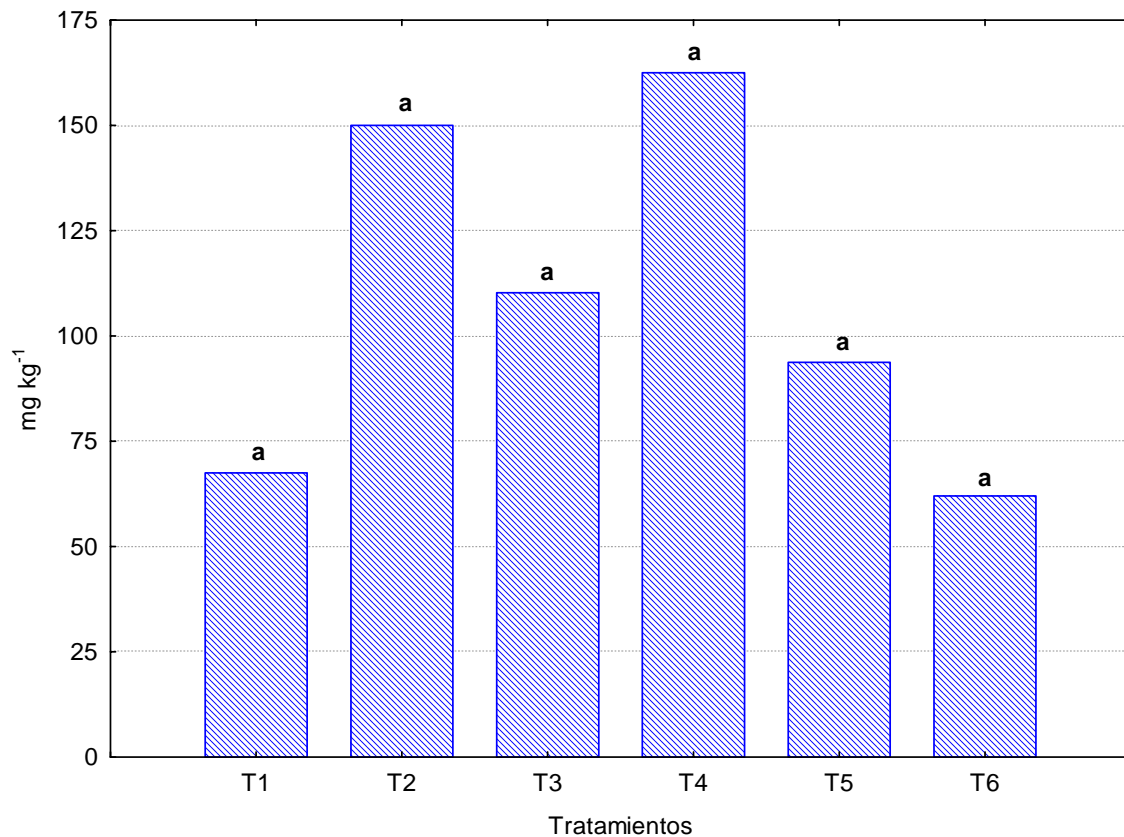


Fig

ura 16. Contenido de Zinc en tallo

Con respecto al contenido de zinc en la hoja, el cual se presenta en la figura 17, donde se observa que no presenta diferencia significativa, con los valores más bajos para los tratamientos sin lodo seguido por los tratamientos con lodo estabilizado y los valores más elevados en hoja se observan en los tratamientos sin estabilizar, en la mayoría de los

suelos el zinc se encuentra naturalmente en pequeñas cantidades, su solubilidad disminuye al elevarse el pH.

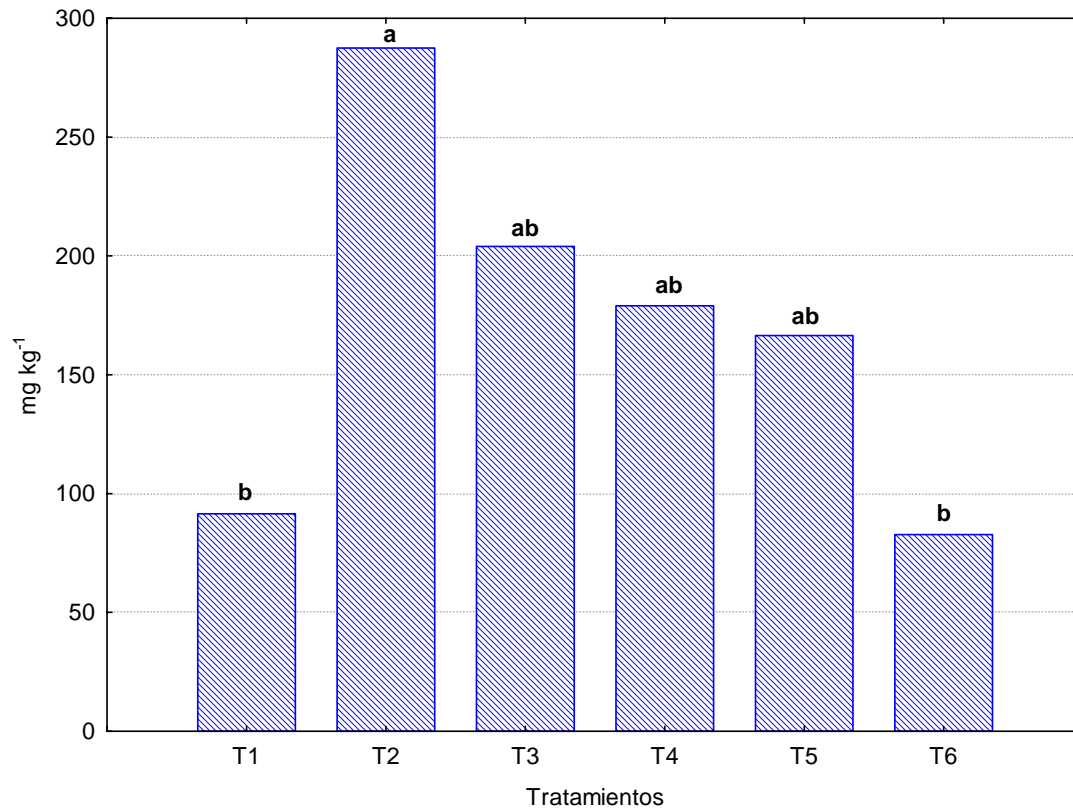


Fi

gura 17. Contenido de Zinc en hoja

Es la gráfica 18 se presenta el contenido de manganeso en la raíz, en la cual se observa que hay diferencia significativa. Los valores en este caso varían de 90 a 380 mg kg⁻¹, siendo los valores más altos para los tratamientos donde se aplicó lodo, en este caso la influencia del pH en la solubilidad de los elementos es un factor muy importante a

considerar ya que de ello depende la disponibilidad de los nutrientes por las raíces de las plantas. La planta absorbe el manganeso exclusivamente como ión Mn^{2+} . Sin embargo, este proceso puede ser afectado por la alta concentración de iones de Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} y Fe^{2+} .

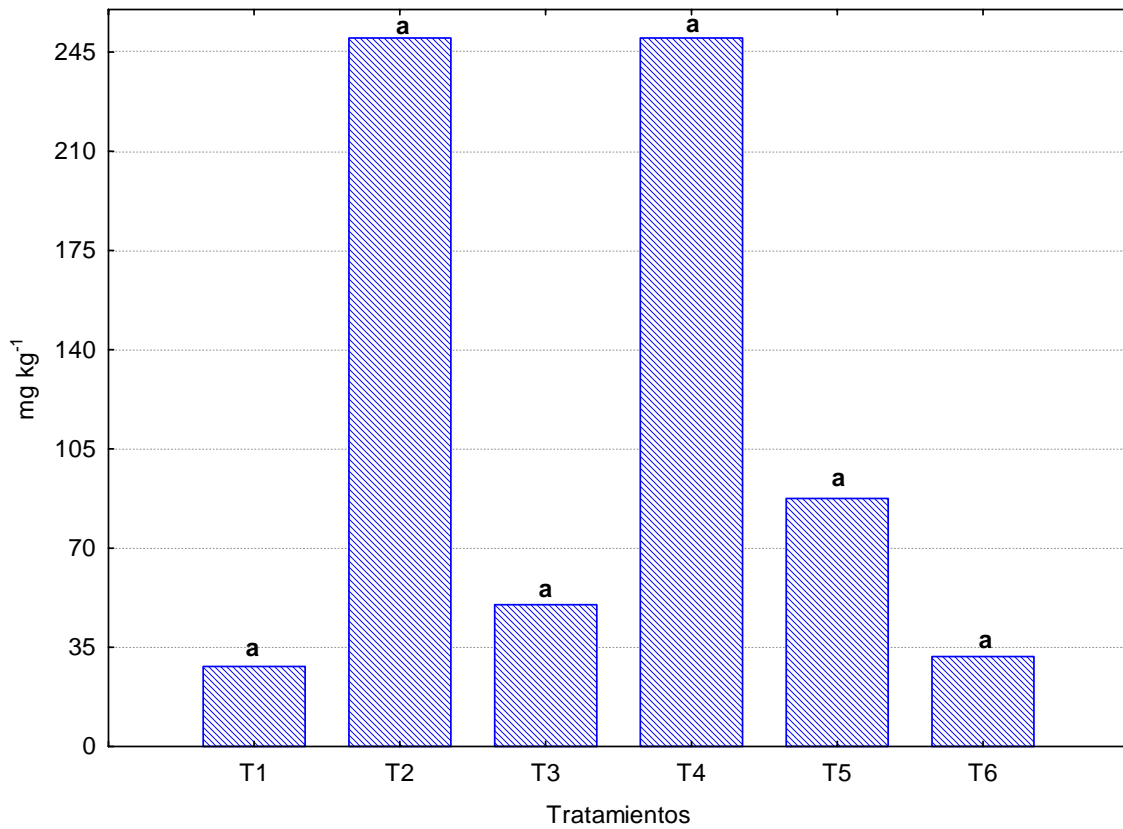


Figur

a 18. Contenido de Manganeso en raíz

El contenido de manganeso en el tallo se presenta en la gráfica 19, en la cual se observa que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, aunque con una mayor absorción en los tratamientos 2 y 4 a diferencia de los demás tratamientos. En los tratamientos 1, 3, 5 y 6 el contenido bajo del Mn en el suelo y la modificación de las

características del suelo sobre todo el pH impide la movilidad del elemento de por sí con poca movilidad. El Manganeseo no es traslocado dentro de la planta por lo que los síntomas de deficiencia aparecen primero en hojas jóvenes. La deficiencia ocurre con mayor frecuencia en suelos con altos niveles de materia orgánica, en suelos con pH neutro a alcalino, y en aquellos suelos que son naturalmente deficientes en contenido de manganeseo.

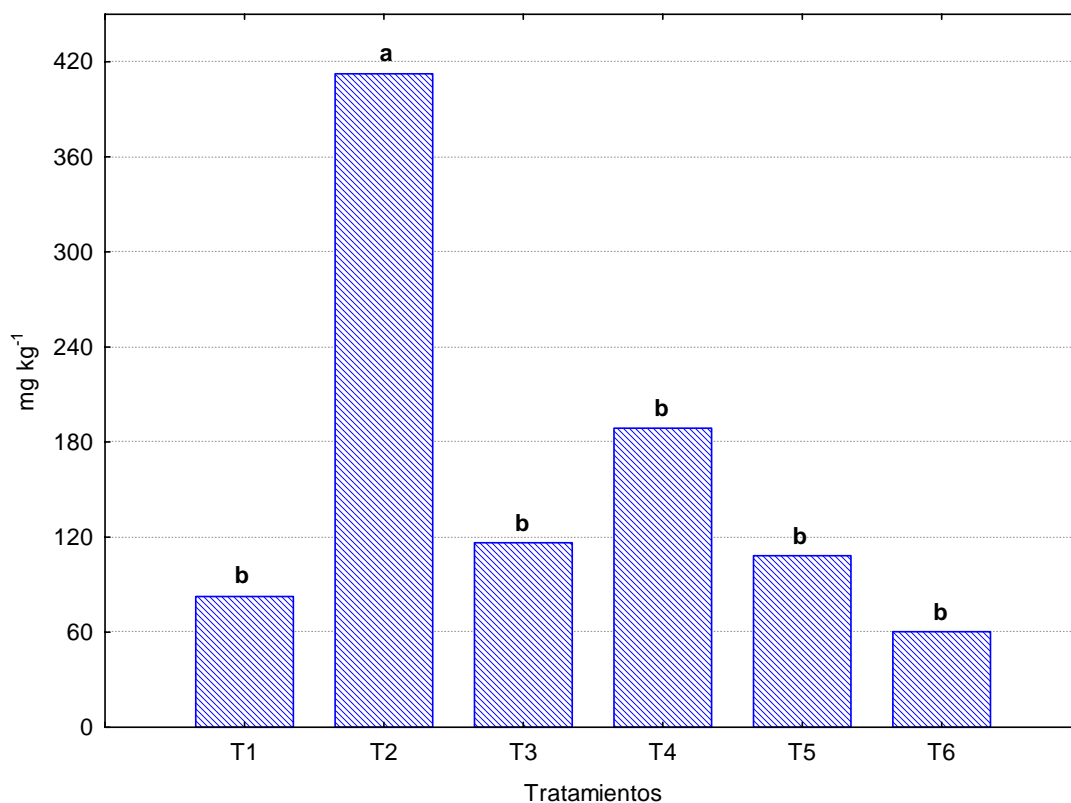


Fi

gura 19. Contenido de Manganeseo en tallo

Por lo anterior expuesto, en la gráfica 20 se muestra el contenido de manganeseo en la hoja, la cual presenta diferencia significativa entre los tratamientos, con 400 mg kg⁻¹ para el tratamiento 2 y sin mostrar diferencias significativas entre todos los demás tratamientos,

con valores que van de 60 a 190 mg kg⁻¹, como se mencionó anteriormente la movilidad del manganeso es muy poca lo cual se concentra en su mayoría en la parte rastrera de la planta. Es absorbido de la solución del suelo como Mn²⁺ y traslocado en la parte aérea como ion libre.

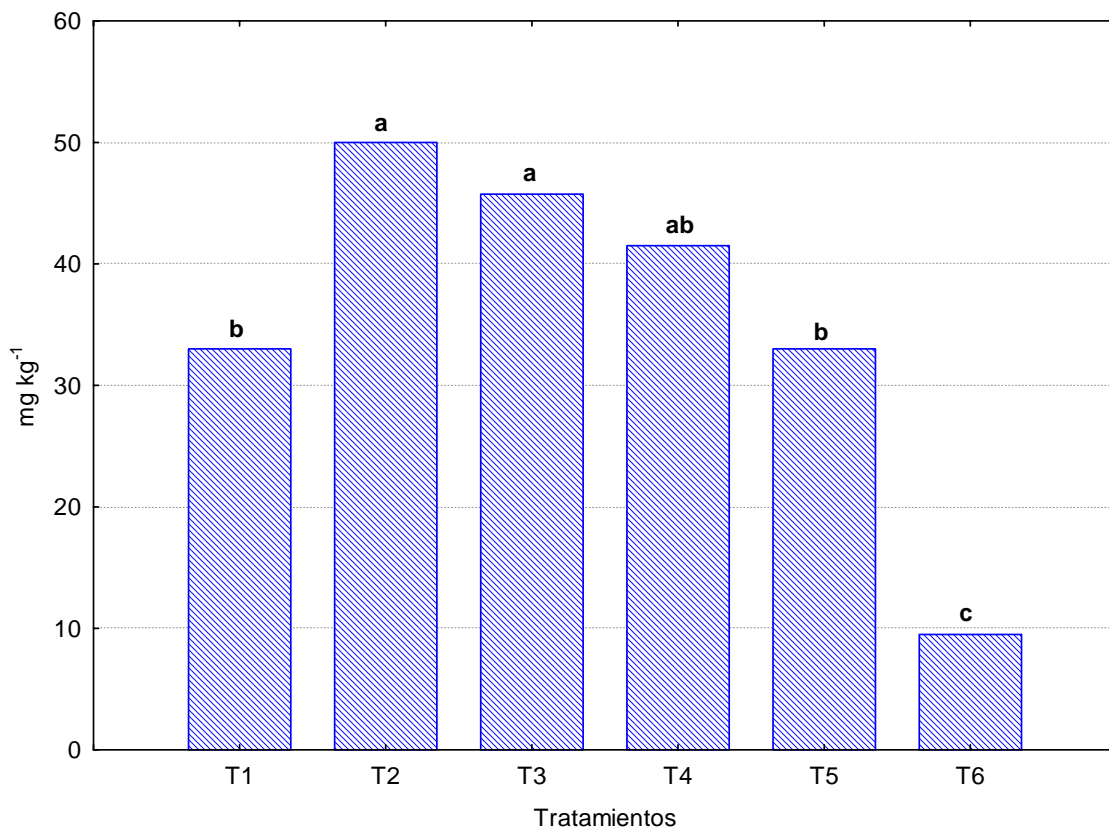


Figur

a 20. Contenido de Manganeso en hoja

En la figura 21 se muestra el comportamiento del cromo en la raíz, como se observa hubo una diferencia significativa entre los tratamiento teniendo al tratamiento 2 como el de mayor contenido de cromo y el tratamiento 6 como el de menor contenido de este

elemento. Este contenido de cromo en raíz y para el tratamiento dos es normal debido al contenido de cromo en el lodo del tanque Imhoff, que si bien no se refleja en el análisis del elemento total en el punto uno de muestreo en el presente estudio, concuerda con lo encontrado por González (2011) y López (2013) en cuanto a las mayores cantidades del elemento en este punto, durante otros periodos de muestreo. Por otro lado Grifferty y Barrington (2000), comentan que además de los metales esenciales que la planta puede absorber, también absorbe metales pesados los cuales en general son acumulados en las raíces de las plantas, constituyendo un sitio de almacenamiento, evitando con esto que dosis tóxicas de estos elementos se trasloquen a los tallos y granos.

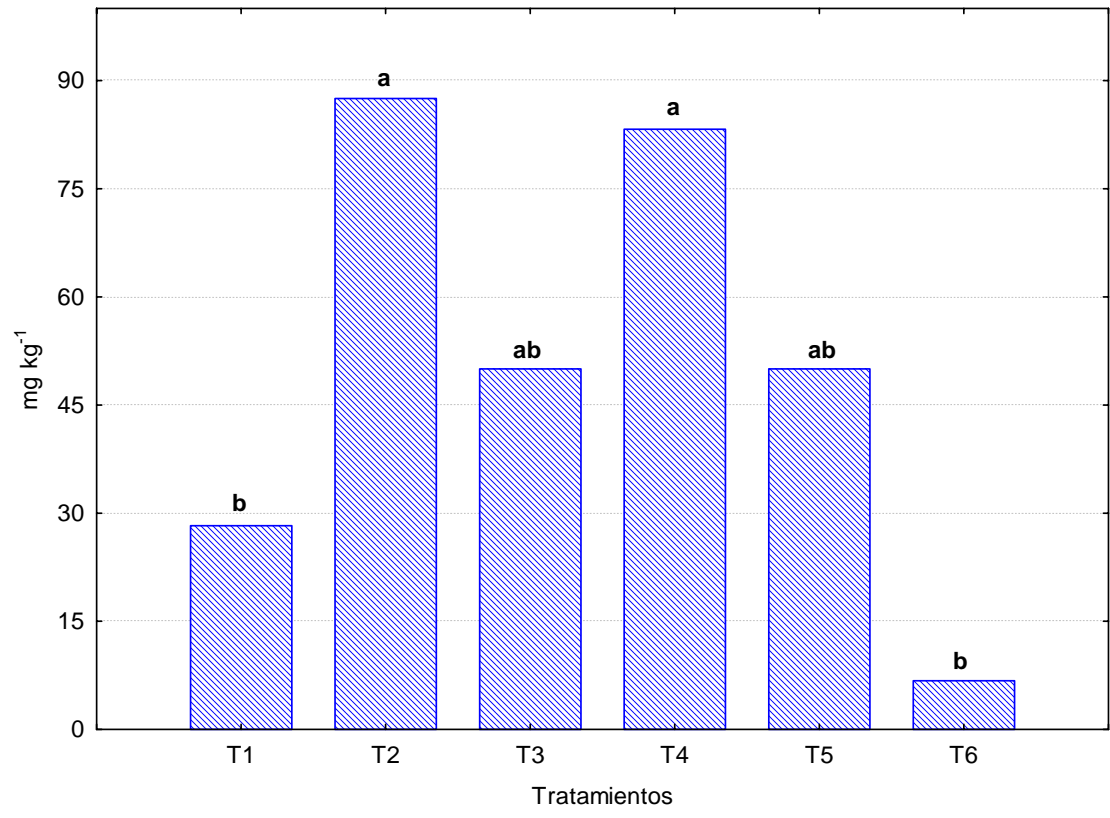


Fig

ura 21. Contenido de Cromo en raíz

La figura 22 nos muestra el contenido de Cr en tallo, donde se observa diferencia significativa entre tratamientos, pero teniendo una mayor presencia de este elemento en los tratamientos 2 y 4, esto indica que los órganos de las plantas difieren en su capacidad para acumular metales y dependiendo del tratamiento, en este caso que se les dio a los

lodos ya que los lodos en bruto presentan mayores cantidades y los estabilizados con cal dolomita menores cantidades, lo que hace pensar que el Cr en este último caso se fijó, por lo que está menos disponible para la planta. Resultados similares encontró Hue (1996), quien sostiene que la acumulación de metales pesados en determinados tejidos u órganos es variable, algunos como por ejemplo el Cr y Pb son bloqueados a nivel radicular. Los tratamientos sin lodos de ningún tipo y por lo tanto sin algo de Cr presentan las menores cantidades del elemento.



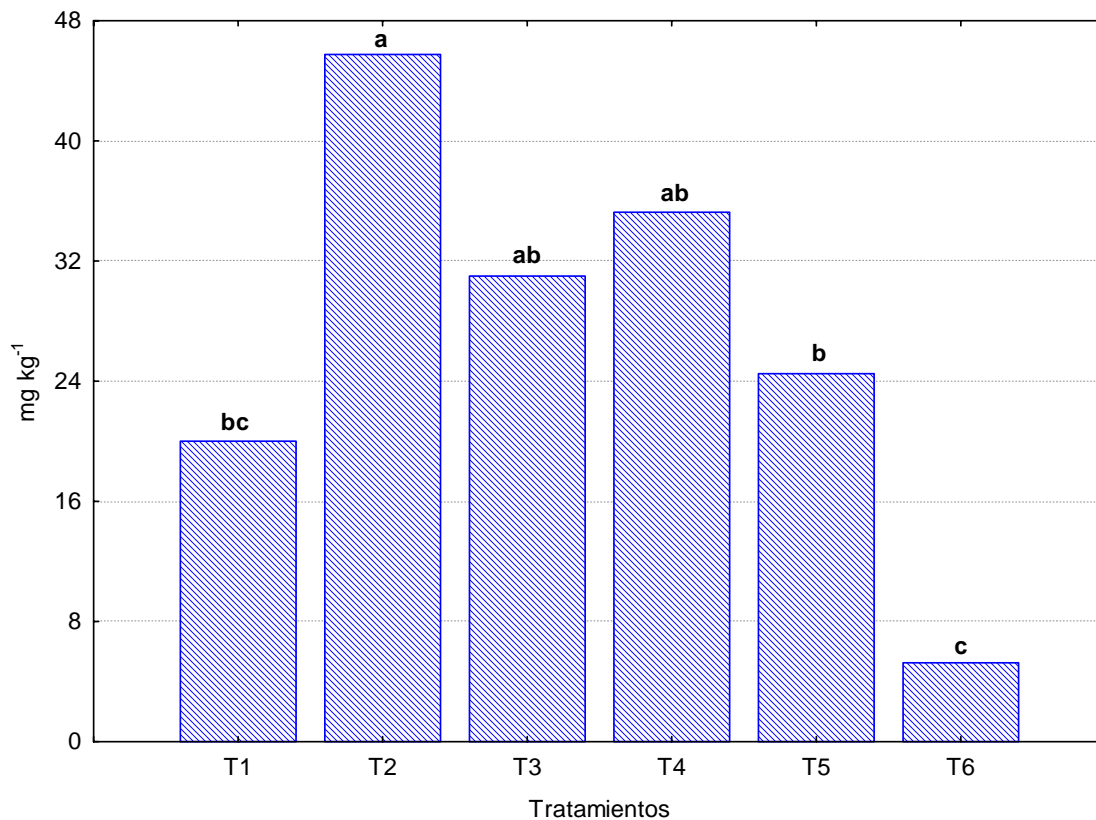
Fig

ura 22. Contenido de Cromo en tallo

La figura 23 nos muestra el contenido de Cr en hoja, en la cual se encontró diferencia significativa, se observa que en el tratamiento 2 se encuentra una mayor concentración de este elemento, como sucedió para el caso de raíz y tallo y variando las cantidades

acumuladas en cada parte de la planta, menor cantidad en raíz y hoja y aumenta la acumulación en tallo, lo que hace pensar en una movilidad media de este elemento.

Por lo general, el cromo se presenta en dos formas: la trivalente, Cr (III) y la hexavalente, Cr (VI), y las plantas toman ambas formas. El Cr (III) es poco soluble y menos tóxico, mientras que el Cr (VI) que es más soluble en agua, es altamente tóxico para la biota (Adriano, 2001). Los órganos de las plantas difieren en su capacidad para acumular metales. En la mayoría de las plantas, raíces, tallos, hojas, frutos y semillas presentan diferentes niveles de concentración y acumulación de metales pesados (Kloke y col. 1994).



Fig

ura 23. Contenido de Cromo en hoja

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación bajo los objetivos e hipótesis planteada, se concluyó lo siguiente:

Los lodos pueden ser utilizados como mejoradores de suelos ya que contienen altos porcentajes de materia orgánica lo que mejoraría las características del suelo sobre todo de fertilidad.

El proceso de estabilización alcalina permite el uso de los lodos de la PTAR, al eliminar algunos microorganismos patógenos, y al mismo tiempo eleva el contenido de elementos como Ca y Mg, pero la disponibilidad de algunos micronutrientes y metales pesados se va disminuida. También modifica la acidez de los suelos como el utilizado en este trabajo.

En general se observó que los mejores tratamientos fueron aquellos que incluyeron lodos no estabilizados, independientemente de la parte de la planta analizada, dado que fueron los que presentaron las más altas concentraciones de micronutrientes y cromo. El K, Ca y Mg se encontraron en altas cantidades en toda la planta y en todos los tratamientos, sobresaliendo aquellos que contienen lodos.

LITERATURA CITADA

ABDELRAHMAN, H. A., AL-AJMI, H. 1994. Heavy metals in some water and wastewater irrigated soils of Oman. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 25 (5-6): 605-613.

- ADRIANO, D.C. 2001. Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of heavy metals. 2nd ed. Springer-Verlag, New York. 867pp.
- AHUMADA, I., ESCUDERO, P., CARRASCO, A., CASTILLO, G., ASCAR, L. FUENTES, E. 2004. Use of Sequential Extraction to Assess the Influence of Sewage Sludge Amendment on Metal Mobility in Soils. *J. Environ. Monit.* (6): 327-334
- ARMSTONG, M.J. KIRKBY, E.A., 1979. The influence of humidity on mineral composition of tomato plant whit special reference to calcium distritbution plant and soil. 52: 427-435.
- AZEVEDO, M.L. FERRACIÚ, L.R., GUIMARAES, L.R. 2003. Biosolids and heavy metals in soils. *Sci. Agric.* 60, 793-806.
- BASTA, N. T., PANTONE, D. J., TABATABAI, M. A. 1993. Path analysis of heavy metal adsorption by soil. Published in. *J.* 85: 1054-1057.
- BELLAPARK, C.V. 1988. Agricultura biológica en equilibrio con la agricultura química. Fertilización natural la agricultura del futuro. Primera edición. Editorial AEDOS, S.A. Barcelona España.
- BHELLA H, 1985. Muskmelon growth yield and nutrition as influenced by planting method and trickle irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110 (6): 793-796.
- BOEKHOLD, A. E., VAN DER ZEE S. E. 1992. Significance of soil chemical heterogeneity for spatial behavior of Cadmium in field soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 56: 747-745.
- CARDOZO, V. L., RAMÍREZ E., MOELLER, G., V. ESCALANTE, 1998. Criterios para el aprovechamiento de aguas residuales. Instituto mexicano de tecnología del agua (IMTA). Morelos, México.
- CELIS, J., SANDOVAL, M., ZAGAL, E., BRIONES, M. 2006. Efecto de la Adición de Biosólidos Urbanos y de Salmonicultura sobre la Germinación de Semillas de Lechuga (*Lacticasati va L.*) en un suelo Patagónico. *Rev. Ciencias del Suelo y Nutr. Veg.* 6 (3): 13-25.
- DUFFUST, H. 1988. Toxicología Ambiental. Omega. España. pp 24-94.
- GARCIA, E. 1973. Precipitación y probabilidad de lluvia en la República Mexicana y su evaluación, Volumen 13.
- GONZALES, G. A. 2011. Metales Pesados en Lodos de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales de la UAAAN. Tesis Licenciatura. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México.
- GRIFFERTY, A. S. BARRINGTON. 2000. Zinc uptake by Young Wheat Plants under Two Transpiration Regimes. *J. Environ. Qual.* 29:443-446.
- GUTIERREZ, C.M.A., 1995. Nutrición Vegetal y uso de Fertilizantes. Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Son. 115 p.

- HOLGREM, G. G., MAYER, M. H., CHANEY, R. L., DANIEL, R. B. 1993. Cadmium, Lead, Copper and Nickel in agricultural soils of United States of America. *J. Environ. Qual.* 22: 335-348.
- HUE, N.V. 1996. Land application of biosolids. *Enviromental Soil Chemistry*, University of Hawaii. Sludz. Htm at agrss. Sherman. Hawaii. Edu. 9 p.
- INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (IMTA) 1998. Tratamiento y aprovechamiento de residuos de curtidura por composteo y vermicomposteo. Jiutepec, Morelos, México, C.P. 62550.
- JIMÉNEZ, B., BARRIOS, J. A., MAYA, C. 2000. "Estabilización alcalina de lodos generados en un tratamiento primario avanzado". Instituto de ingeniería UNAM. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales; AIDIS. Ciencia y conciencia compromiso nacional con el medio ambiente: memorias técnicas México D.F. 2000. P. 1-13.
- JOSÉ, A. S. 2009. Apuntes de Producción de Hortalizas de Clima Cálido. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- JUÁREZ, M., SÁNCHEZ-ANDREU, J., MATAIX, J. (1987): Interés agrícola de lodos de depuradoras de aguas residuales. *Anal. Edafol. Agrobiol.* 46(1-2), 211- 228.
- KLOKE, A., D.R. SAUERBECK H. VETTER. 1994. Study of the Transfer Coefficient of Cadmium and Lead in Ryegrass and Lettuce. Pp 113. Nriagu, J. (Ed) In: *Changing Metal Cycles and Human Health*, Springer-Verlag, Berlin.
- KUO, S., BAKER, A. S. 1980. of Copper, Zinc and Cadmium by some acid soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 44: 969-974.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. DOF. 1998. México, D.F.
- LÓPEZ, J. L., LÓPEZ, J. M. 1990. El diagnóstico de suelos y plantas. Ediciones Mundi – Prensa. España. 264 p.
- LOUE, L. 1988. Los microelementos en la agricultura. Ediciones Mundi – Prensa. España. 326 p.
- MARSCHENER, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Londres. pp. 7-73, 285-299.
- MOSQUERA-LOSADA, M.R., LÓPEZ-DÍAZ, M.L, RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; 2001. Sewage sludge fertilisation of a silvopastoral system with pines in Northwestern Spain. *Agroforestry Systems.* 53:1- 10.
- MININNI, G. Y SANTORI, M. (1987): Problems and perspectives of sludge utilization in agriculture. *Agric. Ecosys. Environ.* 18, 291-311.
- MURPHY, L. S., L. M. WALSH. 1972. Correction of micronutrient deficiencies with fertilizers. In: *Micronutrients in agriculture Zn, Fe, B, Mo, Cu, Mn.* Soil. Sci Soc. of Ame. Inc. Madison Wisconsin USA. p. 371-381.

- NORMA OFICIAL MEXICANA. DOF. 2002. NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección Ambiental, Lodos y Biosólidos. Especificaciones y Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para su Aprovechamiento y Disposición Final. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. Publicada el 15 de Agosto del 2003.
- OSTERGAARD, H. B. 1997. Sewage sludge amended soils and heavy metals. Birgitpr. htm at weber.u.washington.edu. 8 p.
- PARTSON, B.D. 2008. Manual para la educación agropecuaria cucurbitácea. Editorial trillas 1987.
- PEREZ, D. J. P. 2011. Metales pesados y Calidad Agronómica del Agua Residual de la Planta de Tratamiento de la UAAAN. Tesis Licenciatura. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México.
- PISSANI, Z.J.F. 1998. Tratamiento y aprovechamiento agrícola de las aguas residuales. Postgrado, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín N.L.
- RAMIREZ, R. 1991. El uso eficiente de los fertilizantes y el incremento de la productividad agrícola en Venezuela. Informaciones Agronómicas No. 4. Quito Ecuador.
- SAEKI, K., OKAZAKI, M., KUBOTA, M. 1993. Heavy metals in a semi-enclosed hypereutropic system: Lake Teganuma, Japan. Water, Air and Soil Pollution. 69: 79-91.
- SAGIK, B., MOORE, B., FORBER, C. 1979. Public health aspects related to the land application of municipal sewage effluents and sludges. In: Sopper, W.E., and S.M. Kerr, eds. Utilization of municipal sewage effluents and sludge on forest and disturbed land. University Park, PA: Pennsylvania State University Press. Pp. 241-263.
- SORBER, A. CHARLES. 1994. Biosolids, a blue print for public acceptance. Water Environment and Technology. Water Environment Federation. 6:5:61.
- STAHL, R. S., JAMES B. R. 1991. Zinc sorption by B horizon soils a function of pH. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:1529-1597.
- TAMARÍZ, J. V. R. 1996. Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados en el municipio de Atlizco, Puebla. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias UNAM.
- TIRELF, N. M. 1981. Environment and health. Ann Arbor Science. USA. 652 p.
- U.S. EPA. 1984. Use and disposal of municipal wastewater sludge. EPA/625/10-84/003. Cincinnati, Ohio.
- U.S. EPA. 1987. Survival and transport of pathogens in sludge-amended soil: A critical literature review. EPA/600/2-87/028. Cincinnati, Ohio.

- U.S. EPA. 1990. National Sewage Sludge Survey: Availability of information and data, and anticipated impacts on proposed regulations. Fed. Reg. 55(218).
- U.S. EPA. 1992. Technical document for land application of sewage sludge, Vol. I. EPA/822/R-93900/9 (NTIS PB 110583). Washington, DC.
- U.S. EPA. 1995. Process design manual: Land Application of Sewage Sludge and Domestic Septage EPA/625/R-95/001. Cincinnati, Ohio.
- VAVILOV, N.I. 1951. Origin, Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants. Roland Press, New York, U.S.A.
- WALLACE, A., ROMNEY, E., ALEXANDER, G., KINNEAR, J. 1977. Phytotoxicity and some interactions of the essential trace metals iron, Manganese, Molybdenum, Zinc, Copper, and Boron. Soil Sci. Plant Anal.
- WHITAKER, T.W. AND DAVIS, G.N. 1962. Cucurbits. Botany, Cultivation and Utilization. Leonard Hill Book Ltd. England.
- ZUNINO, H., AND JAMES, M. P. 1997. Metal-binding organic macromolecules in soil: 2 characterization of the maximum binding ability the macromolecules. Soil. Sci. 123: 188-202.