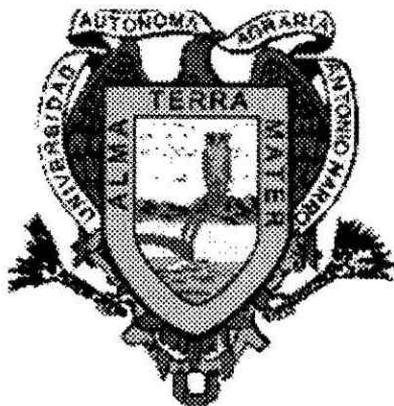


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**DESARROLLO DE LA NOA (*Agave victoriae-reginae* T. Moore) EN
LADOS RESIDUALES VERMICOMPOSTEADOS**

POR

ERIKA FRANCO LARA

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA

MARZO DEL 2007

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DESARROLLO DE LA NOA (*Agave victoriae-reginae* T. Moore) EN
LADOS RESIDUALES VERMICOMPOSTEADOS

TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

POR

ERIKA FRANCO LARA

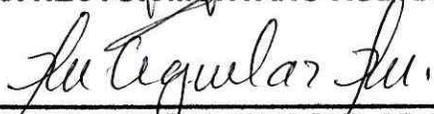
ASESOR PRINCIPAL


Dr. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ

ASESOR


MC. HÉCTOR MONTAÑO RODRÍGUEZ

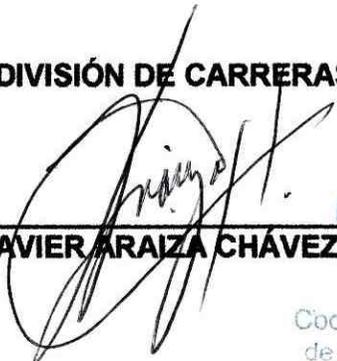
ASESOR


IQ. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO

ASESOR


Dr. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS


MC. JAVIER ARAIZA CHÁVEZ



DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DESARROLLO DE LA NOA (*Agave victoriae-reginae* T. Moore) EN
Lodos Residuales Vermicomposteados

POR

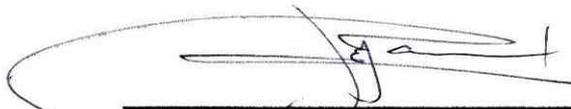
ERIKA FRANCO LARA

TESIS QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

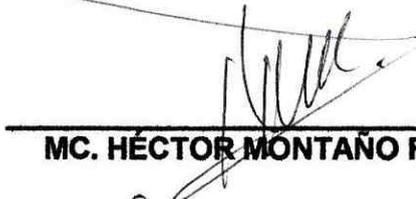
REVISADO POR EL COMITÉ ASESOR

PRESIDENTE



Dr. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ

VOCAL



MC. HÉCTOR MONTAÑO RODRÍGUEZ

VOCAL



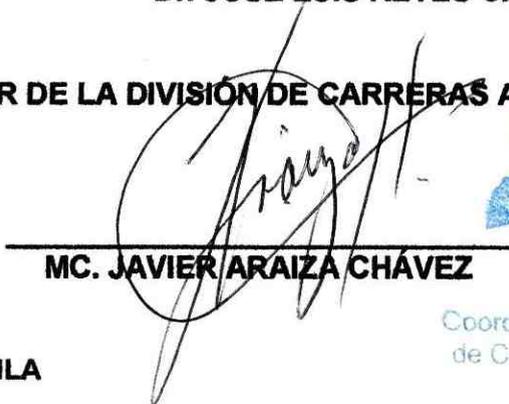
IQ. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO

VOCAL SUPLENTE



Dr. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



MC. JAVIER ARAIZA CHÁVEZ



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

CONTENIDO

I.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo General.....	4
1.2 Metas.....	4
1.3 Hipótesis.....	4
II.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Generación de biosólidos.....	5
2.2 Características de los lodos o biosólidos.....	6
2.2.1 Generación de olores.....	6
2.3 Peligrosidad de los lodos o biosólidos.....	7
2.4 Manejo y disposición de lodos o biosólidos.....	7
2.5 Alternativa de tratamiento de lodos o biosólidos.....	10
2.5.1 Tratamientos físicos.....	10
2.5.2 Tratamientos químicos.....	11
2.5.3 Tratamientos térmicos.....	11
2.5.4 Tratamientos biológicos.....	12
2.6 Papel de las lombrices en el vermicomposteo.....	14
2.7 Características de la vermicomposta.....	15
2.7.1 Características físicas de la vermicomposta.....	18
2.7.2 Características químicas de la vermicomposta.....	18
2.7.2.1 pH.....	18
2.7.2.2 Conductividad Eléctrica (CE).....	18
2.7.2.3 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	19
2.7.2.4 Materia Orgánica (MO).....	19
2.7.2.5 Relación Carbono: Nitrógeno (C:N).....	19
2.8 La vermicomposta en desarrollo de las especies vegetales.....	19
2.9 Noa (<i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore).....	20
2.9.1 Historia natural.....	20
2.9.2 Taxonómica del <i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore.....	21

2.9.3 Descripción de la especie <i>Agave victoriae-reginae</i>	22
2.9.4 Tamaño poblacional.....	24
2.9.5 Situación actual del hábitat con respecto a las necesidades de la especie.....	24
III.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1 Dinámica de la variable peso fresco del total en noa (<i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore).....	33
4.2 Dinámica de la variable peso seco del total en noa (<i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore).....	34
4.3 Dinámica de la variable peso fresco de tallo y hoja en noa (<i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore).....	35
4.4 Dinámica de la variable peso seco de tallo y hoja en noa (<i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore).....	36
V.- CONCLUSIONES.....	37
VI.- RESUMEN.....	38
VII.- LITERATURA CITADA.....	40
APENDICE.....	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1	Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.....	8
2	Los límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos.....	8
3	Aprovechamiento de biosólidos.....	9
4	Resultados de los análisis físicos y químicos de los tipos de vermicomposta y el suelo franco arcilloso con vermicomposta (1:2), para el crecimiento de la Noa (<i>Agave victoriae-reginae</i>). UAAAN – UL, 2006.....	27
5	Resultados de “ANDEVA” cuadrados medios de las variables peso fresco total (PFT), peso seco total (PST), peso fresco de tallo y hoja (PFTH), peso seco de tallo y hoja (PSTH), peso fresco de raíz (PFR) y peso seco de raíz (PSR); para el crecimiento de noa (<i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore). UAAAN-UL, 2006.....	29
6	Valores promedio de las variables peso fresco de raíz (PFR) y peso seco de raíz (PSR), y significancia estadística para la prueba DMS (5%). UAAAN – UL, 2006.....	29
A1	Ecuaciones de regresión lineal y R^2 para las variables evaluadas en los diferentes sustratos en los que se desarrolló la noa (<i>Agave victoriae-reginae</i>).....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1	Localización de diez poblaciones probadas de <i>Agave victoriae-reginae</i> en el Desierto de Chihuahuense al Norte de México.....	21
2	Forma de la noa <i>Agave victoriae-reginae</i> , hábito de la planta.....	22
3	Estructura de la hoja de la noa <i>Agave victoriae-reginae</i> b) Cara de la hoja. c) Vista lateral de la hoja.....	23
4	Comportamiento de la variable peso promedio fresco total (PPFT) en la noa (<i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore), durante el vermicomposteo. UAAAN – UL, 2006.....	33
5	Comportamiento de la variable peso promedio seco total (PPST) en la noa (<i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore), durante el vermicomposteo. UAAAN – UL, 2006.....	34
6	Comportamiento de la variable peso promedio fresco de tallo y hoja (PPFTH) en la noa (<i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore), durante el vermicomposteo. UAAAN – UL, 2006.....	35
7	Comportamiento de la variable peso promedio seco de tallo y hoja (PPSTH) en la noa (<i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore), durante el vermicomposteo. UAAAN – UL, 2006.....	36

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater por darme la oportunidad de acogerme en su seno y permitir que me realizara profesionalmente.

A mis asesores por brindarme su apoyo, confianza y, darme un poco de su enseñanza y sabiduría en la realización de este proyecto:

Dr. Alejandro Moreno Reséndez

MC. Héctor Montaña Rodríguez

IQ. Elba Margarita Aguilar Medrano

Dr. José Luis Reyes Carrillo

También al **MC. César Guerrero Guerrero** por su paciencia, apoyo y ayudarme en la realización e interpretación en el análisis estadístico de éste proyecto.

A las encargadas del Laboratorio de Suelos por darme todas las facilidades para la realización de los análisis y así terminar satisfactoriamente este proyecto de investigación.

DEDICATORIAS

A Dios

Por darme la oportunidad de llegar a éste momento tan importante de mi vida y poderlo compartir con la gente que mas quiero.

A mis Padres

Agradezco la confianza que han depositado en mí, el apoyo en compartir logros y tropiezos sin pedir nada a cambio y el esfuerzo que han realizado durante toda mi vida, para que por fin llegara este momento. Gracias a ustedes ahora soy lo que soy y puedo continuar adelante por la vida. Y para ellos estas palabras:

*En la vida hay sentimientos
que no se pueden obviar,
que se aprenden con los años
y no se olvidan jamás.*

*Lo más bello es el amor,
el que se da de verdad,*

*el que no te pide nada,
el que se ofrece sin esperar.*

El amor de los padres.

A mis Hermanos

Por brindarme su apoyo, confianza, comprensión y paciencia, en este momento tan importe en mi vida.

A mis Amigos

No encontré otra forma mejor de decirles lo mucho que significan para mí, y se las digo con un pensamiento a todos los que sin condición y juzgarme me entregaron su amistad y su mano amiga:

*La amistad leal, sincera,
desinteresada, es la verdadera
comunidad de las almas. Es más
fuerte que el amor, porque éste suele
ser celoso, egoísta y vulnerable. La
amistad verdadera perdura y se
fortalece a través del tiempo y la
distancia.*

*No se necesita ver frecuentemente al
amigo para que la amistad perdure;
basta saber que éste responderá
cuando sea necesario, con un acto de
afecto, de comprensión y aún de
sacrificio.*

*La amistad no se conquista, no se
impone; se cultiva como una flor; se*

*abona con pequeños detalles de
cortesía, de ternura y de lealtad; se
riega con las aguas vivas de
desinterés y de cariño silencioso. La
felicidad del amigo nos da felicidad.*

*Sus penas se vuelven nuestras
porque hay un maravilloso lazo
invisible que une a los amigos. La
amistad es bella sobre toda
ponderación.*

A mi Ángel

Por brindarme tu apoyo incondicional y estar conmigo en los buenos y malos momentos que pasamos juntos, de esta forma te expreso lo mucho que te quiero y te amo:

*Un ángel me dio
Parte de su corazón,
Alzo vuelo con mi ilusión.*

*Un ángel me dio
Parte de su vivir con la dulce
esperanza
De unir nuestras almas al fin*

*Un ángel me dio
Una historia tierna sin fin,
De muchas vivencias aprendí
Que sin ti amor no puedo vivir.*

*Un ángel me dio
Todo su existir,
Me dio su pleno amor
Me dio su dulce voz
Me dio "El Amor".*

*Un ángel conocí,
Y me hace sentir
Que sin su amor
No podré vivir.*

I.- INTRODUCCIÓN

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) durante su proceso generan un subproducto llamado "lodo", que es un material semisólido, oscuro, con alto contenido de materia orgánica y nutrientes, que puede ser utilizado como abono en suelos deteriorados. Este subproducto, es resultado de un proceso de estabilización. Se le conoce como "biosólido" o en otros países como "sewage sludge" o "biosolid" (Jurado-Guerra y Luna-Luna, 2004).

En México el principal problema que afecta a los lodos es el alto contenido microbiológico que presentan (Barrios *et al.*, 2000). A pesar de esta problemática, gran parte de los lodos generados son descargados al drenaje o son desechados sin ningún tipo de tratamiento previo en presas, terrenos, o en las mismas plantas tratadoras y en el mejor de los casos han sido dispuestos en lagunas y rellenos sanitarios. Tomando en cuenta lo anterior, se genera una doble problemática: por una parte el vertido de lodos en sitios inadecuados puede generar severos problemas de contaminación, y por otro lado se están desperdiciando las propiedades benéficas de los lodos que pudieran ser aprovechadas en la agricultura o el mejoramiento de los suelos. Aparentemente, la causa de esta problemática es la falta de recursos para llevar a cabo el tratamiento de los lodos, pero adicionalmente existe una falta de normatividad que permita su reutilización adecuada. Actualmente se encuentra en evaluación el proyecto de norma NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2002), el cual establecerá los límites máximos permisibles de contaminantes en lodos para su aprovechamiento y disposición.

En la actualidad, los métodos de disposición utilizados para los lodos residuales son esencialmente basureros a cielo abierto, los rellenos sanitarios, el confinamiento controlado o la incineración. Los cuales provoca contaminación ambiental debido a los altos contenidos de organismos patógenos, metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos (Cardoso-Vigueros y Ramírez- Camperos, 2002). Sin embargo, los lodos residuales son ricos en elementos nutritivos como nitrógeno, fósforo y materia orgánica; por lo que una vez tratados de acuerdo a diversos reportes de investigación, pueden mejorar la productividad y fertilidad de los suelos agrícolas y forestales, por lo tanto los tratamientos de los bisólidos han sido considerados como alternativa de disposición final (Smernik *et al.*, 2003).

Para facilitar su manejo y evitar posibles problemas con el olor, los agentes patógenos y el contenido de compuestos tóxicos, los lodos deben ser tratados para realizar el tratamiento de los lodos. Existen diferentes métodos como la estabilización alcalina, la digestión aerobia y anaeróbica o el composteo. (Castro-Ruiz, 2006).

Los sistemas biológicos son más utilizado, el cual es la crianza de lombrices (vermicultura o lumbricultura) para estabilizar los lodos residuales (Ndewga y Thompson, 2001). La vermicomposta es un tipo de composta en la cual cierto tipo de lombrices de tierra, e.g., *Eisenia fetida*, transforman los residuos orgánicos en un subproducto estable denominado "vermicomposta" o "*worm casting*" (Soto y Muñoz, 2002).

El proceso de vermicomposteo soporta complejas cadenas alimenticias, y al mismo tiempo, modifica diferentes formas químicas de diversos elementos nutritivos en compuestos orgánicos duraderos, los cuales son de importancia para la dinámica de los elementos nutritivos (Domínguez *et al.*, 1997). Por lo tanto, sus propiedades fisicoquímicas y biológicas parecen ser de mejor calidad para el crecimiento de las plantas (Atiyeh *et al.*, 2000a; Gajalakshmi *et al.*, 2001).

Las vermicompostas comparadas con sus materiales originales, tienen reducidas cantidades de sales solubles, mayor Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), y un creciente contenido de ácidos húmicos totales. También contienen sustancias biológicamente activas tales como reguladores de crecimiento vegetal, que estimulan el crecimiento de las plantas e impiden la proliferación de organismos patógenos (Atiyeh *et al.*, 2000b).

Dentro de las especies botánicas con mayor grado de amenaza para su supervivencia se encuentra la noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore) que es de gran relevancia en la flora nacional y en particular en la Comarca Lagunera, por su nivel de endemismo y por el papel que desempeña en la estructura y función de los ecosistemas áridos del país. Por otro lado la destrucción del hábitat y el saqueo de ejemplares con fines comerciales son dos de las causas de la devastación de esta especie, por lo que la reproducción sexual de la misma, mediante el preacondicionamiento artificial de las semillas, se plantea como alternativa para contrarrestar los efectos de factores adversos que inciden en la propagación y su conservación. Su madurez sexual depende de las condiciones ambientales y fluctúa entre 20 – 35 años, produciendo aproximadamente 2,000 semillas·planta⁻¹ (Hernández *et al.*, 2001).

Los lodos vermicomposteados facilitarán por lo anteriormente señalado y debido a que diversos autores sugieren que la vermicomposta puede ser utilizada como sustrato de crecimiento vegetal debido a sus composiciones nutritivas y a sus propiedades físico-químicas, con el presente trabajo se pretende:

1.1 Objetivo General

Evaluar el desarrollo de la noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore), utilizando lodos vermicomposteados como sustrato de crecimiento.

1.2 Metas

Generar sustratos para el crecimiento vegetal que faciliten el desarrollo de las especies vegetales a partir de lodos residuales y empleando lombrices para su transformación.

1.3 Hipótesis

Los lodos vermicomposteados facilitarán el desarrollo de la noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore).

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generación de biosólidos

De las 911 plantas de tratamiento instaladas en México, de acuerdo al Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, elaborado por la Comisión Nacional del Agua, 31% de capacidad de tratamiento son de menos de $60 \text{ L}\cdot\text{seg}^{-1}$ (Cardoso-Vigueros y Ramírez- Camperos, 2002). Los biosólidos pueden ser de tipo doméstico o industrial, dependiendo de la procedencia de las aguas residuales, donde los primeros contienen menos contaminantes; también pueden ser de tipo aeróbico cuando se realiza un tratamiento de digestión con bacterias, y de tipo anaeróbico, que aunque costoso, es más eficaz para disminuir la cantidad de patógenos. Los biosólidos también pueden ser líquidos, deshidratados o secos, de acuerdo a su contenido de humedad y como resultado de los procesos en las PTAR (Jurado-Guerra y Luna-Luna, 2004).

En los distintos procesos de tratamiento de aguas residuales se generan lodos que en principio corresponden al residuo de la actividad depuradora de las aguas residuales (Cisterna y Alvarado, 2006). Los lodos de una depuradora de aguas residuales se pueden definir como cualquier sólido, semisólido o líquido generado por planta municipal, comercial o industrial de tratamiento de aguas residuales (Sastre, 1995).

El 90% de los lodos provienen de una gran variedad de industrias, principalmente de las industrias textiles, y el resto de origen doméstico. Los residuos de cada compañía deben cumplir con los siguientes requisitos: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) menor de $1,000 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, contenido de lípidos menos de $150 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ y contenido de fenoles menos de $1 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Contreras-Ramos y Escamilla-Silva, 2005).

La generación de estos biosólidos, en las PTAR da origen a uno de los problemas más complicados que debe enfrentar la gestión de tratamiento y depuración de las aguas residuales, que es la disposición de éstos. Para la disposición de los lodos se requiere que estos materiales cumplan determinados requisitos, que son fundamentalmente: NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2002), el cual establecerá los límites máximos permisibles de contaminantes en lodos para su aprovechamiento y disposición; una adecuada estabilización y deshidratación (Cisterna y Alvarado, 2006).

Para que los biosólidos sean aprovechados como mejorador de suelo y fertilizante, deben ser declarados "no peligrosos" para el ambiente, en base al análisis CRETIB (corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico-infeccioso) de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) de la SEMARNAT (Jurado-Guerra y Luna-Luna, 2004).

2.2 Características de los lodos o biosólidos

Los biosólidos contienen un alto porcentaje de humedad, materia orgánica (MO) y elementos nutritivos para las plantas: como nitrógeno (N) y fósforo (P); sin embargo, su composición varía diariamente (Jurado-Guerra y Luna-Luna, 2004). Las características externas como el color, aspecto y olor facilitan el conocimiento del estado de los lodos (Kiely, 1999).

2.2.1 Generación de olores

Las formas orgánicas e inorgánicas del azufre, los mercaptanos, el amoníaco, las aminas y los ácidos grasos orgánicos se conocen como los compuestos causantes de los olores más desagradables asociados con la producción de lodos o biosólidos. Estos compuestos son liberados, típicamente por el calor, la aireación y la digestión. Los olores varían según sea el tipo de sólidos residuales procesados y el método de proceso. La digestión anaerobia de los residuos primarios del agua residual produce Sulfuro de Hidrógeno y otros gases que contienen

azufre, mientras que la estabilización alcalina de los sólidos libera al aire el amoníaco junto con otros compuestos volátiles (EPA, 2000).

2.3 Peligrosidad de los lodos o biosólidos

Los lodos generados en el tratamiento del agua residual son considerados residuos peligrosos, de acuerdo con lo establecido en la NOM-052-ECOL-1993 "Características de los Residuos Peligrosos, el Listado de los Mismos y los Límites que hacen un Residuo Peligroso por su Toxicidad al Ambiente" (DOF, 1993). Sin embargo, estos lodos poseen características benéficas las cuales pueden ser aprovechadas (Barrios *et al.*, 2000).

Las rutas principales para su disposición que pueden seguir las sustancias peligrosas contenidas en los lodos de desecho son por el suelo o por lixiviado hasta alcanzar un cuerpo de agua. Los mecanismos importantes son (Cardoso-Vigueros y Tomasini, 2000):

- Solubilidad
- Lixiviación
- Adsorción / Desorción
- Volatilización
- Contacto Directo

2.4 Manejo y disposición de lodos o biosólidos

Es bien conocido que los suelos degradados son deficientes en materia orgánica. Adicionalmente, la actividad humana genera una gran cantidad de residuos orgánicos urbanos que demandan disposición (Gil y de Andrés, 2001).

Una desventaja del uso de biosólidos, es que el contenido de nutrientes esenciales para las plantas es muy variable debido a cambios de concentraciones del influente a la planta de tratamiento y a cambios en la actividad microbiológica y química de la misma. Las dosis de aplicación suelen fijarse en función de los requerimientos del cultivo en nitrógeno y fósforo, tomando en cuenta que la productividad del suelo aumenta a

causa de la mineralización de la materia orgánica y la liberación de nutrientes (Hernández-Herrera *et al.*, 2005).

La NOM – 004 – SEMARNAT – 2002, contiene los lineamientos para el manejo y disposición de lodos y biosólidos en México. Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana los biosólidos se clasifican de acuerdo al tipo: excelentes y buenos en función de su contenido de metales pesados (cuadro 1); y en clases (cuadro 2) en función de su contenido de organismos patógenos y parásitos (DOF, 2003).

Cuadro 1. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos, en base seca.

Contaminante (determinados en forma total)	Excelentes (mg kg ⁻¹)	Buenos (mg kg ⁻¹)
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

Cuadro 2. Los límites máximos permisibles para organismos patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos.

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
nbsp;	Coliformes fecales NMP g ⁻¹ en lodo base seca	Salmonella spp. NMP g ⁻¹ en lodo base seca	Huevos de helmintos g ⁻¹ en lodo base seca
A	< 1,000	< 3	< 1 (a)
B	< 1,000	< 3	< 10
C	< 2,000,000	< 300	< 35

* NMP = número más probable

(a) huevos de helmintos variables

El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en el cuadro 3 (NOM-004-SEMARNAT-2002).

Cuadro 3. Aprovechamiento de Biosólidos.

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	<ul style="list-style-type: none">• Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación.• Los establecidos para clase A y B.
Excelente o bueno	B	<ul style="list-style-type: none">• Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación.• Los establecidos para clase C.
Excelente o bueno	C	<ul style="list-style-type: none">• Usos forestales.• Mejoramientos de suelos.• Usos agrícolas.

Las tres opciones más importantes para el uso y la disposición final de biosólidos son la confinación en rellenos sanitarios, la incineración, y la reutilización en agricultura y bosques. La disposición en rellenos sanitarios y la incineración, a pesar de su viabilidad, representan un riesgo de contaminación para el suelo, las aguas subterráneas y el aire, además de que representa un desperdicio de elementos nutritivos, que pueden ser reutilizados en la agricultura, pastizales o bosques. El cumplimiento de las nuevas leyes y normas ambientales sobre tratamiento de aguas residuales; permitirán un aumento en la generación de biosólidos a nivel nacional e internacional. Esto obliga a la búsqueda de mejores alternativas para el aprovechamiento de los biosólidos en términos económicos, sociales y ambientales. La "United States Environmental Protection Agency" (USEPA) recomienda realizar las siguientes prácticas de manejo para el uso de los biosólidos en agricultura, incluyendo pastizales (Jurado-Guerra y Luna-Luna, 2004):

1. Restricción en sitios inundados, congelados o cubiertos de nieve para evitar contaminación de agua.
2. No aplicar biosólidos a una distancia de 10 m o menos de cualquier fuente de agua.
3. No exceder la dosis agronómica de nitrógeno.
4. Etiquetar envases y contenedores de biosólidos.

2.5 Alternativa de tratamiento de lodos o biosólidos

Los Lodos residuales son tratados adicionalmente porque se pretende incorporarlos al suelo como abono orgánico o bien, para disponerlos sin comprometer la salud pública y el ambiente De acuerdo con la Norma 503 de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), los Estándares para la Aplicación y Disposición de Lodos de Aguas Residuales 40 CFR (Standards for the Use and Disposal of Sewage Sludge) (EPA, 2000), y con la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, se requiere que los sólidos de las aguas residuales sean considerados "no peligrosos" en base al análisis CRETIB de la Norma Oficial Mexicana NOM – 052 – SEMARNAT – 2003 "Características de los Residuos Peligrosos, el Listado de los Mismos y los Límites que hacen un Residuo Peligroso por su Toxicidad al Ambiente" (Cardoso-Vigueros y Ramírez-Camperos, 2002).

Las diferentes alternativas para el tratamiento de lodos residuales facilitan su manejo y reduce los costos derivados de la generación de este residuo. Estas alternativas de tratamiento se clasifican en métodos físicos, químicos, térmicos y biológicos (Kiely, 1999; EPA, 2000; Cortez-Cádiz, 2003).

2.5.1 Tratamientos físicos

- **Espesamiento**

El espesamiento de los lodos se emplea para concentrar el contenido sólido del lodo, mediante la eliminación en parte de su fracción líquida, consiguiendo una disminución importante en su volumen. Esta operación se lleva a cabo por gravedad, flotación, centrifugación y filtros de banda por gravedad (Kiely, 1999).

- **Desecado**

Consiste en la remoción de agua de los lodos tanto como sea posible, reduciendo el volumen a tratar en operaciones subsecuentes. La técnica se basa en la evaporación y percolación natural, o en la aplicación de medios mecánicos como filtros, centrifugas, canchas de secado y

lagunaje. En el caso de los biosólidos se requiere un acondicionamiento previo antes de desaguarlos (EPA, 2000).

2.5.2 Tratamientos químicos

- **Acondicionamiento Químico**

Para realizar el acondicionamiento químico de los lodos se reduce la humedad de un 90 – 99% a un 65 – 85% dependiendo de la naturaleza de los sólidos a tratar. Esto permite la coagulación de los sólidos y la liberación del agua absorbida, por lo cual se efectúa antes de las operaciones de deshidratación. Entre los productos químicos para este tipo de acondicionamiento más utilizados se encuentran el cloruro férrico, la cal, la alúmina y polímeros orgánicos. Su dosificación debe ser en forma líquida, con lo cual algunos reactivos requieren ser previamente disueltos antes de ser incorporados (Metcalf y Eddy, 1996; EPA, 2000).

- **Estabilización con óxido de calcio o cal**

Consiste básicamente en aumentar y mantener los lodos a pH 12 mediante la adición de cal. Como consecuencia de ello, no se degradará la materia orgánica contenida en los biosólidos, no se generarán olores y se combatirá la existencia de microorganismos patógenos. Existen dos métodos de estabilización con cal, uno se realiza antes de la deshidratación (pretratamiento con cal) y otro después de ella (postratamiento con cal). Para la estabilización se suele utilizar cal viva y cal hidratada (EPA, 2000; Cortez-Cádiz, 2003).

2.5.3 Tratamientos térmicos

- **Secado térmico**

Permite eliminar el agua contenida en los lodos residuales mediante la aplicación de calor externo. El producto resultante contiene prácticamente todo el material sólido y su contenido de humedad es del orden del 5% al 10% (Jiménez-Cisneros, 2002).

- **Incineración**

Se realiza una oxidación química con cantidades estequiométricas de oxígeno en exceso. Los productos finales incluyen gases calientes de combustión (nitrógeno, anhídrido carbónico, dioxinas y furanos, y vapor de agua) y los lodos se convierten en ceniza (Metcalf y Eddy, 1996; Jiménez-Cisneros, 2002).

- **Oxidación por vía húmeda**

Consiste en la oxidación del lodo crudo por vía húmeda a presión y temperatura elevada (entre 175 a 315°C). Este proceso genera como residuos gases, líquidos y cenizas. Los líquidos y las cenizas se reciclan para calentar los lodos y luego se extraen ya estabilizados en forma separada para posteriormente enfriados (Kiely, 1999; Jiménez-Cisneros, 2002).

2.5.4 Tratamientos biológicos

- **Digestión anaerobia**

Es uno de los procesos más utilizados para el tratamiento de lodos residuales, en donde la degradación de la materia orgánica e inorgánica ocurre en ausencia del oxígeno y se genera biogás. Existen diversos métodos de digestión anaerobia (Metcalf y Eddy, 1996; Serrano-Espinosa, 1997; Cortez-Cádiz, 2003):

- Digestión convencional: se realiza en el intervalo mesófilo de temperaturas entre los 30 y 38°C.
- Digestión de una sola fase y carga alta: este proceso difiere del anterior porque la carga de sólidos en el lodo es mucho mayor y no produce una separación de biosólidos y sobrenadante.
- Digestión en dos fases: consiste en una acción combinada entre un digestor de alta carga y un estanque, que sirve para almacenar los lodos bombeados del digestor de carga alta y para concentrar los lodos digeridos, formando un sobrenadante clarificado.

- Digestión anaeróbica termofílica: se produce a temperaturas situadas entre los 49 y 57°C, proporcionando condiciones adecuadas para la actividad de bacterias termofílicas.

- **Digestión Aeróbica**

Corresponde a la estabilización de la materia orgánica mediante el suministro de aire (oxígeno), obteniéndose como producto anhídrido carbónico (CO₂), amoníaco (NH₃) y agua (no genera biogás). Es aplicable a biosólidos, mezclas de biosólidos con lodos primarios y lodos no desarenados (Serrano-Espinosa, 1997; Cortez-Cádiz, 2003).

- **Composteo**

Consiste en una bio-oxidación acelerada de la materia orgánica, en donde se incluye una etapa termofila (45 – 65°C) a través de la cual los microorganismos participantes liberan calor, dióxido de carbono y agua (Domínguez *et al.*, 1997; Cameron *et al.*, 2004).

De manera adicional se puede señalar que recientemente se ha generado interés por emplear un método de composteo relacionado con el proceso de estabilización de residuos orgánicos que no incluyen la etapa termofílica, pero que involucra el uso de lombrices para descomponer y estabilizar los residuos orgánicos. Este método es el vermicomposteo (Atiyeh *et al.*, 2000a).

- **Vermicomposteo**

El término vermicomposteo se refiere al uso de lombrices para compostear residuos orgánicos. Se trata de un proceso de descomposición aerobio de bioxidación y estabilización no termofílica de desechos orgánicos, que dependen de las lombrices de tierra para fragmentar, mezclar y promover la actividad microbiana (Ndewga y Thompson, 2001).

El vermicomposteo es una tecnología innovadora para el tratamiento de lodos residuales en México, en donde existen experiencias en el

tratamiento de basura orgánica y residuos de café (Aranda, 1977). La tecnología del vermicomposteo resulta interesante debido a que por mucho tiempo se pensó que la degradación de desechos orgánicos la realizaban sólo microorganismos, pero actualmente se sabe que otros organismos más complejos e.g. las lombrices de tierra también participan activamente en la descomposición de estos residuos. Esto aunado a la tecnificación que se ha logrado en la lombricultura, ha dado origen a la tecnología del vermicomposteo, que está enfocada más a la producción de vermicomposta que a la producción de lombrices. En el vermicomposteo se hace una mezcla de desechos orgánicos que sirven de alimento a lombrices. Cuando un desecho es muy tóxico se puede precompostear y después la composta fresca usarse como alimento de lombriz. En pequeñas plantas con lodos domésticos, el lodo se puede usar directamente como alimento de lombrices, mezclándolo de preferencia con residuos de jardín, lirio acuático o algún otro residuo disponible (Cardoso-Vigueros y Ramírez- Camperos, 2002).

En términos generales, existen tres clases principales de residuos orgánicos apropiados para el proceso de vermicomposteo: residuos de origen animal, residuos de plantas, y residuos urbanos. El patrón de crecimiento de las lombrices e.g. *Eisenia fetida* en diferentes residuos orgánicos ha sido investigado por diversos autores bajo condiciones de laboratorio. Entre los diferentes materiales que se han utilizado como sustrato para el desarrollo de lombrices *Eisenia fetida* se destacan los estiércoles de vaca, patos, caballos, cerdos, de aves de corral, conejo y borregos, también se han utilizado residuos de plantas (pastos composteados, recortes municipales, malezas de ríos, de especies vegetales, café molido) y residuos municipales (biosólidos, y sobrantes de restaurantes y supermercados) (Gunadi y Edwards, 2003).

2.6 Papel de las lombrices en el vermicomposteo

Las lombrices de tierra son consumidores voraces de residuos orgánicos y aun cuando sólo utilizan una pequeña porción para la síntesis de sus

cuerpos, ellas excretan una gran parte de los residuos consumidos en una forma medio digerida. Puesto que los intestinos de las lombrices contienen una amplia gama de microorganismos, enzimas, hormonas, etc., éstos materiales medio digeridos se descomponen rápidamente y son transformados a una forma de vermicomposta en un período de tiempo corto (Ghosh *et al.*, 1999).

Las lombrices, durante el proceso de alimentación, fragmentan los residuos, incrementan la actividad microbiana y los índices de descomposición y/o mineralización de los residuos orgánicos, alteran las propiedades físicas y químicas de los materiales, provocando un efecto de composteo o humificación mediante el cual la materia orgánica inestable es oxidada y estabilizada. El producto final, comúnmente llamado vermicomposta es obtenido conforme los residuos orgánicos pasan a través del intestino de la lombriz, y es bastante diferente al material original (Atiyeh *et al.*, 2000c). Además, se ha demostrado que bajo la acción de las lombrices se incrementa tanto la velocidad de mineralización del N como los índices de conversión del $N-NH_4^+$ a $N-NO_3^-$ (Atiyeh *et al.*, 2000b; Atiyeh *et al.*, 2002).

Atiyeh *et al.*, (2000b) adicionalmente han establecido que la aplicación de lombrices a los residuos orgánicos acelera la estabilización de estos materiales en términos de descomposición y mineralización de la materia orgánica, generando un medio más apropiado para el crecimiento de la planta. Debido a lo anterior, el empleo de las lombrices de tierra en la descomposición de una amplia gama de residuos orgánicos, incluyendo lodos de aguas negras, desechos de animales, residuos de cultivos, y residuos industriales, para generar vermicompostas se ha incrementado de manera considerable (Atiyeh *et al.*, 2002).

2.7 Características de la vermicomposta

La vermicomposta, en términos generales posee las siguientes características: es un material de color oscuro, con un agradable olor a mantillo de bosque, su gran bioestabilidad evita su fermentación o

putrefacción, contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que incrementa la solubilidad de los elementos nutritivos, liberándolos en forma paulatina, y facilitando su asimilación por las raíces e impide que éstos sean lixiviados con el agua de riego manteniéndolos disponibles por más tiempo en el suelo favoreciendo la germinación de las semillas y el desarrollo de las plantas. Incrementa la superficie activa de las partículas minerales favoreciendo la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de los suelos. Favorece e incrementa la actividad biótica del suelo. Su acción antibiótica aumenta la resistencia de las plantas en contra de plagas, enfermedades y organismos patógenos. Se puede utilizar sin inconvenientes en estado natural y se encuentra libre de nematodos. Los ácidos húmicos y fúlvicos que contiene regeneran las características químicas del suelo y, al igual que cierto tipo de hormonas de crecimiento, favorecen el desarrollo de las especies vegetales. Posee un pH neutro y mejora las características estructurales del terreno, desliga suelos arcillosos y agrega suelos arenosos. Durante el transplante previene enfermedades y evita el choque por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad. Amortigua el efecto de los compuestos químicos aplicados al suelo. Aumenta la retención hídrica de los suelos desde un 4 – 27% disminuyendo el consumo de agua por los cultivos (Edwards y Steele, 1997; Farrell, 1997; Jensen, 1997; Riggle, 1998; Eastman, 1999; Atiyeh *et al.*, 2000a; Brown *et al.*, 2000; Buck *et al.*, 2000; Ndegwa *et al.*, 2000; Gajalakshmi *et al.*, 2001; Atiyeh *et al.*, 2002; Canellas *et al.*, 2002; Pereira y Zezzi-Arruda, 2003).

La vermicomposta se caracteriza por estar conformada por materiales finamente divididos como el Peat moss con gran porosidad, aireación drenaje, capacidad de retención de humedad. Además presenta una gran área superficial, la cual le permite adsorber y retener fuertemente los elementos nutritivos, los cuales se encuentran en formas que son fácilmente asimilables para las plantas tales como los nitratos, el fósforo intercambiable, potasio, calcio y magnesio solubles. En consecuencia, las vermicompostas pueden tener un gran potencial en las industrias

hortícolas y agrícolas como sustrato para el crecimiento de las especies vegetales (Atiyeh *et al.*, 2000a; Atiyeh *et al.*, 2000b).

Adicionalmente, las vermicompostas, comparadas con sus materiales originales, tienen reducidas cantidades de sales solubles, y un creciente contenido de ácidos húmicos totales. También contienen sustancias biológicamente activas tales como reguladores de crecimiento vegetal, que estimulan el crecimiento de las plantas e impiden la proliferación de organismos patógenos. (Atiyeh *et al.*, 2000b) Por lo tanto, sus propiedades fisicoquímicas y biológicas parecen ser de mejor calidad para el crecimiento de las plantas que las propiedades de los materiales que dan origen a la vermicomposta (Atiyeh *et al.*, 2000a; Gajalakshmi *et al.*, 2001).

Según Edwards y Steele (1997) entre los reguladores de crecimiento contenidos en la vermicomposta se destacan:

1. *Auxinas*, que provoca el alargamiento de las células de los brotes, incrementa la floración, la cantidad y dimensión de los frutos.
2. *Giberelinas*, favorece el desarrollo de las flores, la germinación de las semillas y aumenta la dimensión de algunos frutos.
3. *Citocininas*, retarda el envejecimiento de los tejidos vegetales, facilita la formación de los tubérculos y la acumulación de almidones en ellos.

El pH neutro de la vermicomposta la hace sumamente confiable para ser aplicado a plantas delicadas. Transmite directamente del terreno a la planta fitohormonas sustancias producidas por el metabolismo secundario de las bacterias, que estimulan los procesos biológicos de la planta (Edwards y Steele, 1997).

2.7.1 Características físicas de la vermicomposta

El efecto de la vermicomposta es muy favorable sobre la estructura del suelo. Según Reines, (1998) la agrupación de las partículas en agregados de tamaño medio le imprime las siguientes características del suelo:

- Incrementa la circulación del agua y el aire.
- Aumento de la permeabilidad.
- Mayor retención de agua.
- Menor cohesión del suelo.
- Mejora los suelos arcillosos y arenosos.
- La vermicomposta no expide olores.

2.7.2 Características químicas de la vermicomposta

2.7.2.1 pH

El pH desempeña un papel fundamental para la solubilidad y la disponibilidad de los metales pesados. Debe mantenerse entre 5 y 9 para la supervivencia de la especie. El incremento en el pH del suelo disminuye la disponibilidad de los metales por medios de reacciones de precipitación o adsorción. Además, varios elementos nutritivos se ven afectados por el pH del medio en que se encuentren; los más importantes son al fósforo y la mayoría de los microelementos, especialmente hierro, manganeso, cobre, zinc y boro; cuya solubilidad disminuye en pH básico (Capistrán *et al.*, 1999).

2.7.2.2 Conductividad Eléctrica (CE)

La CE de un suelo o sustrato es la medición de su salinidad relativa o el promedio de las sales solubles presentes expresadas en unidades de mS cm^{-1} . Las sales solubles presentes como calcio, magnesio, potasio, sodio, cloruros, nitratos y fosfatos, controlan la presión osmótica de la solución del suelo; si se encuentran en altas concentraciones provocan condiciones adversas para el desarrollo de las plantas, principalmente debido al aumento de la presión osmótica de la solución del suelo (Capistrán *et al.*, 1999; García y Dorronsoro, 1999).

2.7.2.3 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Es el número de cationes disponibles en una cantidad de suelo, expresado en miliequivalentes 100 g^{-1} suelo. Estos cationes son elementos nutritivos como aluminio, magnesio, potasio, sodio y calcio; cuya concentración depende de la cantidad de materia orgánica presente en el sustrato. Un incremento en la CIC pierde traducirse como un aumento en la cantidad de elementos disponibles en la vermicomposta, así como en su fertilidad y contenido de materia orgánica (Capistrán *et al.*, 1999).

2.7.2.4 Materia Orgánica (MO)

El porcentaje de MO presente en la vermicomposta está estrechamente vinculado con su fertilidad, ya que influye en la CIC del suelo. Los principales elementos nutritivos como el nitrógeno, azufre y boro, se derivan casi totalmente de la MO en descomposición. La fracción de la MO más resistente a esta descomposición es llamada *humus*, compuesta principalmente por lignina, aminoácidos, carbohidratos, celulosa, grasas y resinas. Aprox., el 56% del humus es carbón, el 35% oxígeno, el 3.5% hidrógeno y el 5% nitrógeno (Capistrán *et al.*, 1999; Ndeuga y Thompson, 2001).

2.7.2.5 Relación Carbono:Nitrógeno (C:N)

La relación C:N es de suma importancia para el desarrollo de la población microbiana presente en el vermicomposteo. Su disminución durante el composteo se debe al consumo de carbono y nitrógeno por parte de la población microbiana presente en el proceso; lo que puede presentarse como un aumento en el grado de fermentación del residuo orgánico (Capistrán *et al.*, 1999; Ndeuga y Thompson, 2001).

2.8 La vermicomposta en el desarrollo de las especies vegetales

Los estudios con vermicompostas han demostrado consistentemente que estos materiales tienen efectos benéficos sobre el crecimiento de la planta, independientemente de las transformaciones y la disponibilidad de los elementos nutritivos. Cuando las vermicompostas se han utilizado

como mejoradores del suelo o como componentes hortícolas, éstas han mejorado consistentemente la germinación de las semillas, el incremento en el crecimiento y desarrollo de las plántulas, y una creciente productividad de la planta, mucho más de la que pudiera ser posible de la mera conversión de los elementos minerales en formas más accesibles para la planta (Atiyeh *et al.*, 2002).

Las posibles variables asociadas con el hecho de que la vermicomposta pueda ser en parte responsable del incremento en el crecimiento de los cultivos, incluyen la fertilidad, el ajuste del pH, las propiedades físicas del sustrato, la actividad microbiana y/o los componentes de la materia orgánica (McGinnis *et al.*, 2004).

Por lo tanto, parece muy probable que las vermicompostas, las cuales consisten de una amalgama de heces de lombrices humificadas y materia orgánica, estimulan el crecimiento de la planta más allá del generado por los elementos nutritivos minerales, debido a los efectos de las sustancias húmicas presentes en las vermicompostas o debido a los reguladores de crecimiento de la planta asociados con los ácidos húmicos (Atiyeh *et al.*, 2002).

2.9 Noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore)

2.9.1 Historia natural

El *Agave victoriae-reginae*, nombrada así por Thomas Moore en el 1875, cuyo nombre fue asignado en honor a la Reina Victoria de Inglaterra y tiene su centro de origen en México, debido a que en este país se encuentran distribuidas la mayoría de las especies de este género. El *Agave victoriae-reginae* es una especie endémica de México, en peligro de extinción. Existen únicamente 10 regiones distribuidas en los estados de Coahuila, Durango y Nuevo León (Martínez-Palacios, 1998; Eguiarte, *et al.*, 1999), entre los 100° y 104° longitud oeste y 25° y 27° latitud norte (Figura 1), en localidades muy donde se desarrolla esta especie de *Agave victoriae-reginae* específicas debido a que crece en afloramientos de carbonato de calcio sobre paredes verticales (Gentry, 1982).

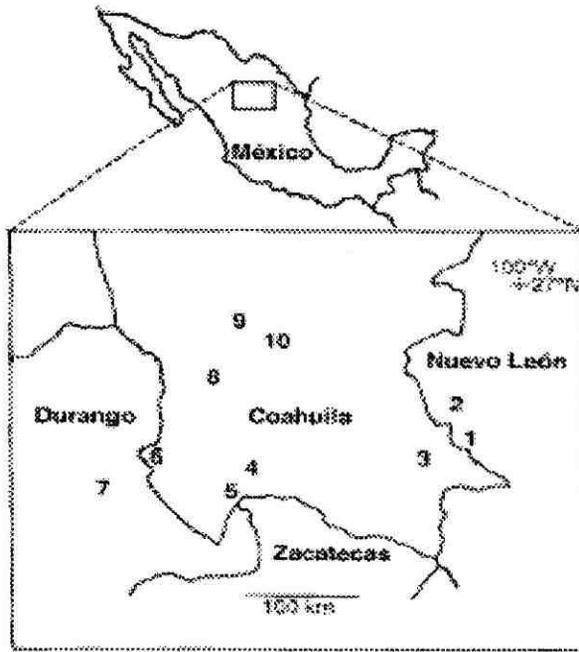


Figura 1. Localización de diez regiones probadas de *Agave victoriae-reginae* dentro del Desierto de Chihuahuense al Norte de México. (Gentry, 1982).

El *Agave victoriae-reginae* presenta una distribución discontinua en forma de islas con poblaciones pequeñas. Martínez-Palacios (1998) y Gentry (1982), mencionan que el, tiene un bajo nivel de clonación, la especie se reproduce únicamente por semilla. El área de distribución del *Agave victoriae-reginae* esta restringida a tres cuadros de 1° de latitud por 1° de longitud, que representan, en teoría, una superficie de 30 000 km², lo que la convierte en una especie microendémica (García-Mendoza, 1995).

2.9.2 Taxonómica de *Agave victoriae-reginae* T. Moore

La familia Agaveceae fue propuesta por Endlicher en 1846, quien la formó tomando como tipo nomenclatura al género *Agave*. No fue hasta la publicación de Hutchinson, en 1964, que se les tomó como género a partir de esa fecha (García-Mendoza, 1995).

Agave es un término derivado de una palabra griega que significa "admirable", corresponde al nombre genérico de plantas rizomatosas

prolongadas en un tallo erguido, con hojas radicales o apicales generalmente fibrosas (Mitton y Grant, 1994).

Posición taxonómica de *Agave victoriae-reginae* T. Moore (Gentry, 1982).

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Liliales
Familia:	Agavaceae
Nombre científico:	<i>Agave victoriae-reginae</i> T. Moore, 1875
Sinónimos científicos:	<i>Agave consideranti</i> Carr. 1875 <i>Agave fernandi-regis</i> Berger. 1915 <i>Agave nickelsii</i> R. Gosselin. 1895

2.9.3 Descripción de la especie *Agave victoriae-reginae*

El *Agave victoriae-reginae* son plantas pequeñas, Estas plantas forman una gran roseta (Figura 2), hojas gruesas y carnosas, generalmente terminadas en una afilada aguja en el ápice y, a menudo, también con márgenes espinosos (Figura 3). El robusto tallo leñoso suele ser muy corto, por lo que las hojas aparentan surgir de la raíz (García-Mendoza, 1995).

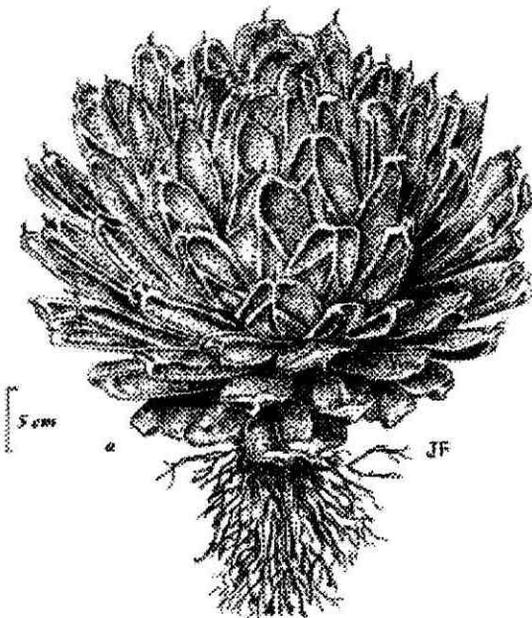


Figura 2. Forma de la roseta de *Agave victoriae-reginae*, hábito de la planta (Breitung 1960).

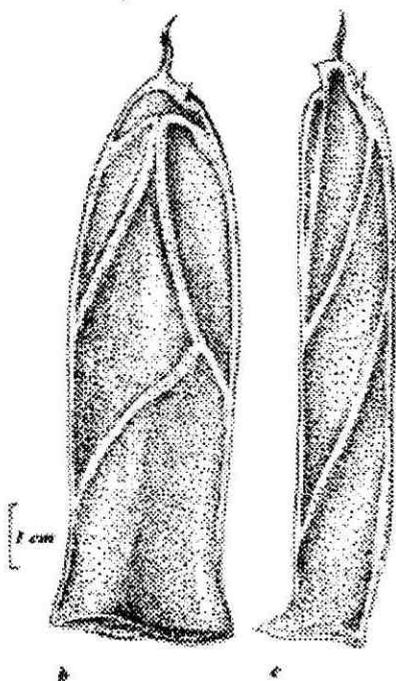


Figura 3. Estructura de la hoja de la noa *Agave victoriae-reginae* b) Cara de la hoja. c) Vista lateral de la hoja. (Breitung 1960).

El *Agave victoriae-reginae* requieren un clima semiseco con temperatura promedio de 20 °C, generalmente a una altitud entre 1.500 y 2.000 metros sobre el nivel del mar (msnm). Las condiciones del suelo: arcilloso, permeable y abundante en elementos derivados del basalto y riqueza en hierro, preferentemente volcánico. Es muy importante la exposición al sol, y no debe haber más de 100 días nublados al año y preferentemente solo 65 (Martínez-Palacios, 1998).

La reproducción se puede dar por semilla o bulbillo o más eficientemente mediante rizomas, es decir transplantando los hijuelos que brotan de la raíz de la planta. Al alcanzar una altura de 50 cm y cuando el corazón es del tamaño de una toronja, se desprenden de la planta madre cortándolos con un barretón. Su madurez sexual depende de las condiciones ambientales y fluctúa entre 20 – 35 años, produciendo aproximadamente 2000 semillas por planta, con un grado de germinación del 90%, pero la

supervivencia de plántulas en el campo no llega a los tres meses, por la escasez de humedad (Gentry, 1982).

2.9.4 Tamaño Poblacional

Martínez-Palacios (1998) determinó el tamaño promedio de las poblaciones de *Agave victoriae-reginae* existentes en México, encontrando que los grupos del centro de las poblaciones son más pequeños; con densidad promedio de $0.47 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$, la población más grande se estimó con un total de 574,000 individuos con una densidad de $0.70 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ y la población más pequeña con $864 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$; el diámetro promedio general estimado de la población fue de 11.20 cm; el porcentaje de reproductores general estimado fue de $0.00131 \text{ reprod}\cdot\text{m}^{-2}$; la producción de frutos por planta es de 298-1,895, la producción de semilla por planta reproductiva es alta, con un promedio superior a $50,000 \text{ sem}\cdot\text{pl}^{-1}$, y el porcentaje de germinación arriba del 90%.

2.9.5 Situación actual del hábitat con respecto a las necesidades de la especie

Las zonas áridas de México revisten importancia por ocupar más del 50% de superficie total del territorio nacional con este tipo de clima, caracterizándose por la baja precipitación y la gran diversidad de plantas que a través del tiempo y espacio se han adaptado a condiciones de poca humedad, altas temperaturas y suelos infértiles entre otras. Aún con estas limitantes las plantas de zonas áridas han llegado a tener importancia alimenticia, ornamental y medicinal. El factor principal que ha alterado las poblaciones silvestres de *Agave victoriae-reginae* es la colecta de plantas con fines ornamentales, pues esta especie alcanza altos valores en el mercado internacional (SEDESOL, 1994).

Los reportes que sitúan a la especie en peligro de extinción, citan una distribución geográfica restringida, decomisos y registros de colecta, exportadas por la frontera norte, entre las cuales se encuentran Agaves

como *Agave victoriae-reginae* y de igual forma se hace con otras especies endémicas mexicanas de las familias *Cactaceae*, *Cycadaceae*, *Orchidaceae*, *Euphorbiaceae*, etc. Que tienen una elevada demanda en el mercado internacional (Martínez-Palacios, 1991).

Dentro de las especies botánicas con mayor grado de amenaza en su sobrevivencia se encuentra el *Agave victoriae-reginae* que es de relevancia en la flora nacional y en particular en la región de la Comarca Lagunera, por su nivel de endemismo y por el papel que desempeña en la estructura y función de los ecosistemas áridos del país. La reproducción sexual de esta especie, mediante el precondicionamiento artificial de la semilla, para estimular germinación y obtener plántulas para su reintroducción y rehabilitación de áreas, se plantea como alternativa para contrarrestar los efectos de factores adversos que inciden en la propagación y su conservación (Hernández-Cruz *et al.*, 2000).

Por su endemismo y su crítica situación ha sido catalogada en peligro de extinción por las autoridades de México (SEDESOL, 1994). Revisiones bibliográficas muestran que existen pocas investigaciones en relación a *Agave victoriae-reginae* y no existen estudios sobre su genética y ecología que determinen el estado de alteración de las poblaciones silvestres. La reducción y fragmentación de la población de una especie causa pérdidas de la variabilidad genética, con la consecuente disminución de la adaptabilidad a los cambios y por lo tanto de su potencialidad para sobrevivir al efecto de las alteraciones del ambiente (Vázquez-Yáñez, 1990 y Orozco, 1989).

III.- MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en una bodega del área de producción de vermicomposta de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – UL, la cual se localiza en Periférico y Carretera a Santa Fe, km 1.5, en Torreón, Coahuila México; durante el periodo Febrero – Octubre del 2006. El objetivo de esta investigación fue evaluar el desarrollo de la Noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore), utilizando la vermicomposta como sustrato de crecimiento.

Los lodos fueron obtenidos de la compañía Wrangler de México, S.A. de C.V., de la Cd. de Torreón, Coahuila. Los lodos residuales colocados en recipientes de plástico fueron sometidos al proceso de vermicomposteo inoculando sobre ellos lombrices *Eisenia fetida*; V1 = 100 Lb·10⁻¹ kg de lodo, en V2 = 150 Lb·10⁻¹ kg de lodo, V3 = 200 Lb·10⁻¹ kg de lodo y V4 = 250 Lb·10⁻¹ kg de lodo. Las lombrices se mantuvieron en contacto con los lodos residuales durante un periodo de 90 días (Atiyeh et al., 2000c) y a través de este periodo, y con el propósito de garantizar las condiciones óptimas de humedad para la actividad de estos organismos, se aplicaron riegos diarios, con agua de la llave (potable) para mantener el contenido de humedad en aproximadamente 80% (Atiyeh et al., 2000b). Generar la vermicomposta como sustrato de crecimiento vegetal. La vermicomposta fue analizada física y químicamente (Materia Orgánica, Conductividad Eléctrica, pH, Nitrógeno total, Capacidad de Intercambio Catiónico, Cloruros, Carbonatos, Bicarbonatos, Fósforo y Ca + Mg), en el laboratorio de suelos de la universidad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados de los análisis físicos y químicos de los tipos de vermicomposta y el suelo franco arcilloso con vermicomposta (1:2), para el crecimiento de la Noa (*Agave victoriae-reginae*). UAAAN – UL, 2006.

	S1	S2	S3	S4	SFA+V4
Nitrógeno Total (%)	0.476	0.056	0.532	1.48	0.35
Fósforo (ppm)	9137	8663	6463	6508	24662.5
Materia Orgánica (%)	17.42	14.74	17.42	10.05	56.45
C.E. (mS cm ⁻¹)	15.28	13.46	14.49	15.78	5.03
pH	8	7.57	7.84	7.98	7.8
C.I.C. (meq 100g ⁻¹ suelo)	25	36	27	28	12
Ca + Mg	6	14	18	16	27.333
Densidad Aparente (g cm ⁻³)	0.892	0.781	0.833	0.806	1.18
Carbonatos (meq L ⁻¹)	1.5	0	0.5	0	1
Bicarbonatos (meq L ⁻¹)	13	6	8	8	8
Cu (ppm)	2.34	1.88	1.7	1.5	9.6
Fe (ppm)	41.66	97.91	56.24	0.825	248.96
Zn (ppm)	41.66	79.913	58.331	0.875	93.68
Mn (ppm)	37.498	77.08	47.914	64.58	202.76
Sodio (meq L ⁻¹)	146.8	120.6	126.9	141.8	22.967
Cloruros (meq L ⁻¹)	23	12	18	15	37.33
Sulfatos	115.3	116.6	118.4	134.8	3.967

S1 – S4 Vermicomposta como sustrato de crecimiento SFA+V4 Relación 1:2 suelo franco arcillosos y vermicomposta

Una vez analizados se prepararon las mezclas con relación de 1:2 con arena y vermicomposta respectivamente; en bolsa para macetas (15 x 20 cm de largo y ancho respectivamente). Quedando las macetas de la siguiente manera:

Sustratos

S1	Solo arena (testigo)
S2	100 Lb·10 ⁻¹ kg proporción 1:2 arena y vermicomposta
S3	150 Lb·10 ⁻¹ kg proporción 1:2 arena y vermicomposta
S4	200 Lb·10 ⁻¹ kg proporción 1:2 arena y vermicomposta
S5	250 Lb·10 ⁻¹ kg proporción 1:2 arena y vermicomposta
S6	250 Lb·10 ⁻¹ kg relación 1:2 suelo franco arcilloso y vermicomposta

Una vez preparadas las diferentes mezclas se realizó el transplante de las Noas, éstas fueron extraídas del invernadero ubicado dentro de la misma instalación, con un tiempo de once meses de vida y tenían ocho meses de siembra en el invernadero, fueron regadas cada tercer día con agua de la llave para mantener la humedad, como lo indica García *et al.*, (2001). Cada dos meses se retiraron las Noas de las macetas para determinar la ganancia en peso. Debido a que esta especie es de lento crecimiento el desarrollo de las mismas fue determinado en función de la ganancia en

peso, fresco y seco, de las Noas, para lo cual, después de que las plantas muestreadas fueron retiradas de las macetas se cortaron en dos fracciones: la primera estaba constituida del tallo y las hojas, y la segunda por la raíz. Se colocaron en la estufa para su secado durante tres días a una temperatura de 60 a 65 °C.

Se utilizó un diseño experimental de Bloques al Azar con seis tratamientos con cuatro repeticiones y las variables evaluadas fueron peso fresco tota (PFT), peso seco total (PST), peso fresco de tallo y hoja (PFTH), peso seco de tallo y hoja (PSTH), peso fresco de raíz (PFR) y peso seco de raíz (PSR). Para su interpretación se usó el Análisis de Varianza "ANDEVA" (Análisis of Variance) por sus siglas en inglés, para cada una de las variables. Las variables analizadas fueron en su ganancia en peso fresco y seco de la noa (*Agave victoriae-reginae*), tomado en cuenta el total de la planta, la raíz y por último el tallo y hoja de la misma.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 5 se puede apreciar que las variables PFT, PST, PFTH y PSTH el análisis señala que el impacto de diferentes tratamientos evaluados, en el presente trabajo provocaron efectos estadísticamente iguales. Sin embargo, las variables PFR y PSR presentaron efectos significativos ($P \leq 0.05$) bajo el efecto de los diferentes tratamientos.

Cuadro 5. Resultados de "ANDEVA" cuadrados medios de las variables peso fresco total (PFT), peso seco total (PST), peso fresco de tallo y hoja (PFTH), peso seco de tallo y hoja (PSTH), peso fresco de raíz (PFR) y peso seco de raíz (PSR); para el crecimiento de noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore). UAAAN-UL, 2006.

FV	g /	PFT	PST	PFTH	PSTH	PFR	PSR
Tratamientos	5	4.78 ^{NS}	0.05 ^{NS}	4.07 ^{NS}	0.02 ^{NS}	0.39*	0.01*
Error	15	2.91	0.04	2.19	0.03	0.09	0.00
CV		22.66	26.63	22.91	28.71	28.70	36.62

* Significativo

NS = No significativo

Cuadro 6. Valores promedio de las variables peso fresco de raíz (PFR) y peso seco de raíz (PSR), y significancia estadística para la prueba DMS (5%). UAAAN – UL, 2006.

Sustratos	Media PFR*	Media PSR*
1	2.4626a	0.07805a
2	0.5929c	0.01155b
3	0.8499c	0.01978b
4	1.2104bc	0.02454b
5	0.7901c	0.01922b
6	1.9208ab	0.04516ab

*Valores promedio con la misma letra son estadísticamente iguales.

De la comparación de medias con la prueba DMS (5%) (Cuadro 6) se determinó que ambas variables PFR y PSR presentaron su mayor valor

en el S1, 2.4626 y 0.07805, respectivamente superando ampliamente a los valores obtenidos, para estas variables, en los sustratos donde se aplicó la vermicomposta (S2 – S6).

Los mayores valores peso fresco y peso seco del sistema radicular de la noa (*Agave victoriae-reginae*) determinado en el sustrato de arena (S1) probablemente se deban a que las raíces del *Agave* tuvieran mejores condiciones de aeración facilitando que sea mayor desarrollo, pues la arena se caracteriza por ser un material con baja capacidad de retención de humedad (Bigelow *et al.*, 2004). A manera de complemento, con respecto al mayor desarrollo radicular García *et al.*, (2001) señalaron que la calidad de las plantas ornamentales en macetas depende fundamentalmente de las características físico-químicas de los sustratos, ya que el desarrollo y funcionamiento de las raíces están directamente ligados a las condiciones de aeración.

Por otra parte, el que los sustratos con vermicomposta hayan provocado que las variables PFR y PSR presenten valores más reducidos se debe a la gran a la gran capacidad de retención de humedad de estos materiales como lo señalan Atiyeh *et al.*, (2000a; 2000b; 2000c; 2002) y Menezes-Junior *et al.*, (2000). En apoyo a lo anterior Grable (1971) y Feldman (1984) señalan que, bajo condiciones de alta retención de humedad o inundación, las raíces de las especies vegetales son mas cortas y con menor desarrollo.

La gran capacidad de retención de humedad el los sustratos S2 – S6 se vio favorecida por el hecho de haber empleado, a nivel de exploración, en este primer ensayo con noa (*Agave victoriae-reginae*) una relación 1:2 (arena:vermicomposta) y (suelo franco arcilloso:vermicomposta), que corresponde aproximadamente a un 66% en volumen de vermicomposta, provocando la reducción del desarrollo radicular y de la parte aérea de las plantas, resultados similares reportaron Menezes-Junior *et al.*, (2000) al trabajar con diferentes sustratos durante el desarrollo de plántulas de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

A manera de explicación es necesario señalar que el porcentaje en volumen de vermicomposta seleccionado aproximadamente del 66%, se empleo con el propósito de garantizar que la noa (*Agave victoriae-reginae*) lograra satisfacer su demanda nutritiva, a partir de un material con alta disponibilidad de elementos nutritivos (Atiyeh *et al.*, 2000a; 2000b; 2000c; 2002; Ndeuga y Thompson, 2001) ya que estos materiales se mezclaron con arena de río, la cual se considera como material inerte (Kessler, *et al.*, 1999).

Sin embargo, se puede destacar que a excepción de tres unidades experimentales, de los tratamientos S2 y S3, 1 y 2 planta respectivamente, no superaron la etapa de transplante, por lo que hubo necesidad reponerlas, lo que significa que el 96.25% de unidades experimentales iniciales, correspondiente a 77 plantas de *Agave victoriae-reginae* encontraron en los diferentes sustratos condiciones apropiadas para su supervivencia. Pues de acuerdo con Brown (2000) la vermicomposta posee características físicas, químicas y biológicas, que provocan efectos favorables sobre el desarrollo de hortalizas y especies ornamentales.

Debido a la respuesta obtenida en las variables PFT, PST, PFTH y PSTH durante los ocho meses de evaluación y que las plantas de noa (*Agave victoriae-reginae*) lograron sobrevivir en los sustratos en los que se emplearon las vermicompostas, pudiera ser necesario, como lo recomiendan diversos autores – utilizar niveles de vermicomposta $\leq 40\%$ en volumen (Subler *et al.*, 1998; Atiyeh *et al.*, 2001) o en su caso, y dado que en las regiones semiáridas existen problemas con la disponibilidad de agua (Jurado-Guerra *et al.*, 2004) incrementar el período entre riego y riego de las macetas donde se desarrolle la noa (*Agave victoriae-reginae*), debido a la gran capacidad de retención de humedad que presentan los materiales vermicomposteados (Atiyeh *et al.*, 2000, 2000, 2001; Sharma *et al.*, 2005) y de esta manera hacer un uso más eficiente del escaso recurso de humedad disponible en estas regiones.

El seguir insistiendo con el empleo de la vermicomposta como sustrato de crecimiento para el desarrollo de la noa (*Agave victoriae-reginae*), en menores proporciones, a pesar de los resultados obtenidos se fundamenta en el hecho de que toda especie vegetal demanda un suministro adecuado de elementos nutritivos, y como los señalan diversos autores los materiales vermicomposteados pueden satisfacer esta demanda nutritiva (Atiyeh *et al.*, 2000a, 2000b, 2000c, 2001, 2002; Cruz-Rodriguez *et al.*, 2003; Valadares-Veras y Povinelli, 2004).

En el mismo sentido, y en apoyo de interés de usar como sustrato de crecimiento la vermicomposta para el desarrollo de especies endémicas, como la noa (*Agave victoriae-reginae*), Menezes-Junior *et al.*, (2000) destacan que los sustratos de crecimiento desempeñan un papel importante para el desarrollo de las especies vegetales, ya que éstos deben garantizar, por medio de su fase sólida el mantenimiento del sistema radicular y la estabilidad de las plantas, por medio de la fase líquida el suministro de agua y de elementos nutritivos desde la zona de las raíces hacia el medio que las rodea.

Probablemente el hecho que los tratamientos con vermicomposta (S2 - S6), hayan provocado efectos iguales estadísticamente sobre las variables (PFT, PST, PFTH y PSTH) se deba a que esta especie de *Agave victoriae-reginae*, de acuerdo con Gentry (1982) es de muy lento crecimiento, tardando entre 20 y 35 años en alcanzar su madurez y el periodo de evaluación en este trabajo se redujo a sólo ocho meses.

En atención a que las variables PFT, PST, PFTH y PSTH, no presentaron efectos significativos en el análisis de varianza se optó por realizar para cada variables un análisis de regresión simple para determinar la dinámica de cada variables.

4.1 Dinámica de la variable peso fresco total en la noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore)

El comportamiento de la variables PFT se puede observar en la figura 4, en ella se aprecia que la noa (*Agave victoriae-reginae*) incrementó su peso fresco total, a través del tiempo y en los diferentes sustratos evaluadas, las ecuaciones que representan la dinámica de la variables PFT se presenta en el cuadro A1 y dentro de ellos se destaca que los sustratos S4 y S5 presentaron el mayor ajuste para la ecuación respectiva con valores de R^2 superiores al 96% esta situación corresponde a lo señalado por Sherman-Huntoon (1997) que estableció que las mezclas que emplean vermicomposta como sustrato de crecimiento, generan incremento significativo sobre el crecimiento de las especies vegetales que se desarrollan en macetas.

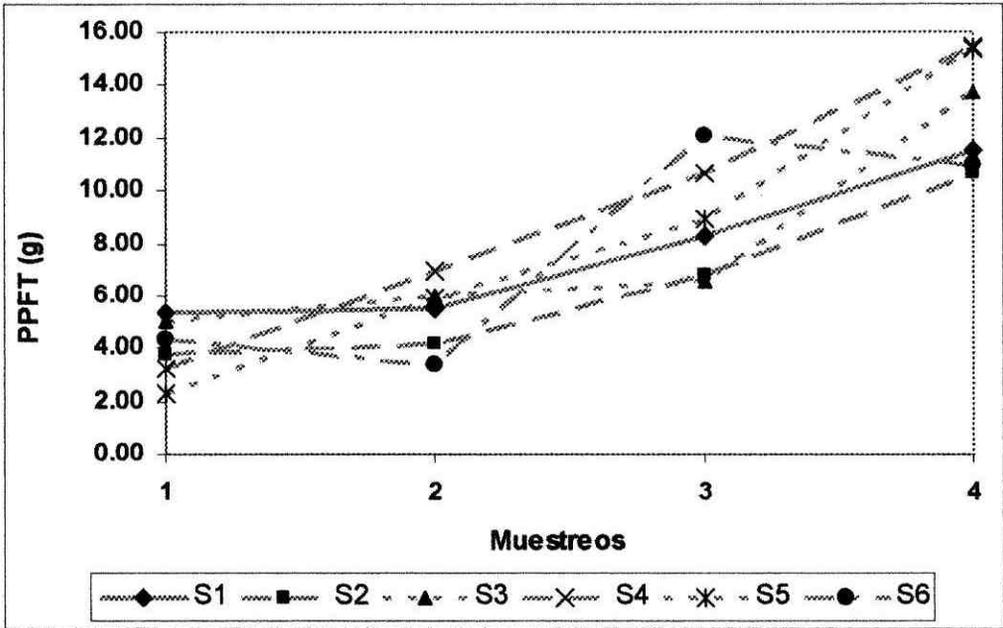


Figura 4. Comportamiento de la variable peso promedio fresco total (PPFT) en la noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore), durante el vermicomposteo. UAAAN – UL, 2006.

4.2 Dinámica de la variable peso seco total en la noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore)

Como se puede observar en la variable PST de la figura 5, se aprecia que la noa (*Agave victoriae-reginae*) en su peso seco total en el cuadro A1 se destacan los sustratos S5 y S4 presentaron el mejor ajuste en el tiempo del experimento para su ecuación respectiva en un valor de 95.13% y 93.8%, por lo tanto coincide con lo establecido por Riggle (1998) quien encontró que el crecimiento de las plantas puede ser igual o mejor cuando se utiliza la vermicomposta como sustrato de crecimiento.

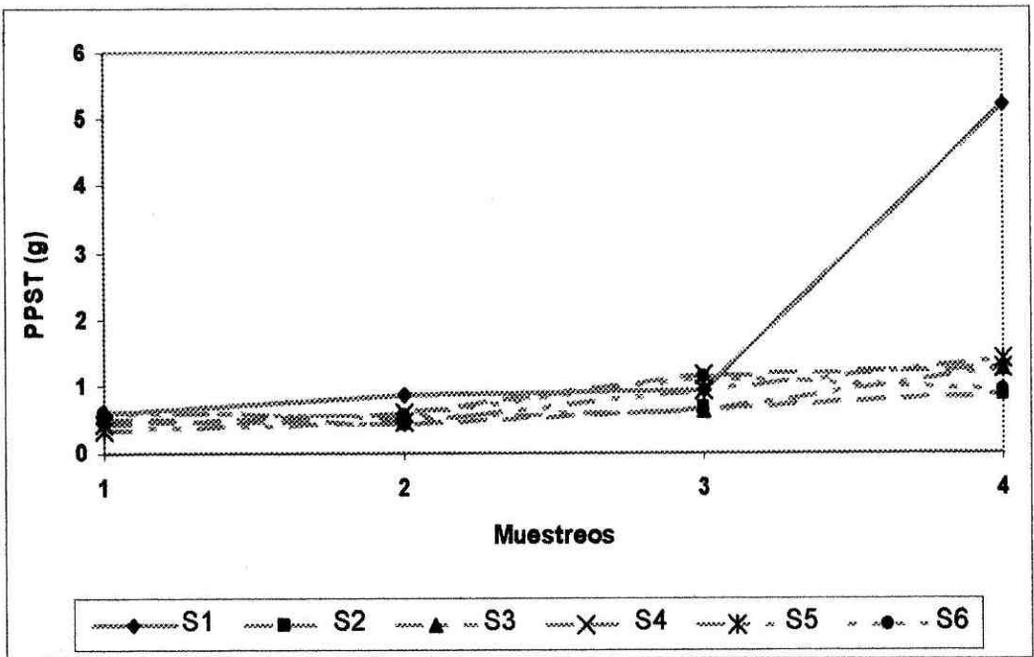


Figura 5. Comportamiento de la variable peso promedio seco total (PPST) en la noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore), durante el vermicomposteo. UAAAN – UL, 2006.

4.3 Dinámica de la variable peso fresco de tallo y hoja en la noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore)

Con respecto a la variable PPTH en la figura 6 se observa un incremento para esta variable, en todos los sustratos y en cuadro A1 se destaca el sustrato S4 pues presenta el mayor ajuste para las ecuaciones de regresión con R^2 de 99.56% seguido del sustrato S5 con un ajuste de 97.89%, coincidiendo con lo establecido por Atiyeh *et. al.* (2000b), los cuales destacaron que la vermicomposta favorece el desarrollo de las plantas, cuando se utiliza como sustrato de crecimiento.

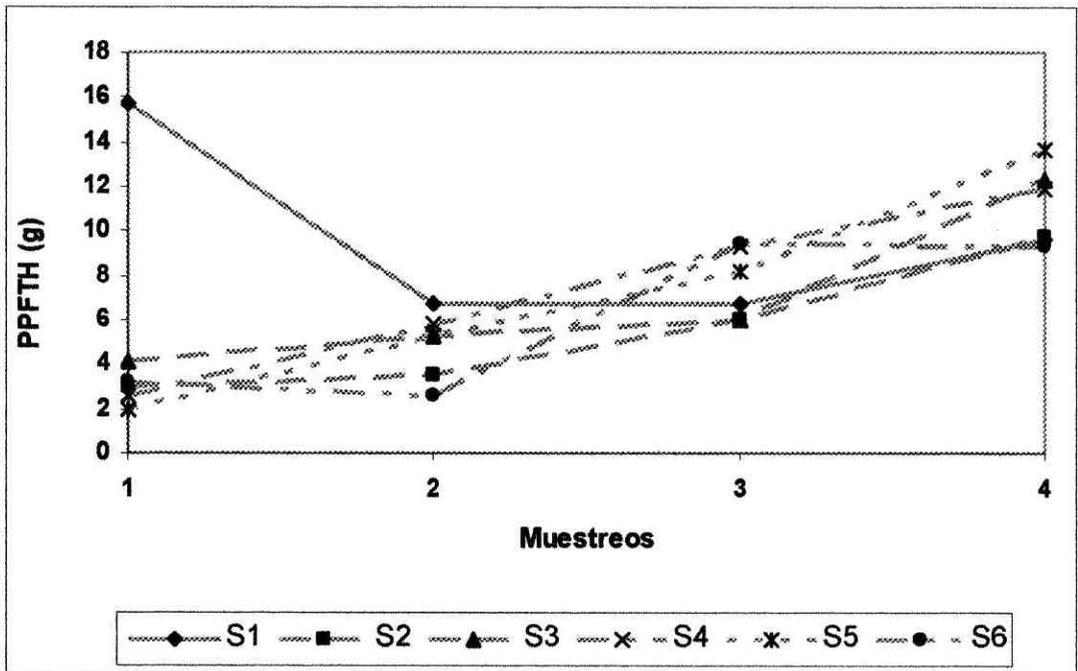


Figura 6. Comportamiento de la variable peso promedio fresco de tallo y hoja (PPTH) en la noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore), durante el vermicomposteo. UAAAN – UL, 2006.

4.4 Dinámica de la variable peso seco de tallo y hoja en noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore)

Se puede observar en la figura 7 que la variable PSTH de la noa (*Agave victoriae-reginae*), incrementó su peso seco de tallo y hoja a través del tiempo y en el cuadro A1 se destaca que los sustratos S5, S1 y S4 presentan el mayor ajuste para esta variable con valores de R^2 de 98.15, 98.11 y 95.7%, respectivamente. El mejor incremento de la variable PSTH en el sustrato S5 con respecto a S1, coincide con lo señalado por Velasco (1996) de que el diámetro del tallo del tomate de cáscara desarrollado con vermicomposta supero al que se desarrollo en el testigo.

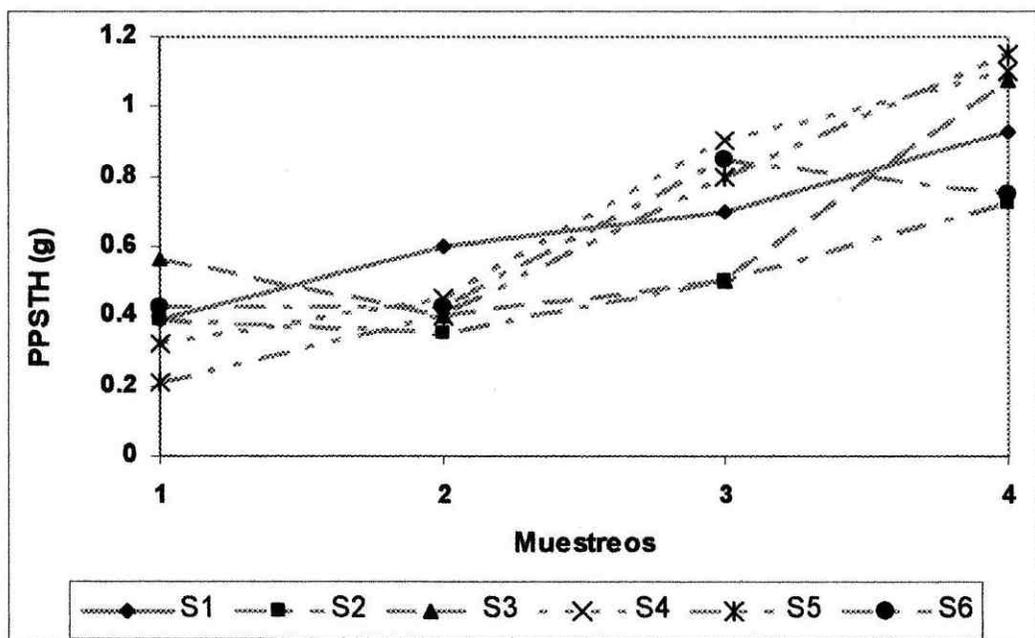


Figura 7. Comportamiento de la variable peso promedio seco de tallo y hoja (PPSTH) en la noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore), durante el vermicomposteo. UAAAN – UL, 2006.

V.- CONCLUSIONES

El presente experimento permitió comprobar que la lombriz *Eisenia fetida* tienen la capacidad de consumir una amplia gama de residuos orgánicos tales como lodos residuales o biosólidos, dando como origen la vermicomposta, a partir de biosólidos.

Los resultados obtenidos no fueron los esperados en su totalidad, debido a que el crecimiento de la noa (*Agave victoriae-reginae*) es lento y requiere de más tiempo para llegar a la madurez.

Los diferentes sustratos de vermicomposta que se usaron como tratamiento no presentaron diferencia estadística entre ellos.

La significancia que se presentó en el crecimiento de la raíz en el testigo, en relación con los tratamientos con vermicomposta probablemente se deba al estrés de las plantas, comprobándose que las plantas al estar en condiciones favorables facilitan el desarrollo del sistema radicular.

La supervivencia del 96.25% de plantas en los sustratos que contenían vermicomposta permite suponer que la reducción del contenido de este material promoverá un mejor desarrollo de la noa (*Agave victoriae-reginae*) o en su caso una reducción significativa en el volumen total de agua aplicada durante el desarrollo de esta especie, debido a la alta retención de humedad de la vermicomposta.

VI.- RESUMEN

La disposición final de los biosólidos comúnmente es la incineración o rellenos sanitarios, debido al alto costo de instalación de reactores estabilizadores de lodos y sistemas de deshidratación además de la transportación a los sitios de disposición final. La alta concentración de nutrientes que presentan estos residuos (nitrógeno, fósforo, materia orgánica) pueden ser aprovechados en el campo agrícola para el desarrollo primordial de las plantas. El vermicomposteo es una tecnología innovativa para el tratamiento de lodos residuales en México, en donde existen experiencias con lombrices *Eisenia fetida*. Con el propósito de buscar alternativas de fertilización se evaluó el efecto de la vermicomposta, dentro de las especies botánicas con mayor grado de amenaza en su sobrevivencia se encuentra la noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore).

El estudio tuvo como objetivo evaluar el desarrollo de la planta, utilizando lodos vermicomposteados como sustratos de crecimiento. Como sustratos se utilizaron mezclas de vermicomposta de lodos residuales con arena y un sustrato exclusivamente de arena conformando un total de seis tratamientos con cuatro repeticiones distribuidos en un diseño de bloques al azar. Para determinar el efecto de tratamientos se evaluaron las variables peso fresco total (PFT), peso seco total (PST), peso fresco de tallo y hoja (PFTH), peso seco de tallo y hoja (PSTH), peso fresco de raíz (PFR) y peso seco de raíz (PSR), aplicándose un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias la DMS (5%).

Los resultados indican que solamente las variables PFR y PSR presentaron efectos significativos ($P \leq 0.05$) debido al efecto de tratamientos, destacándose un mejor desarrollo radicular para ambas variables en el tratamiento del testigo, debido probablemente a que en este primer ensayo de exploración, el 66% en volumen de vermicomposta contenido en los sustratos de crecimiento afectó negativamente el desarrollo del sistema radicular de la noa (*Agave victoriae-reginae*) ya que este material posee retención de humedad. Sin embargo, el hecho de que el 96.25% de las plantas de noa (*Agave victoriae-reginae*) hayan sobrevivido en los sustratos con vermicomposta permite suponer que este material puede contribuir al desarrollo de esta especie.

VII.- LITERATURA CITADA

- Aranda E. 1997. El cultivo de lombrices: una solución ecológica sencilla y eficiente para producir abono con nuestra basura orgánica doméstica. In: Reducción y reciclaje de residuos sólidos municipales. Editores C. Hernández F. y S. González M. Publicación del Programa Universitario de Medio Ambiente. Coordinación de Investigación Científica de la UNAM. pp. 257-268.
- Atiyeh, R. M., S. Subler, C. A. Edwards, G. Bachman, J. D. Metzger y W. Shuster. 2000a. Effects of Vermicomposts and Composts on Plant Growth in Horticultural Container Media and Soil. *Pediobiologia* 44: 579 – 590.
- Atiyeh, R. M., J. Domínguez., S. Subler y C. A. Edwards. 2000b. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia*, 44: 709-724.
- Atiyeh, R. M., N. Arancon., C. A. Edwards y J. D. Metzger. 2000c. Influence of earthworm processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Biores. Technol.*, 75: 175-180.
- Atiyeh, R.M., C.A., Edwards, S. Subler y J.D., Metzger. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Biores. Technol.*, 78: 11-20.

- Atiyeh, R. M., S. Lee. C. A. Edwards, N. Q. Arancon y J. D. Metzger. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Biores. Technol.* 84: 7-14.
- Barrios. J. A., A. Rodríguez., A. González., B. Jiménez y C. Maya 2000. Destrucción de coliformes fecales y huevos de helmintos en lodos fisicoquímicos por vía ácida. *Memorias XII Congreso Nacional 2000. FEMISCA. AIDIS. Morelia, Mich. México. Año 1. No. 1. Tomo 1. pp 913.*
- Bigelow, C.A., D.C. Bowman y S.K Cassel. 2004. Physical Properties of Three Sand Size Classes Amended with Inorganic Materials or Sphagnum Peat Moss for Putting Green Rootzones. *Crop Sci.*, 44: 900-907.
- Breitung, A. J., 1960, Cultivated and native agaves in the south western United States, *Cactus and Succulent Journal*, 32: 35-38.
- Brown, G.G., I. Barois, y P. Lavelle. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *Eur. J. Soil Biol.* 36:177-198.
- Buck, C., M. Langmaack y S. Schrader. 2000. Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties. *Appl. Soil Ecol.*, 14: 223-229.
- Cameron, E., N. How, S. Saggar y C. W. Ross. 2004. The Cost- Benefits of Applying Biosolid Composts for Vegetable, Fruit, and Maize/Sweetcom. Production System in New Zealand. *Landcare Research Science Series*, 27.
- Canellas, L. P., F. L., Olivares, A. L., Okorokova-Facanha y A. R., Facanha. 2002. Humic Acids Isolated from Earthworm Compost

Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H⁺-ATPase Activity in Maize Roots. *Plant Physiol.* 130(4): 1951-1957.

Capistrán, F., E. Aranda y J. C. Romero. 1999. Manual de Reciclaje, Compostaje y Vermicompostaje. Instituto de Ecología A. C. México. pp 151.

Cardoso-Vigueros, L. y E. Ramírez.-Camperos. 2002. Vermiestabilización de lodos residuales y lirio acuático, ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasil.

Cardoso-Vigueros, L. y O. C. Tomasini. 2000. Características y efectos de los Residuos Peligrosos. SEMARNAT, CNA, IMTA. México.

Castro-Ruiz, J. C. 2006. Estudio preliminar de aplicación de biosólidos en suelos para control de erosión y estabilización de taludes. Universidad de los Andes, Bogotá DC, Colombia.

Cistema, P. O. y V. Alvarado. 2006. gradientes de estabilización de lodos de acuerdo a los regímenes de procesos de fango activado- teoría y práctica. XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidad de Concepción. Chile. 5: 1-3.

Contreras-Ramos, S. M. y E. M. Escamilla-Silva. 2005. "Vermicomposting of biosolids with cow manure and oat straw." *Biol. Fertil. Soils* 41: 190-198.

Cortez-Cádiz, E. D. C. 2003. Fundamentos de la Ingeniería para el Tratamiento de los Biosólidos Generados por la Depuración de Aguas servidas de la Región Metropolitana. Facultad de Ciencias Químicas y Matemáticas. Chile, Universidad de Chile.

Cruz-Rodrigues, V. de Almeida-Theodoro, V. C., de Andrade, I. F., Neto, A. I., V. do Nascimento-Rodrigues, y F. Villa-Alves. 2003. Produção de minhocas e composição mineral do vermicomposto e das fezes procedentes de bubalinos e bovinos. Ciênc. Agrotec. Lavras., 27(6): 1409-1418.

Diario Oficial de la Federación. 2003. Norma Oficial Mexicana (NOM-004-SEMARNAT-2002). 15 de agosto. México D.F.

Diario Oficial de la Federación. 1993. Norma Oficial Mexicana (NOM-052-ECOL/1993). 2 de julio de 1993. México D.F.

Domínguez, J., C. A. Edwards y S. Subler. 1997. A comparaison of vermicomposting and composting. Biocycle 38: 57 – 59.

Eastman, B. R. 1999. Achieving pathogen stabilization using vermicomposting. BioCycle. 62-64. Disponible en: <http://gnv.fdt.net/~windle/refrence/nov99.htm>. Fecha de recuperación: 15 de abril de 2000.

Edwards, C. y J. Steele. 1997. Using earthworm systems. Biocycle. 63-64. Disponible en: <http://gnv.fdt.net/~windle/refrence/july97-1.htm>. (Fecha de recuperación: 20 de febrero de 2000). En línea.

Eguiarte, L.E., J. Larson-Guerra, J. Nuñez-Farfán, A. Martínez-Palacios, K. Santos del Prado y H. T. Arita. 1999. Diversidad filogenética y conservación: ejemplos a diferentes escalas y una propuesta a nivel poblacional para *Agave victoriae-reginae* en el Desierto de Chihuahua, México. México, D.F. Revista Chilena de Historia Natural. (27): 475-492.

EPA. 2000. Control de olores en el Manejo de Biosólidos. Office of Water. Washington D.C. United Status Environmental Protection Agency. EPA 832-F-00-67: 1 – 22. USA.

- Farrell, M. 1997. Growing worms with food residuals. *BioCycle*. 65-66.
Disponible en: <http://gnv.fdt.net/~windle/reference/july97-2.htm>.
Fecha de recuperación: 20 de febrero de 2000.
- Feldman, L. J. 1984. Regulation of root development. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 35:223 – 242.
- Gajalakshmi, S., E. V. Ramasamy y S. A. Abbasi. 2001. Potential of two epigeic and two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth. *Biores. Technol.* 76: 177-181.
- García, I. y C. Dorronsoro. 1999. "Contaminación del suelo". Departamento de Edafología y Química Agrícola. Unidad Docente e Investigadora de la Facultad de Ciencias. Universidad de Granada, España.
- García C. O., G. G., Alcántar, R. I., Cabrera, R., F. Gavi y H. V., Volke 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra*, 19(3): 249-258.
- García-Mendoza, A. 1995. Riqueza y endemismo de la familia Agavaceae en México. En conservación de plantas en peligro de extinción, diferentes enfoques. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F.
- Gentry. 1982. (En línea) Agaves of Continental North America. The University of Arizona Press. Arizona, U. S. A. pp. 183 – 185. "http://en.wikipedia.org/wiki/Queen_Victoria%27s_agave" (Consulta 20 de diciembre del 2006).
- Ghosh, M., G. N. Chattopadhyay y K Baral. 1999. Transformation of phosphorus during vermicomposting. *Biores. Technol.* 69: 149-154.

- Gil, F. J. y E. F. de Andrés. 2001. Sewage sludge effects on production of wild legume shrubs. *Bioprocessing of Solid Waste & Sludge* 1(4): 1-10.
- Grable, A. R. 1971. Effects of compaction in content an transmission of air in soils. *Soil. Sci.* 9:769 – 779.
- Gunadi, B. y C. A. Edwards. 2003. The effects of multiple applications of different organic wastes on the growth, fecundity and survival of *Eisenia fetida* (Savigny) (Lumbricidae). *Pedobiologia*, 47.
- Hernández-Cruz, O. A., O. A., Martínez-Rodríguez, , E. Blanco-Contrerasy E. Santamaría-César, 2000. Evaluación de los seis tratamientos pregerminativos en semillas de Noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore). *Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Volumen I, Número I (Enero-Junio).* Pp. 29 – 35.
- Hernández-Herrera, J. M., E. Olivares-Sáenz., I. Villanueva-Fierro., H. Rodríguez-Fuentes., R. Vázquez-Alvarado y J. F. Pisan- Zúñiga. 2005. Lodos residuales en cultivos de Sorgo. *Rev. Int. Contam.* 21 (1) 31 – 36.
- Hernández, O., O. A. Martínez, E. Blanco, y E. Santamarina, 2001. Evaluación de 6 tratamientos pregerminativos en semilla de Noa. *Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Universidad de Chapingo, México.*
- Jensen, J. 1997. Worm farm takes on new challenges. *BioCycle*. 56-57. Disponible en: <http://gnv.fdt.net/~windle/refrence/jan98.htm>. Fecha de recuperación: 20 de febrero de 2000.
- Jiménez-Cisneros, B. E. 2002. *La Contaminación Ambiental en México: Causas, Efectos y Tecnologías Apropriadas.* México.

- Jurado-Guerra, P. y M. Luna-Luna. 2004. "Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos." *Téc. Pecu. Mex* 42(3): 379-395.
- Kessler, J., J. R., Williams, J.D. y R., Howe. 1999. *Hydroponics for home gardeners*. ANR-1151, Alabama A&M and Auburn Universities, Alabama.
- Kiely G. 1999. *Ingeniería Ambiental*. 1ª Edición. McGraw-Hill. Aravaca Madrid, España. pp. 823 – 831.
- Martínez-Palacios, A. 1991. Propagación masiva *in vitro* y recuperación de poblaciones de orquídeas en peligro de extinción. Tesis de maestría, Fac. Ciencias, UNAM. México D.F. pp. 100.
- Martínez-Palacios, A. 1998. Estructura poblacional y conservación de semillas de *Agave victoriae-reginae* T. Moore (Agavaceae), endémica y en peligro de extinción. Evaluación genética y demográfica de *Agave victoriae-reginae* T. Moore y aplicación del cultivo de tejidos para su conservación. Departamento de Biología, Fac. de Ciencias, UNAM. México, D.F. 1-37.
- McGinnis, M., S., Warren, y T. Bilderback. 2004. Vermicompost -Potential as Pine Bark Amendment for the Nursery. In: *Nursery Short Course*. North Carolina State University. 8-10 pp.
- Menezes-Júnior, F.O.G., H.S., Fernandez, C.R. Mauch y J.B., Silva. 2000. Caracterização de diferentes substratos e seu desempenho na produção de mudas de alface em ambiente protegido. *Hort. Bras.*, 18(3): 164-170.
- Metcalf, L. y H. Eddy. 1996. *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. México.

- Mitton, J. B. y M. C. Grant. 1994. Association among protein Heterozygosity, grow rate and Developmental homeostasis. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, 15: 479 – 499.
- Ndegwa, P. M., S. A. Thompson, y K. C., Das. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Biores. Technol.* 71: 5-12.
- Ndegwa, P. M. y S. A. Thompson. 2001. Integration composting and vermicomposting in the treatment of bioconversion of biosolids. *Biores Technol*, 76:107 – 112.
- Norma Oficial Mexicana NOM – 004 – SEMARNAT – 2002. Protección Ambiental – Lodos y Biosólidos. Especificaciones y Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para su aprovechamiento y Disposición Final. México, D.F.
- Pereira, M. G. y M. A. Zezzi-Arruda. 2003. Vermicompost as a Natural Adsorbent Material: Characterization and Potentialities for Cadmium Adsorption. *J. Braz. Chem. Soc.*, 14(1): 39-47.
- Orozco A. S. 1989. La destrucción de la naturaleza. Fondo de Cultura Económica, Colección La Ciencia desde México. No. 83, México, D. F.
- Reines A. 1998. Lombrices de tierra con valor comercial (Biología y Técnicas de Cultivo). Universidad de la Habana, Cuba; Departamento de Biología Animal y Humana. pp. 7 - 54.
- Riggle, D. 1998. (En línea) Vermicomposting research and education. *ByoCycle*. 54-56. <http://gnv.fdt.net/~windle/refrence/may98.htm> (Consulta 23 de diciembre del 2006).

Statistical Analysis System for Windows (SAS). 1998. V 6.2 Universidad de Carolina del Norte.

Sastre H., 1995. Biosólidos: Problemática, tratamiento, alternativas y tendencias futuras de uso. Segundas jornadas sobre medio ambiente en Asturias. España.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana (NOM – 004 – SEMARNAT – 2002). Protección ambiental para lodos y biosólidos, especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., pp. 1860.

SEDESOL, 1994. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994, que determina las especies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección. Diario Oficial, Lunes 16 de mayo de 1994. México, D. F.

Serrano-Espinosa, L. 1997. Las Aguas Residuales y su Tratamiento. Secretaría de Educación Pública. México: 248.

Sharma, S., K., Pradhan, S. Satya y P., Vasudevan. 2005. Potentiality of Earthworms for Waste Management and in Other Uses – A Review. J. Am. Sci., 1(1): 1-16.

Sherman-Huntoon, R. 1997. Earthworm castings as plant growth media. *Earthworms in waste and environmental management*. Metzger: 1-3.

Smernik, R. J., I. W. Oliver y G. Merrington. 2003. Characterization of Sewage Sludge Organic Matter Using Soil-State Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. J. Environ Qual 32.

- Soto, G. y C. Muñoz. 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost y su empleo en la agricultura orgánica. Manejo Integrado de Plagas. Costa Rica. 65:123-129.
- Subler, S. E. y J. Metzgel. 1998. Comparing and sodium fertilization affect leaf nutrient contents and growth of "Shawnee blackberry". J. Plant Nutrition 16: 297 – 303.
- Valadares-Veras, L.R. y J. Povinelli. 2004. A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano. Eng. Sanit. Ambient., 9(3): 218-224.
- Vázquez-Yáñez, C. 1990. Ecología y conservación de semillas. Fac. Ciencias UNAM, Rev. Ciencias. México, D.F. No. 4: 30-33
- Velasco, V. J. 1996. Efecto de la vermicomposta e inoculación con la endomicorriza arbuscular (*Glomus intraradix*) y *Azospirillum brasilense* en la producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo, México.

APÉNDICE
ECUACIONES DE REGRESIÓN LINEAL Y R^2

Cuadro A1. Ecuaciones de regresión lineal y R^2 para las variables evaluadas en los diferentes sustratos en los que se desarrolló la noa (*Agave victoriae-reginae*).

Peso fresco total		
Sustratos	Ecuaciones	R²
S1	$y = 2.1333x + 2.3225$	0.8999
S2	$y = 2.318x + 0.5525$	0.8969
S3	$y = 2.651x + 1.195$	0.7447
S4	$y = 4.0403x - 1.03$	0.9952
S5	$y = 4.2258x - 2.4525$	0.9682
S6	$y = 2.85x + 0.5375$	0.6811

Peso seco total		
Sustratos	Ecuaciones	R²
S1	$y = 1.3813x - 1.55$	0.6557
S2	$y = 0.129x + 0.2825$	0.7809
S3	$y = 0.199x + 0.27$	0.563
S4	$y = 0.3123x + 0.08$	0.938
S5	$y = 0.3623x - 0.12$	0.9513
S6	$y = 0.155x + 0.4125$	0.5369

Peso fresco de tallo y hoja		
Sustratos	Ecuaciones	R²
S1	$y = -1.805x + 14.213$	0.3033
S2	$y = 2.2723x - 0.12$	0.9141
S3	$y = 2.5145x + 0.6475$	0.783
S4	$y = 3.121x - 0.395$	0.9956
S5	$y = 3.805x - 2.275$	0.9789
S6	$y = 2.52x - 0.175$	0.7604

Peso seco de tallo y hoja		
Sustratos	Ecuaciones	R²
S1	$y = 0.1698x + 0.23$	0.9811
S2	$y = 0.1155x + 0.2025$	0.7855
S3	$y = 0.1645x + 0.2225$	0.4962
S4	$y = 0.279x - 0.005$	0.957
S5	$y = 0.322x - 0.165$	0.9815
S6	$y = 0.14x + 0.2625$	0.673