



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

**"TOPICOS SELECTOS DE LA PRODUCCION
AGRICOLA ACTUAL. UTILIZACION DE LODOS
RESIDUALES COMO SUSTRATO PARA VIVERO
EN EL EX-LAGO DE TEXCOCO"**

**TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRICOLA
P R E S E N T A:**

MIGUEL ANGEL SOLANO VBLAZQUEZ

ASESOR: EDVINO JOSAFAT VEGA ROJAS

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES
 U. N. A. M.
 SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES
 DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
 PRESENTE.

AT'N: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautilán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Técnicas Selectas de la Producción Agrícola Actual - Utilización
de Leña Higiénica como Sustrato para Vivero en el Ex-Lago de
Texcoco.

que presenta el pasante: Miguel Angel Salgado Velazquez
 con número de cuenta: 7361335-4 para obtener el Título de:
Ingeniero Agrícola

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el
EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestra **VISTO BUENO**.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautilán Escalé, F.d.e. de México, a 16 de enero de 19 96

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
Iro.	M.C. Laura Bertha Reyes Sánchez	<i>[Firma]</i>
Iro.	Biol. Elva Martínez Holguín	<i>[Firma]</i>
Aseor	H.C. Edvino J. Vega Rojas	<i>[Firma]</i>

DEDICATORIAS

**A mi madre, Ma. Guadalupe
Por ser la fuente y motivo de mi superación.**

**A la memoria de mi padre Eustorgio
Por los buenos recuerdos.**

**A la memoria de mi hermano Mario Alberto
Por el sacrificio de ver el significado de la vida.**

**A mis hermanos; Andrea, Guadalupe, Ma. de Jesús,
Eustorgio, Daniel, Arturo, Ramiro y Gabriel.**

A mis sobrinos.

AGRADECIMIENTOS

**Especialmente al M. en C. Edvino Josafat Vega Rojas
Por su enseñanza, por su gran calidad humana y
entusiasmo para inducir a la superación en la vida.**

**Al M. en C. Félix A. Llerena Villalpando
Por su orientación y aprobación para la realización
del presente trabajo.**

**Al Ing. Roberto Ortega Guerrero
Por su amplio apoyo y comentarios para integrar y
conformar este trabajo.**

**A los técnicos del área Agropecuaria del Proyecto
Lago de Texcoco con quienes conforme un equipo
de trabajo.**

**Al personal de campo por la ejecución de los
trabajos encomendados.**

C O N T E N I D O

RESUMEN	1
JUSTIFICACION	2
INTRODUCCION	3
OBJETIVOS	4
REVISION DE LITERATURA	5
LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	13
DESARROLLO	15
Sistemas de tratamiento de aguas residuales	15
Disposición de lodos residuales	15
El composteo como una alternativa de solución	16
Experimentación (PRIMERA ETAPA)	17
Construcción de infraestructura para obtención y captación de lodos	17
Sedimentación de sólidos y reducción del exceso de humedad	17
Muestreo inicial de lodos para determinar cantidad de sólidos, humedad y presencia de microorganismos indicadores	19
Preparación de mezclas	19
Composteo de mezclas	20
Registro de temperaturas de las mezclas durante el proceso de composteo y análisis bacteriológico	21

Experimentación (SEGUNDA ETAPA) y pruebas de comprobación	22
Utilización de compostas en vivero	23
RESULTADOS	25
Primera etapa experimental	25
Infraestructura instalada	25
Pruebas iniciales	25
Segunda etapa y pruebas de comprobación	26
Utilización de composta como sustrato para vivero en la propagación de plantas forestales de <u>Tamarix</u>	33
Evaluación de prendimiento y desarrollo de varetas de <u>Tamarix</u> establecidas en la composta elaborada como sustrato	35
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFIA	39

RESUMEN

La disposición final de los lodos residuales obtenidos del proceso de tratamiento de aguas negras en la actualidad representa un problema y más aún cuando son vertidos al medio ambiente en áreas expuestas. Aunque constituyen un recurso potencial, su aprovechamiento se ve limitado por las altas cantidades de contaminantes químicos y biológicos que contienen. Sin embargo con un manejo adecuado pueden ser utilizados con provecho, pero su uso mediano o inmediato estará condicionado a los dispositivos que cada planta tenga instalados y el grado de aprovechamiento dependerá de los volúmenes de lodo que se obtengan en cada planta y la infraestructura con que se cuente para manejarlos.

En el caso de los lodos residuales que se generan en la planta de tratamiento del ex-lago de Texcoco, se logró desarrollar una metodología para utilizarlos como sustrato en la propagación de especies forestales en vivero. Esta metodología constituye la base del presente trabajo, derivándose de ella la técnica definitiva para su estabilización y empleo en condiciones de seguridad.

Esta metodología consiste en una serie de actividades secuenciadas que comprenden principalmente: obtención y captación de lodos, deshidratación, preparación de mezclas (lodo más diversos materiales), composteo, estabilización y utilización como sustrato para vivero en la propagación de especies forestales.

JUSTIFICACION

Es conocido que los requerimientos de tierra de monte y otros materiales para utilizarse como sustrato en la propagación de plantas y árboles son cuantiosos. La mayoría de esta tierra y materiales son extraídos comunmente de bosques o áreas donde la vegetación es densa, o bien de bancos de materiales; con esta explotación se crea al paso del tiempo una alteración y degradación ecológica de bosques y áreas donde se extrae la tierra para viveros.

Uno de los programas principales que se desarrollan en el ex-lago de Texcoco, como parte de un plan integral de la recuperación ecológica del lugar, es la forestación y reforestación intensiva y extensiva de la zona federal del ex-lago, áreas periféricas y de influencia; para ello se demandan varios millones de brinzales anualmente; por lo cual la producción de árboles y el viverismo se practica a gran escala en este Proyecto. En la producción se emplean grandes volúmenes de tierra de monte, material que cada vez se ve más limitado es su obtención por los efectos ecológicos que causa su explotación.

Con este motivo en el Proyecto Lago de Texcoco surgió como una importante alternativa, la utilización de lodos residuales para emplearlos como sustrato en sus viveros, dándole así un uso potencial, previo tratamiento y dosificación; con lo cual se espera lograr abatir en cierta medida los volúmenes de tierra de monte extraídos comúnmente, lo que a su vez disminuirá el impacto ecológico causado a los bosques donde se encuentra la tierra para vivero; además de dar un uso a los lodos residuales que se generan en la propia planta de tratamiento de aguas negras del ex-lago de Texcoco, que normalmente son desechados sin beneficio alguno y si en cambio conforman un foco de contaminación.

INTRODUCCION

Los procesos de tratamiento de aguas residuales son diferentes dependiendo el origen de las aguas residuales y del reuso que se le vaya a dar al agua tratada. En las plantas de tratamiento que utilizan el proceso biológico de lodos activados, se generan además de aguas tratadas, lodos residuales que son desechados ningún fin. La disposición final de los lodos residuales sin medidas sanitarias de control, puede resultar más peligrosa que la disposición final de aguas residuales sin tratamiento, debido a que la acumulación de lodos concentran contaminantes químicos (metales pesados, derivados organoclorados, grasas, aceites, etc.) y/o biológicos (patógenos ya sean coliformes, bacterias, virus, etc.) los que al ser depositados en áreas expuestas al medio ambiente sin un manejo adecuado propician la contaminación de la atmósfera y de mantos freáticos y acuíferos, afectando suelos, flora y fauna (macro y micro), llegando incluso a la destrucción de un ecosistema con los consecuentes daños a la salud pública.

En la actualidad, la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales que operan en México no tienen un control sobre la disposición final de los lodos que generan, ya que los depositan principalmente en tiraderos clandestinos a cielo abierto e incluso son vertidos o se descargan al cuerpo de aguas que se pretende sanear, perdiéndose en parte con esto, el significado del tratamiento y la inversión.

Sin embargo, con un adecuado manejo y tecnificación para su utilización podrían ser aprovechados para diferentes fines agrícolas. Con base en las investigaciones realizadas por diferentes países desarrollados, los lodos residuales pueden transformarse en un recurso, ya que mediante la utilización de técnicas adecuadas, tanto para su manejo como para su uso, es factible utilizarlos principalmente como abono orgánico o como mejoradores del suelo por su alto contenido de nutrientes y materia orgánica .

Con este propósito en el Proyecto Lago de Texcoco se originó una metodología para el uso y aprovechamiento de los lodos que se generan en la planta de tratamiento de aguas negras del ex-Lago de Texcoco, que tiene una capacidad instalada para tratar 1 m³/seg y una producción potencial de lodos de 1000 a 4000 m³ por día con 98% de humedad, dirigiendo esta metodología como principal línea de investigación a la utilización de lodos residuales como sustrato para vivero en la propagación vegetativa de Tamarix .

OBJETIVOS

- General.

Desarrollar una metodología para el uso y manejo de lodos residuales con fines productivos en condiciones de seguridad e higiene.

- Particular.

Evaluar el efecto de los lodos residuales provenientes de plantas de tratamiento de aguas negras, previo tratamiento y dosificación para la propagación de especies forestales en vivero.

REVISION DE LITERATURA

(1).- Los tipos y cantidades de lodos producidos en el tratamiento de agua varían de planta a planta y de tiempo en tiempo. El manejo del lodo es responsable de alrededor del 30-49% del costo del capital de la planta de tratamiento, y alrededor del 50% del costo de operación. En términos de molestias y problemas causados, el manejo del lodo es valorado en 90% del sistema de tratamiento del agua. Por lo que no debe pasarse por alto la importancia del manejo en la disposición del lodo.

(2).- Uno de los problemas de los lodos es su variabilidad, por lo que se recomienda su análisis periódico, particularmente sobre macronutrientes y metales traza. El aumento de metales pesados puede matar o reducir la población de plantas, y una alta concentración de metales en los tejidos puede penetrar en la cadena alimenticia.

(3).- Es claro que la caracterización de cualquier lodo no es simple. La identificación de características de interés podría ser especificada en relación al problema o método de disposición. Por ejemplo, si un lodo es condensado en un condensador gravitacional, las características de interés podrían ser las de sedimentación. Si el lodo es utilizado como fertilizante, las características de interés podrían ser las concentraciones de nutrientes. Nuevos métodos han sido desarrollados para el manejo y disposición de lodos y podría ser necesario el desarrollo continuo de herramientas más sofisticadas y útiles para la caracterización de lodos.

(4).- Un estudio regional de la composición de lodos residuales fué llevado a cabo para la obtención de datos de 30 constituyentes en más de 250 muestras de lodos residuales de aproximadamente 150 plantas de tratamiento localizadas en 6 estados de la región norte-central y en 2 de la región este. El cómputo indica que los valores de la mediana de los niveles de N, P y K estuvieron separados por un rango relativamente estrecho, así las estadísticas muestran que las concentraciones medias en mg/Kg para la digestión anaeróbica de lodos residuales fueron los siguientes N, 4.2; P, 3.0; K, 0. ; Pb, 540; Zn, 1, 890; Cu, 1,000; Ni, 85; y Cd, 16 y para el tratamiento aeróbico; N, 4.8; P, 2.7; K, 0. Pb, 300; Zn, 1800; Cu, 970; Ni, 31; y Cd 16. La naturaleza heterogénea de los lodos residuales y la presencia negativa de metales traza requiere de un conocimiento de la composición química y de las necesidades de cada suelo.

(5).- Se hizo un estudio acerca de la acumulación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, y Zn en suelos tratados con lodos residuales con una aplicación continua durante 6 años. Se encontró que más del 90% de metales pesados depositados fueron encontrados de 0-15 cm de profundidad. Un incremento no significativo estadísticamente en el contenido de metales pesados fue detectado por sobre los 30 cm del perfil del suelo. La absorción de metales pesados por el cultivo incrementó con los porcentajes de aplicación del lodo.

(6).- Se estudió la acumulación y distribución en el suelo de cobre, zinc, cadmio, plomo, níquel y cobalto en dos sistemas de suelo-planta irrigados con aguas residuales. El cobre extractable del suelo y el zinc se acumularon sustancialmente en la capa de 0 a 30 cm de profundidad en el área de pastos; en la del maíz solo el cobre fue menor con respecto a la de pastos. Los niveles de cadmio se incrementaron en menor cantidad. No existe ninguna evidencia de que los metales pesados sean removidos de 0 a 30 cm de profundidad en ninguna de las áreas investigadas, tampoco una evidencia de la acumulación de plomo, níquel o cobalto con el tiempo. No hay contaminación seria en el suelo por metales pesados en ninguna de las áreas. Se recomienda el monitoreo de metales pesados anualmente, especialmente el cadmio, zinc y cobre, en la superficie del suelo y plantas y así evitar la posibilidad futura de su entrada en la cadena alimenticia en niveles no aceptables.

(7).- Existen muchas formas de medir la estabilidad del lodo, dependiendo del criterio deseado y del problema considerado. La localización y el método para la disposición final del lodo puede especificarse antes de que el grado de estabilidad del lodo pueda ser determinado y analizado racionalmente. Se ha sugerido que la estabilidad del lodo está dada sobre las bases tanto del potencial de deterioro ambiental como por la inducción de condiciones perjudiciales o molestas. Si cualquiera de estas condiciones no es combatida, el lodo no es estable, y se requiere de un tratamiento, que está ligado al método propuesto para disposición final.

(8).- Ohio está en la primera fila en la corriente para la aplicación de lodos residuales en tierras de cultivo. Actualmente alrededor de 80 sitios en el estado están practicando la aplicación de lodos estabilizadores. Una de las características del programa de Ohio que ha sido realizada bajo la aceptación de agricultores, aplicando lodo en porcentajes agronómicos que van de 1 a 6 toneladas de lodo seco por acre. Aplicando lodos en bajos porcentajes disminuyen los problemas y perjuicios medio ambientales asociados con muchos programas pasados cuando el lodo fue aplicado en altas proporciones.

(9).- Desde hace 30 años se han venido utilizando desechos para formar compostas con fines agrícolas. Después de la primera crisis del petróleo esto se ha incrementado, al mismo tiempo existe una considerable demanda de fertilizantes orgánicos, debido a la pérdida de humus en el suelo. En la última década se ha facilitado la elaboración de compostas de varios tipos de desechos orgánicos. Las compostas de lodo residual municipal se han incrementado rápidamente, sin embargo los agricultores perdieron interés debido al aumento en la concentración de plásticos y metales pesados. Entre los principales problemas de composteo se citan: El control de la humedad de los materiales implicados, los olores desagradables, mantenimiento del medio y alto costo de operación entre otros.

(10).- Composta. Una de las primeras etapas en el diseño del sistema de composteo, es la identificación de los usos de la composta y determinar la clase del producto que se necesita, si es necesario empacarlo, si va a ser utilizado en aplicación al suelo, en vivero, etc. Todo esto es importante para definir los objetivos y factores del diseño.

La textura por ejemplo puede afectar la comercialización del producto, los usuarios pueden preferir un producto fino a otro con partículas visibles de materiales.

Por otra parte la reducida porosidad de un producto fino puede hacerlo poco deseable para usarse como acondicionador de suelos para la agricultura y horticultura.

Un material con textura gruesa puede ser comercializado como material para la cubierta superficial que se usa en viveros y semilleros.

El contenido de humedad es también importante, un producto húmedo es difícil de manejar y poco limpio, un producto muy seco provoca polvo molesto al ser empleado.

(10).- Control del olor. El control del olor es el factor más importante para determinar la operación del sistema, el olor es producido por el lodo más que por la mezcla de la composta, sobre todo cuando las pilas de lodo están expuestas a la atmósfera antes del mezclado, así como cuando el composteo está incompleto por aireación inadecuada.

La mejor forma de controlar el olor es minimizando su generación a través del suministro adecuado de oxígeno además de mantener el sitio ordenado y limpio. La composta es un buen eliminador natural del olor producido por compuestos de azufre.

(10).- Características de la mezcla y equipo para mezclado. El objetivo de la mezcla es crear porosidad uniforme y recubrir el material orgánico con el lodo a través del mezclado. La falta de uniformidad en la porosidad corta el flujo de aire dando por resultado un composteo no uniforme y una pobre calidad del producto. El composteo se realiza en la superficie donde hay contacto con el oxígeno, así el proceso puede mejorarse cuando el área superficial del lodo puede incrementarse por contacto con el material orgánico.

El proceso de composteo requiere equipo para mezclar el lodo con el material, manipular las pilas, aerearlas y tamizar la composta. El equipo para manipulación de las pilas se usa para mover los materiales dentro de un sitio y así preservar la porosidad del material. Las maquinas usadas son el cargador frontal, transportador, desgranador, alimentador y máquina para rastrillar (hacer hileras con lomos).

(10).- Material orgánico para la composta. Este material es un factor crítico en cualquier sistema operativo de composteo.

Diferentes materiales han sido probados sucesivamente, incluyendo virutas, aserrín, esquilmos, tiras de madera, hojas y ramas secas, papel, cartón, basura orgánica, etc. Considérese que el material de mezclado para la composta afecta el proceso y calidad del producto final. Los materiales deben estar disponibles localmente a un costo razonable y en cantidad suficiente.

(10).- Consideraciones sobre salud pública y monitoreo. Los tres principales factores que deben reglamentarse en relación con la salud pública, son los patógenos primarios y los metales pesados en la composta como producto final y los patógenos secundarios (incluyendo *Aspergillus fumigatus*) en el sitio donde se realiza el composteo.

EL monitoreo de: lodo, material orgánico, proceso de composteo y producto final, es esencial para la operación, comercialización y relaciones públicas.

Para el monitoreo de patógenos se describen a continuación tiempo-temperatura y organismos indicadores.

Patógenos primarios. Pueden causar muchas enfermedades, de estos patógenos, los que pueden encontrarse en los lodos son: virus, bacterias, protozoarios y huevecillos de helmintos. Uno de los conceptos que se toman en cuenta para la sobrevivencia de estos patógenos es el valor L (L= letal). Un valor L es el tiempo necesario para alcanzar un logro de destrucción de un organismo específico a una temperatura específica.

En datos obtenidos en condiciones de laboratorio nos muestran que se necesitan 7.5 minutos a 60 grados centígrados para alcanzar un logro de destrucción para Salmonella sp.

En una prueba de composteo por pila "acamellonada" se observó una destrucción de patógenos en función de la profundidad dentro de la pila, encontrándose una destrucción de Salmonella sp. en todas las profundidades de la pila después de 15 días.

La destrucción de coliformes totales y fecales fue buena a una profundidad de 80 a 100 cm después de 15 días; sin embargo esta reducción no fue tan buena a profundidades de 20-40 cm de la superficie de la pila y fue peor a una profundidad de 0-20 cm, una razón para la relación entre la profundidad de la pila y la destrucción de patógenos en la pila es la falta de una cubierta aislante en la pila, esto hace que la capa superficial de la pila sea sensible a la temperatura ambiente.

Basados en estos y otros datos similares, la Environmental Protection Agency (EPA) publicó la norma 40 CFR parte 257, la cual define los procedimientos para reducir patógenos significativamente (PRPS) y los procedimientos para una amplia reducción de patógenos (PARP), que deben seguirse en los sistemas de composteo.

En la pila estática, la pila acamellonada y el composteo en tanque cerrado (reactor) son convenientes los criterios de PRPS siempre y cuando la pila alcance una temperatura de 40 grados centígrados por 5 días y cuando las temperaturas son mayores de 55 grados centígrados por 4 horas; bajo estas condiciones, se considera que los patógenos son reducidos significativamente.

Sin embargo, para mejores usos de las compostas se exigen niveles de control más estrictos, como los estipulados en PARP, para lograr estos criterios en sistemas de composteo por pila estática y tanque cerrado, deben lograrse temperaturas de 55 grados centígrados por 3 días, el producto de estos procedimientos son considerados seguros para cualquier uso que implique contacto directo con la composta.

Debido a que la experiencia indica que la destrucción de los patógenos varía de acuerdo con la profundidad de la pila en forma de camellón, los criterios de PARP para composteo con este tipo de pila son más estrictos; para lo cual se requiere que la pila mantenga una temperatura de 55 grados centígrados por 15 días y que las pilas sean volteadas al menos 5 veces (1 vez al día por 5 días consecutivos).

Aún cuando no está dentro de los requerimientos de los reglamentos de la EPA, en muchos sitios se monitorea las compostas mediante organismos indicadores que están presentes en gran número antes del composteo y que son muy resistentes a la destrucción.

Salmonella sp. y los coliformes totales y fecales son usados como indicadores de la sobrevivencia bacteriana. Los huevos de Ascaris lumbricoides, siendo de los patógenos más resistentes, son usados como indicadores de la sobrevivencia de parásitos. Los análisis de laboratorio para estos organismos son relativamente simples y rápidos.

Cuando los organismos indicadores han sido suficientemente reducidos, se asume que todos los demás organismos presentes han sido destruidos adecuadamente. Aún con estos resultados, el reposo de la composta por 30 días puede ser una protección adicional para asegurar una destrucción adecuada de los patógenos.

Patógenos secundarios. Aspergillus fumigatus es un hongo común que tiende a proliferar en ambientes cálidos o calurosos, causando enfermedades por hongos en las hojas de las plantas.

Este hongo causa una enfermedad respiratoria llamada aspergilosis en individuos susceptibles tales como aquellos que tienen asma, inmunosupresión y los ancianos.

Las esporas de este hongo están en todos lados y en todos los ambientes en condiciones naturales. Hace algunos años cuando se tenían pocos datos de como las operaciones de composteo afectaban la atmósfera con estas esporas, las comunidades locales expresaron que el composteo podía conducir al incremento de aspergilosis debido a que Aspergillus crece en los productos de madera (viruta) que se usa en la preparación de compostas.

Estudios recientes han mostrado que el composteo eleva el nivel de esporas temporalmente en el sitio durante ciertas operaciones, tales como el mezclado. Con respecto a la salud del personal deben tomarse medidas como excluir del tamizado al personal susceptible, usar aire acondicionado en áreas cerradas y/o equipar al personal con mascarillas.

(10).- Presencia de metales pesados. El contenido de metales pesados en la composta puede limitar su uso a aplicaciones para cultivos aún cuando no sean comestibles.

En un alto nivel la presencia de sales y metales pesados pueden afectar el crecimiento de las plantas, se requiere además un cuidadoso monitoreo del producto antes de su distribución; otra característica que puede afectar el uso de la composta es el pH; el color y olor pueden afectar también su comercialización.

(10).- Metales pesados. Están relacionados con la salud pública debido a su potencialidad para entrar en las cadenas alimenticias cuando los cultivos agrícolas o el forraje para ganado se cultivan en suelos abonados con compostas o cuando las vacas pastan en estos suelos.

Muchos metales pesados generalmente están presentes en bajas concentraciones, insuficientes para provocar una amenaza, o bien están retenidos en el suelo en formas altamente insolubles de tal manera que no están disponibles para las plantas ó no pueden absorberlos en apreciables cantidades. El cadmio es el metal que más se ha relacionado con la aplicación de lodos al suelo agrícola, ya que puede ir en la parte comestible de los vegetales en concentraciones significativas.

Si un lodo contiene metales pesados, los daños a la salud pública pueden ser evitados mediante el manejo del cultivo, por ejemplo no cultivar alimentos en suelos donde se aplican compostas de lodo, o bien cultivar solo aquellos alimentos que se conoce que no absorben estos metales, o bien además de controlar el pH (un pH alto, mayor de 7, reduce la absorción de metales pesados).

El contenido aceptable de metales pesados en la composta de lodos, desde el punto de vista de la salud pública depende en consecuencia, de cuanto lodo será usado.

Durante la operación de un sistema de composteo, es muy importante proyectar o determinar el contenido de metales en la composta debido a que puede afectar su utilización.

El composteo es un proceso biológico que no elimina metales. Cualquier metal en el lodo estará presente en la composta virtualmente en las mismas cantidades; sin embargo, la composta puede diluir la concentración de metales hasta cierto grado, dependiendo del tipo y proporción del material que se agrega al lodo para hacer la composta.

El factor de dilución debe tomarse en cuenta para satisfacer los reglamentos en cuanto al contenido de metales pesados, por ejemplo si un lodo contiene 15 partes por millón (ppm) de cadmio y el límite o norma estatal indica 12 ppm de cadmio en la composta de lodo, el sistema puede ser diseñado para producir una composta que satisfaga el reglamento oficial.

Cuando el contenido de metales pesados en el lodo es muy alto, puede reducirse a través de fuentes de control, reduciendo la aplicación de lodos y llevando un monitoreo para observar los límites permisibles.

10.- Por su origen los lodos residuales desechados contienen patógenos como bacterias, virus, protozoarios y helmintos; para su reducción significativa la EPA (1985) ha establecido los siguientes criterios: se requiere de una temperatura en las compostas de 40 °C durante 5 días consecutivos, ó bien temperaturas mayores de 55 °C durante 3 días. En pilas aeradas por volteo, se requiere 55 °C por 15 días aplicando cuando menos cinco volteos, uno cada 3 días.

11.- Las descargas industriales de metales pesados son consideradas como una amenaza para la salud pública. Una descarga residual líquida de metales que se origina de un proceso específico de manufactura en un complejo industrial, diluyó e hizo menos disponible la remoción de metales en la planta general de caída libre. Muchas técnicas han sido propuestas para tales tratamientos industriales y han comprobado no ser prácticas debido a los problemas de rigidez operativa, resultando de la naturaleza no convencional de los residuos. Algunas de estas técnicas incluyen precipitación de sulfuros, electrodeposición, cementación y extracción de solventes. Las nuevas técnicas propuestas incluyen: remoción de metales iónicos por el suelo, por selección de productos agrícolas tales como harina de trigo, gelatina, absorción de almidón de xantato, absorción de dithiol celulosa vecinal.

LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

Localización geográfica.- El área del ex-lago de Texcoco se encuentra localizada dentro de la zona oriente del Valle de México, colindante con el Distrito Federal; ocupando la parte sur de la mesa central de la República Mexicana, sobre una planicie cuya altitud media es de 2200 msnm.

El área queda comprendida dentro de las coordenadas geográficas: 19° 22' y 19° 37' latitud norte; y 98° 54' y 99° 03' longitud oeste

Clima.- Basado en el sistema de Koppen es Bs, kw (w) (1') semiseco con verano fresco y lluvioso y en invierno lluvias menores al 5% del total anual. Temperatura media anual 15.3 °C (García, 1968).

Precipitación.- Comprende un período lluvioso de 6 meses, de mayo a octubre con 530.1 mm. y un período seco de noviembre a abril con 70 mm. Total precipitación 600.1 mm. y evaporación total de 1800 mm.

La precipitación se presenta de manera irregular y de tipo torrencial siendo julio el mes más lluvioso y febrero el de menor precipitación.

Suelos.- En general la topografía es plana con una pendiente media de 2% ; los suelos son salino-sódico, las sales que predominan son los cloruros, carbonatos y bicarbonatos de sodio. Además se presentan otras características únicas de estos suelos como son pH muy alcalino, nivel freático somero y altamente salino, drenaje superficial e interno muy deficiente y presencia de un material con características excepcionales para retener sales y agua, comúnmente llamado jaboncillo.

Vegetación.- Es limitada, principalmente por las condiciones de los suelos, presentándose principalmente algunas halófitas como son:

- Distichlis spicata (zacate salado),
- Eragrostis obtusiflora (zacahuistle)
- Suaeda nigra (romerito)
- Tamarix spp. (tamarisco)
- Casuarina equisetifolia (casuarina)

Localización del sitio de la prueba experimental.- El sitio de pruebas se encuentra en la parte central de la zona federal del ex-lago de Texcoco, colindante con el lado norte de la planta de tratamiento de aguas negras (figura No. 1).

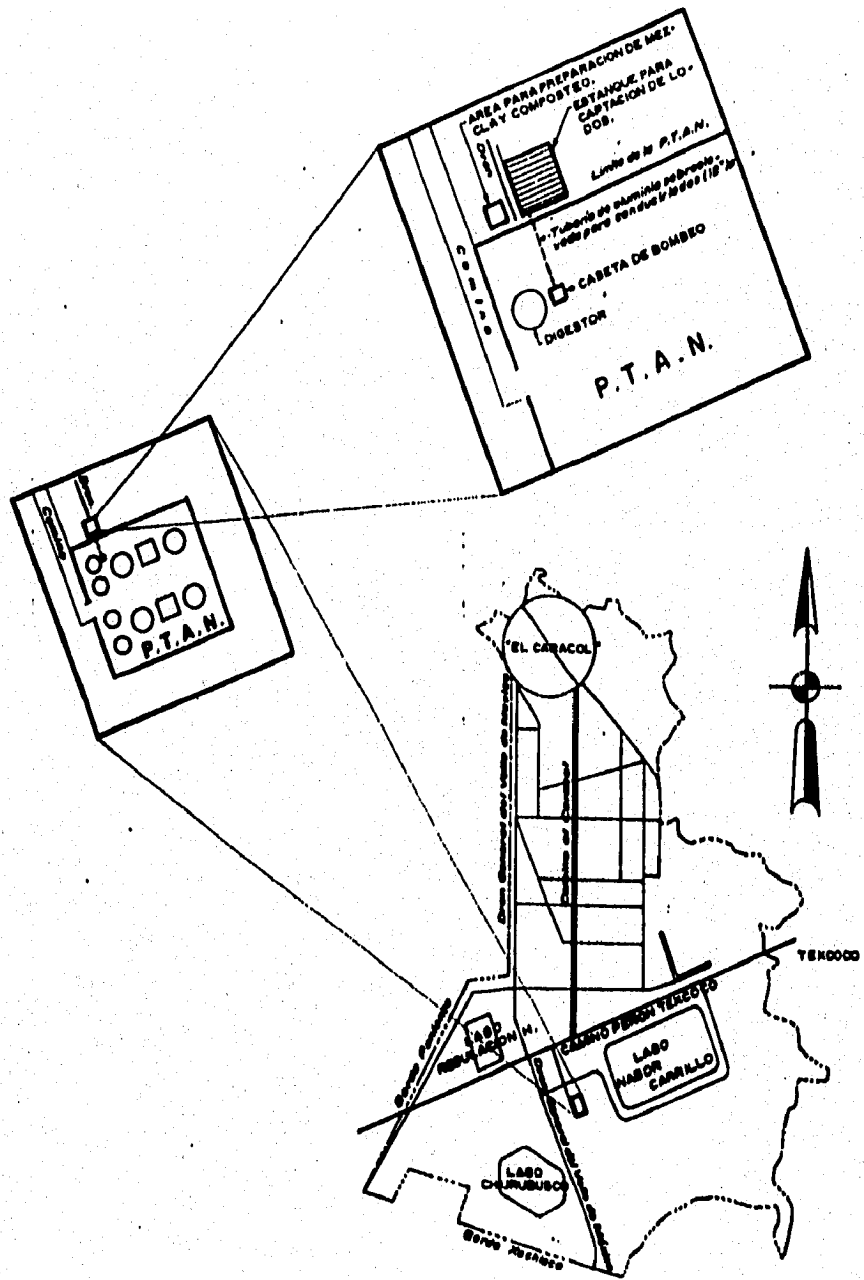


FIG.1. LOCALIZACION DEL SITIO PARA PRUEBAS DE COMPOSTEO E INFRAESTRUCTURA EMPLEADA.

DESARROLLO

En este apartado se incluyen los elementos técnicos obtenidos de diferentes citas bibliográficas que sirvieron de base para la realización del presente trabajo, así como el desarrollo de las pruebas experimentales efectuadas con sus diferentes etapas y pruebas de comprobación y definitivas.

Sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Los contaminantes del agua residual pueden ser eliminados por medios físicos, químicos o biológicos. Los procesos biológicos pueden ser aeróbicos o anaeróbicos y se clasifican de acuerdo con la dependencia del oxígeno por parte de los microorganismos que intervienen en el tratamiento. En los tratamientos aeróbicos, la estabilización de las aguas residuales se logra mediante microorganismos aeróbicos facultativos. Dentro de estos sistemas se consideran los que funcionan a base de lodos activados, filtros perforadores y lagunas de estabilización. En el proceso de lodos activados, el agua residual se estabiliza en un reactor con aereación por medio de difusores ó sistemas mecánicos. Una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido y parte de los sólidos sedimentados son retornados al reactor y la masa sobrante se elimina para no saturar el mismo sistema. Los objetivos que se persiguen con el tratamiento biológico del agua residual, son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables para reducir el contenido de materia orgánica y la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos.

La planta de tratamiento de aguas negras del Proyecto Lago de Texcoco utiliza el sistema de tratamiento de lodos activados, procesando aguas de origen municipal; por lo cual desde un principio se considera minimizada la presencia de metales traza y si por el contrario un alto contenido de materia orgánica, siendo esto muy favorable para su utilización como abono orgánico en vegetales y suelos.

Disposición de lodos residuales

Algunas de las alternativas que se han propuesto para la disposición de lodos residuales son la incineración, la depositación en rellenos sanitarios y su aplicación en suelos, todas ellas con ciertos inconvenientes (EPA 1985). Por la variabilidad de sus características, es necesario realizar análisis cuantitativos de los contaminantes contenidos en los lodos para determinar las medidas sanitarias que deben aplicarse para su disposición final (Page A.L. et al. 1983).

Siendo los lodos residuales un recurso potencial como abono orgánico, en el Proyecto Lago de Texcoco se vio la posibilidad de emplearlos con diferentes fines, apoyando las decisiones de uso y aplicación para utilizarlos como mejoradores de suelo y sustrato para vivero, siendo esta última línea de investigación en la que se apoya el uso de lodos en condiciones de seguridad, lo cual se explica en los siguientes apartados.

El composteo como una alternativa de solución

Una de las primeras etapas en el diseño del sistema, es la identificación de los usos de la composta y determinación de la clase de producto que se necesita, es decir, si es necesario empacarlo, si va a ser utilizado en aplicaciones directas al suelo, en vivero, etc. Todo esto es importante para definir los objetivos y los factores de diseño.

El composteo es una alternativa para el manejo de lodos residuales, ya que siendo un proceso biológico que estabiliza estos subproductos para su disposición final, permitirá dar un tratamiento a residuos sólidos mediante la descomposición biológica de los componentes orgánicos bajo condiciones aeróbicas controladas, hasta llegar a un estado en que puedan ser manejados, almacenados y/o aplicados (EPA 1985).

El material que se agrega a una composta, debe ser fuente de carbono para los microorganismos degradadores de la materia orgánica y debe incrementar la porosidad y el área de contacto del lodo expuesta al oxígeno atmosférico durante el composteo, además de disminuir la humedad de la composta. Los materiales que se han empleado para preparar la composta según la EPA (1985) son: corteza de madera, olotes o rastrojo de maíz, hojarasca, papel o cartón, cascarilla de cacahuete y arroz, desechos orgánicos de madera, etc.

Para la elaboración de composta se establece que deben considerarse la cantidad de sólidos y humedad tanto del lodo residual como de los materiales empleados en la mezcla, lo cual permitirá un adecuado composteo.

El porcentaje de sólidos en los materiales se determinará mediante el análisis de muestras previo a la elaboración de la mezcla.

La composta consiste en formar una mezcla homogénea de lodo con el material deseado, cuyo proceso de composteo requiere de 3 a 4 semanas para estabilizarse, tiempo en que la mezcla debe ser aerada para que el proceso biológico de transformación actúe sobre el lodo y se generen altas temperaturas, con lo cual se eliminarán los microorganismos dañinos (EPA 1985).

Experimentación (PRIMERA ETAPA)

Al inicio de esta etapa, uno de los principales problemas que se presentó fué el manejo de los lodos desechados por la planta, ya que estos contenían entre el 98-99 % de humedad y solo el 1-2 % de sólidos, lo cual constituía un compuesto prácticamente líquido, pero al generarse diariamente grandes volúmenes de lodo se pueden obtener los sólidos necesarios para satisfacer las cantidades requeridas.

Para el manejo y utilización de los lodos se procedió de la siguiente manera.

Construcción de infraestructura para obtención y captación de lodos.

Para llevar los lodos de la planta de tratamiento donde son generados y desechados, hacia los sitios de captación y área de composteo, se instaló una tubería de aluminio de 160 m de longitud y 14" de diámetro, efectuando el bombeo de lodos desde un cárcamo hasta los lechos de secado, construidos expresamente para llevar a cabo maniobras de captación, drenado de excedente de agua y deshidratación parcial.

Las dimensiones de los lechos de secado fueron de 25 X 2.50 X 0.50 m, se recubrieron con plástico para evitar el contacto entre el lodo captado y el suelo salino del ex-lago de Texcoco (figura No. 2).

Sedimentación de sólidos y eliminación del exceso de humedad

Captados los lodos se dejaron trascurrir 24 horas para que se diera la sedimentación de los sólidos contenidos en el lodo y proceder posteriormente al drenado del exceso de agua (sobrenadante) proveniente del alto contenido de humedad de los lodos (98-99 %), esta acción de eliminación de agua se efectuó por una de las cabeceras de las celdas de captación, lo cual se hizo en forma lenta para así evitar el arrastre de los sólidos.

Solo al principio de esta actividad se dejaron trascurrir 24 horas para sedimentar los sólidos entre cada recarga de lodos; posteriormente la práctica indicó, que se requería poco tiempo para la sedimentación, lo cual a partir de ser detectado se dejó solo 60 minutos para drenar el exceso de humedad y con la finalidad de acumular suficientes sólidos, la operación de captación de lodos se repitió varias veces en un mismo día, efectuando entre una y otra recarga la eliminación del exceso de humedad.

Para reducir aún más la humedad hasta lo deseado, se efectuó una práctica de deshidratación, exponiéndolos dentro del mismo lecho a la irradiación solar, batiéndolos continuamente para exponer las capas húmedas al medio ambiente.

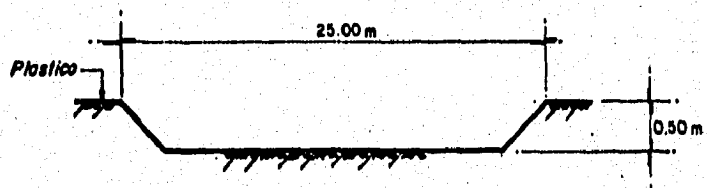
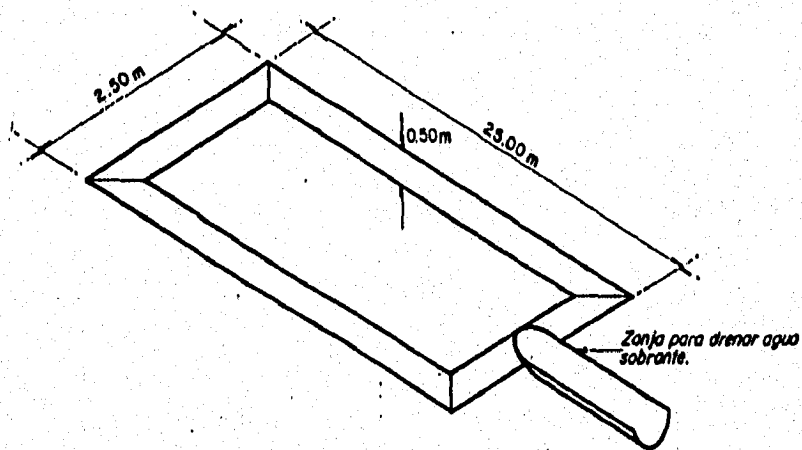


FIG. 2 PLANTA Y PERFIL DE UN ESTANQUE (LECHO DE SECADO) PARA CAPTACION Y DESHIDRATAACION DE LODOS.

Muestreo inicial de lodos para determinar cantidad de sólidos, humedad y presencia de microorganismos indicadores.

Para llevar a cabo la preparación de mezclas, previamente se determinaron los contenidos de sólidos y humedad de los lodos, para lo cual se tomaron muestras, enviándolas al laboratorio para su determinación y así proceder a realizar las mezclas conforme a las cantidades de lodo y material en las proporciones recomendadas y en las que se planteó.

Así mismo y previo a la preparación de mezclas se realizaron análisis bacteriológicos para saber en esta fase la presencia y concentración de microorganismos indicadores a eliminar, tanto en el lodo como en los materiales para la mezcla,

Preparación de mezclas.

Con los porcentajes de sólidos determinados y la humedad deseada, tanto en el lodo como en los materiales a emplear en la composta, se procedió a preparar las mezclas, adicionando las cantidades de lodo y material de acuerdo a las pruebas propuestas a observación, buscando la homogeneidad en cuanto a diferentes parámetros de acondicionamiento.

Las mezclas preparadas en esta primera etapa experimental fueron las siguientes:

LODO + TIERRA DE MONTE , PROPORCION 3 : 1

LODO + TIERRA DE MONTE , PROPORCION 2 : 1

LODO + TIERRA DE MONTE , PROPORCION 1 : 1

LODO + TIERRA DE MONTE , PROPORCION 1 : 3

LODO + TIERRA DE MONTE , PROPORCION 1 : 2

LODO + TIERRA LAMA , PROPORCION 3 : 1

LODO + TIERRA LAMA , PROPORCION 2 : 1

LODO + TIERRA LAMA , PROPORCION 1 : 1

LODO + TIERRA LAMA , PROPORCION 1 : 3

LODO + TIERRA LAMA , PROPORCION 1 : 2

LODO + TIERRA DE HOJA

LODO + ASTILLA DE MADERA

LODO + PAPEL

LODO + CARTON

LODO + RASTROJO DE MAIZ

LODO + ASERRIN DE MADERA

LODO + DESPERDICIO DE HORTALIZAS, FRUTA Y FLORES (BASURA ORGANICA)

En las mezclas de LODO + TIERRA DE MONTE y LODO + TIERRA LAMA se realizaron 2 repeticiones de cada una de las proporciones variando solo el volumen de la mezcla preparada.

El total de mezclas en esta primera etapa experimental fué de 37 pruebas.

Composteo de mezclas

Los sistemas de composteo se dividen en tres categorías: pila (montón o camellón), pila estática y tanque cerrado. En este caso, se describirá únicamente el sistema de pila, por haber sido el empleado para este trabajo; consiste en lo siguiente: se mezcla el lodo con otros materiales para formar pilas cónicas ó largas (como hileras ó bordos), las cuales son aireadas al ser volteada periódicamente la mezcla, ya sea mecánica o manualmente para exponer así la materia orgánica al oxígeno de la atmósfera. El volteo incrementa la porosidad y ayuda a exponer las zonas anaeróbicas hacia aeróbicas; sin embargo, según el sistema empleado y la conveniencia, se puede utilizar un compresor para forzar la entrada de aire hacia la mezcla (EPA 1985).

Para el composteo de las mezclas preparadas, descritas previamente se procedió como se indica en el párrafo anterior; todas las

compostas se voltearon manualmente auxiliándose de una pala, el volteo se hizo para airear la mezcla y oxigenar el sistema para favorecer la actividad de microorganismos en el proceso de estabilización. El volteo de las mezclas se efectuó cada tercer día durante el periodo que duró el proceso; buscando homogeneizar lo más posible la mezcla en cada volteo.

Registro de temperaturas de la mezclas durante el proceso de composteo y análisis bacteriológico.

Siendo el incremento de la temperatura en la mezcla el principal indicador de que se están realizando los procesos de estabilización y eliminación de microorganismos de la composta, se hizo el registro de temperaturas en tres horarios diariamente en todas y cada una de las pilas; 8, 10 y 12 hrs., empleando un termómetro a una profundidad de 20 cm., que correspondía aproximadamente al centro de la pila.

Con la finalidad de observar la variación de microorganismos en la mezcla durante el proceso de composteo, se tomaron muestras 2 veces por semana, enviéndolas al laboratorio para análisis bacteriológico. Teniendo como parámetro de variación la muestra inicial, que se tomó inmediatamente después de haber preparado la mezcla.

Experimentación (SEGUNDA ETAPA) y pruebas de comprobación.

Cabe señalar que antes de llegar a la obtención de resultados que permitieran recomendar un adecuado composteo se llevaron a cabo 43 pruebas preliminares, utilizando lodo con diferentes porcentajes de humedad, mezclándolo con diversos materiales, todo esto en distintas proporciones y volúmenes.

En esta segunda etapa experimental y tomando como base los resultados y observaciones de la primera etapa se procedió a preparar nuevamente mezclas, empleando LODO RESIDUAL + TIERRA DE MONTE Y LODO RESIDUAL + TIERRA LAMA, que fueron las que mejor resultado dieron en las primeras pruebas, siendo también estos los materiales disponibles y volúmenes necesarios en el momento requerido.

Una variación importante que se hizo en estas mezclas fué la reducción de humedad de los lodos, bajándola a 40 % en promedio, que a la postre fué lo que permitió que se diera una adecuada textura en la composta con presentación de grumos pequeños, lo cual permitiría mayor oxigenación y favorecería la actividad de microorganismos.

Otra variante fué que en las mezclas se utilizaron volúmenes mayores de lodo y material, quedando cada pila de 1 m³ en promedio.

Al igual que en la primera etapa se tomaron la muestras correspondientes para la observación de las diferentes variables (humedad, por ciento de sólidos, análisis bacteriológico, etc.).

Pruebas de comprobación

Las pruebas de comprobación, fueron exactamente con las mismas proporciones en todos los parámetros de la segunda etapa.

Utilización de compostas en vivero

Al haber obtenido la estabilización de las compostas de acuerdo a los parámetros establecidos (elevación de temperatura, reducción de patógenos a niveles permisibles, reducción considerable de olor, etc.), se llevaron las compostas a vivero para evaluar su efecto, empleándolas como sustrato en la propagación de la especie forestal Tamarix.

Debido a que la composta destinada a vivero presentaba un índice elevado de sales fué necesario aplicar, previo a su uso, un lavado con diferentes láminas de agua, para así desplazarlas y reducir la concentración de estas y por tanto el efecto negativo en el prendimiento y desarrollo de las varetas y brinzales respectivamente.

Las láminas de agua para lavado de la composta fueron las siguientes:

- 2.00 m para el tratamiento 1
- 2.60 m para el tratamiento 2
- 3.00 m para el tratamiento 3
- 3.40 m para el tratamiento 4
- 4.00 m para el tratamiento 5
- Composta sin lavar (testigo)
- Tierra de monte sin lavar (testigo)

Para tal efecto, se colocó la composta en contenedores de tabique acomodado, de aproximadamente 0.5 m³ cada uno, recubriéndolos internamente con plástico para evitar la dispersión y pérdida de composta, cabe señalar que para el arrastre de sales y drenado del agua de lavado se perforó el plástico en la parte inferior de los contenedores, el agua se aplicó en forma continua hasta cumplir con las láminas establecidas, removiendo la composta cuando se compacto para favorecer la filtración del agua.

Para determinar los índices de salinidad inicial y final de la composta se realizaron análisis de laboratorio.

Posterior al lavado, la composta fué llevada a envases, donde serviría como sustrato para la propagación vegetativa de Tamarix, estableciéndose 5 tratamientos de acuerdo a las láminas de lavado y 2 testigos, que fueron composta sin lavado y tierra negra.

Con la composta se llenaron 40 envases de 8 cm de diámetro X 25 cm de profundidad, para cada tratamiento.

Se seleccionó el material vegetativo, que consistió en varetas de Tamarix con tamaño promedio de 25 cm y grosor promedio 1 cm.

En la misma fecha, se realizó el estacado para todos los tratamientos, empleando enraizador en la parte basal de la vareta, previo a la inserción en el sustrato.

A partir de este momento se inició la etapa de vivero, llevándose a cabo las prácticas comunes, que consistieron básicamente en riegos y deshierbes, sin aplicación de fertilizantes y pesticidas. Una practica que no se realizó en forma deliberada fué la remoción del brinjal en toda la etapa de vivero, ya que para evaluar desarrollo radicular había que mantener la raíz sin dañarla desde el inicio hasta el final de la evaluación y observar más a fondo las bondades de la composta.

Así mismo y en forma periódica se realizaron las mediciones y observaciones del crecimiento y desarrollo de la planta hasta concluir la etapa de vivero.

RESULTADOS

Primera etapa experimental

Infraestructura instalada.- Los dispositivos implementados para el manejo de los lodos obtenidos del proceso de tratamiento que contenían un 98-99 % de humedad, resultaron funcionales y operativos, ya que tanto la tubería instalada como los lechos para captarlos, permitieron realizar las prácticas de acumulación de sólidos, eliminación de exceso de humedad, deshidratación y evitar mayor contaminación por sales del suelo.

Sin embargo el manejo de los lodos para su uso dependerá de los dispositivos que se instalen en cada planta de tratamiento, lo cual en determinado momento simplificará o dificultará su empleo.

Pruebas iniciales.- El composteo de las 34 mezclas preparadas en la primera etapa experimental no presentó los parámetros establecidos para un adecuado proceso, ya que en 32 de estas mezclas la temperatura no se elevó más de 5 °C de la temperatura ambiente en el momento de la medición. Siendo que se requieren temperaturas mínimas de 55 °C por varios días para eliminación de patógenos, adecuado composteo y estabilización. Fue solo en las mezclas de LODO + TIERRA DE MONTE y LODO + TIERRA LAMA que, durante el proceso de composteo las temperaturas se incrementaron un máximo de 10 °C más de la ambiental.

Todas estas pruebas fueron descartadas para ser utilizadas como sustrato en vivero ya que no cumplieron con los parámetros establecidos; sin embargo esta etapa de pruebas fue la base para corregir y continuar el estudio, ya que permitió observar principalmente, que el alto contenido de humedad de 75 a 85 % en el lodo empleado para toda esta primera etapa experimental, ocasionó que las mezclas preparadas se presentaran como una pasta que sellaba la superficie de la pila, lo cual no permitía la aireación natural evitando el paso del aire al interior de ésta; incluso con varios días de aireación manual (volteo de la mezcla) permanecían terrones de un tamaño regular que retenían humedad, evitando homogeneidad en la mezcla lo cual dificulta el proceso y no se da la estabilización de la composta.

Así mismo el exceso de humedad estaba relacionado con las proporciones de lodo y material empleado, a mayor proporción de lodo mayor humedad en la mezcla; considerándose que todos los materiales empleados en la mezcla tenían un mínimo de humedad. Por estas observaciones se logró determinar que la humedad y proporciones de los componentes de la mezcla influían en el composteo.

Aún cuando a todas las pruebas realizadas en esta primera etapa no cumplieron con los parámetros establecidos, se les dió seguimiento para observar comportamiento; los análisis bacteriológicos resultaron positivos y con concentraciones significativas en los patógenos indicadores.

Segunda etapa de pruebas y comprobación

Los resultados que se presentaron en la segunda etapa de pruebas durante el composteo cumplieron con los parámetros esperados.

Se elevaron considerablemente las temperaturas en las mezclas preparadas de una inicial promedio de 25 °C a una máxima de 65 °C con incrementos paulatinos al transcurso de los días y con variaciones de acuerdo a la profundidad de la pila donde fué tomada la temperatura, lo cual se observa con detalle en el cuadro No. 1 gráfica No. 1.

Con el incremento de las temperaturas durante el composteo de las mezclas se logró la reducción paulatina y eliminación de los patógenos indicadores. Los resultados de los análisis bacteriológicos muestran variaciones crecientes y decrecientes en la concentración de cuentas standar col/ml, coliformes totales col/ml y NMP/100 ml, lo cual se considera normal ya que durante el composteo se crea una condición favorable para su multiplicación, pero conforme transcurre el proceso, la condición que se crea los elimina o reduce a concentraciones no dañinas.

Con respecto a coliformes fecales NMP/100 ml, hongos y levaduras col/ml, los huevecillos de *Ascaris lumbricoides* y *Salmonella* sp. considerados de mayor riesgo, fueron reducidos y eliminados en un período corto de composteo; el incremento de la temperatura muestra una relación inversa en cuanto a la reducción de estos indicadores, ya que los análisis bacteriológicos y las temperaturas reportan que al incrementar ésta última se eliminan los patógenos. Los valores de los análisis se observan en el cuadro No. 2.

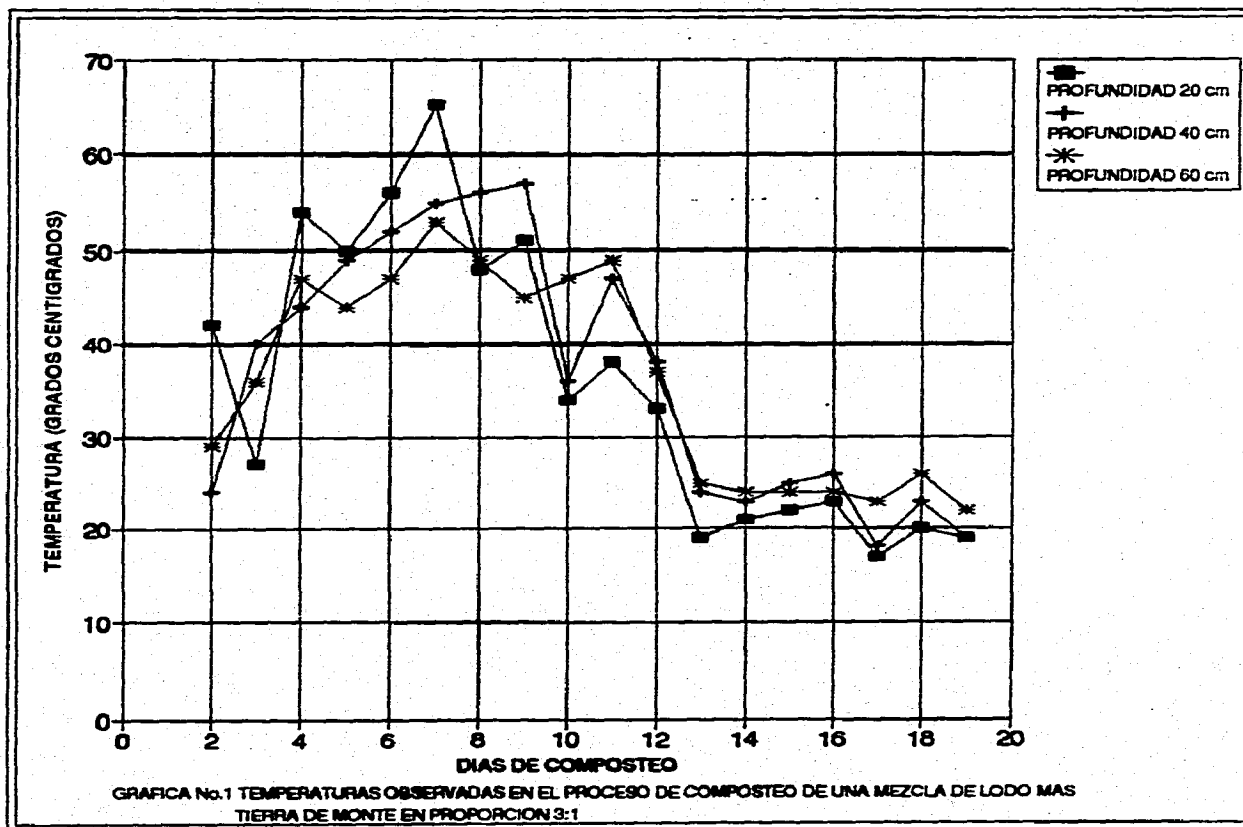
Con los resultados obtenidos en la segunda etapa experimental se logro la estabilización de los lodos mediante el composteo de acuerdo a los parámetros establecidos, cumpliéndose las expectativas esperadas principalmente en cuanto a la eliminación y reducción de patógenos a niveles no dañinos.

Sin embargo, y con la finalidad de proponer una metodología de composteo más precisa, se realizaron nuevas pruebas para comprobar los resultados de la segunda etapa, procediéndose de la misma manera en cuanto a proporciones y porcentajes de materiales, humedad y demás actividades, ejerciendo precisión y cuidando detalles, ya que de esto dependía determinar la metodología más adecuada y proponerla para la práctica de la utilización masiva de lodos residuales como sustrato para vivero.

Los resultados de las pruebas de comprobación fueron similares a los de la segunda etapa de pruebas, lo cual confirma que los procedimientos para el composteo y estabilización de lodos resultó una buena adecuación. Estos resultados se muestran en el cuadro No. 3 y gráfica No. 2 de temperaturas y cuadro No. 4 de análisis bacteriológicos.

DIAS DE COMPOSTEO	TEMPERATURAS (GRADOS CENTIGRADOS)		
	PROF. 20 cm	PROF. 40 cm	PROF. 60 cm
2	42	24	29
3	27	40	36
4	54	44	47
5	50	49	44
6	56	52	47
7	65	55	53
8	48	56	49
9	51	57	45
10	34	36	47
11	38	47	49
12	33	36	37
13	19	24	25
14	21	23	24
15	22	25	24
16	23	26	24
17	17	18	23
18	20	23	26
19	19	19	22
20	---	---	---

**CUADRO No.1 TEMPERATURAS OBSERVADAS A TRES PROFUNDIDADES
EN EL PROCESO DE COMPOSTEO DE UNA MEZCLA DE
LODO MAS TIERRA DE MONTE EN PROPORCION 3:1**

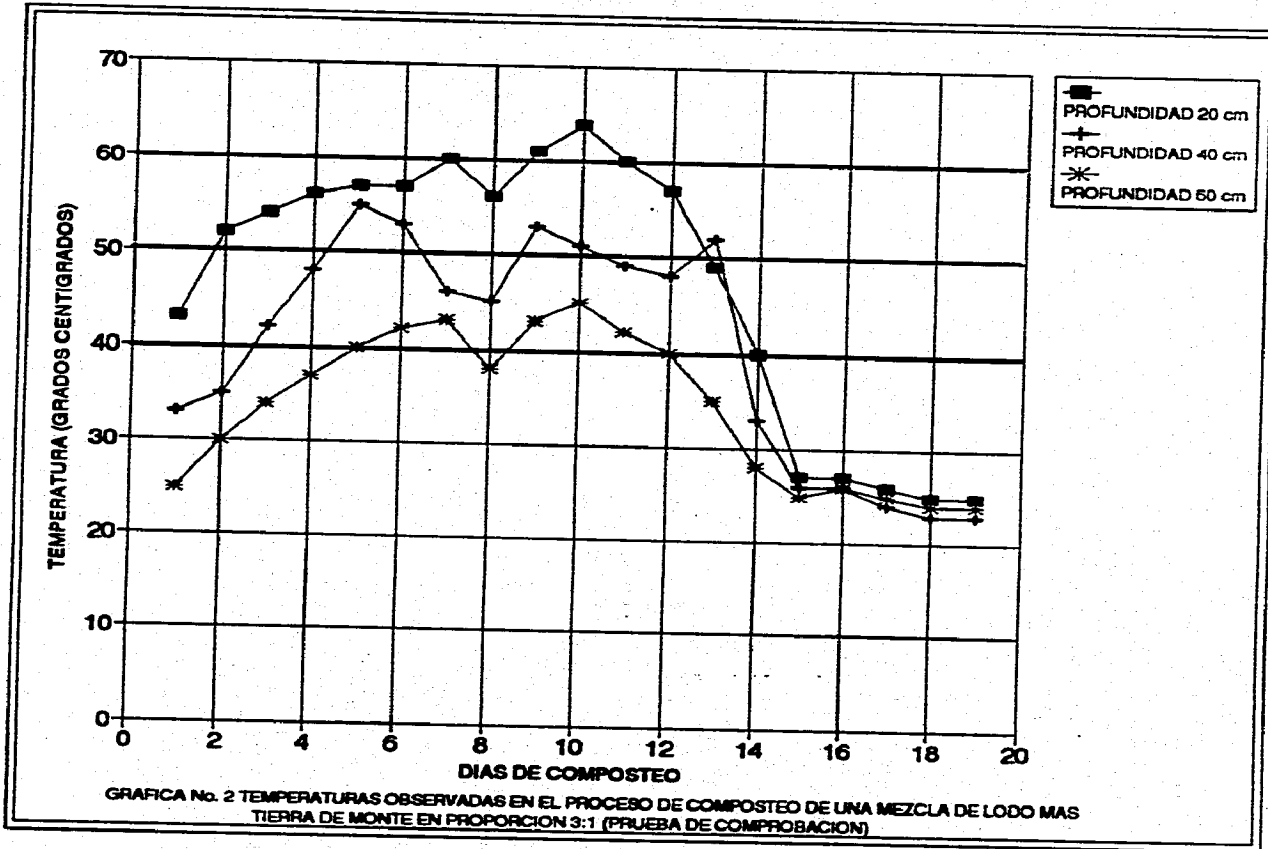


**CUADRO No. 2 RESULTADOS DE LOS ANALISIS BACTERIOLOGICOS
EFECTUADOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTEO
A UNA MEZCLA DE LODO MAS TIERRA DE MONTE EN
PROPORCION 3:1**

INDICADORES	MUESTRAS Y ANALISIS			
	INICIAL	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS
Coliformes Totales (col/ml)	1.00E+06	2.00E+06	1.00E+06	Negativo
Cuentas Standar (col/ml)	6.36E+07	4.00E+06	1.56E+06	4.40E+07
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	4.00E+06	7.00E+06	4.00E+06	Negativo
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	3.00E+06	Negativo	Negativo	Negativo
Hongos y Levaduras (col/ml)	4.00E+06	2.00E+06	Negativo	Negativo
Huevecillos de A. Lumbricoidea	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo
Salmonella sp	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo

DIAS DE COMPOSTEO	TEMPERATURAS (GRADOS CENTIGRADOS)		
	PROF. 20 cm	PROF. 40 cm	PROF. 60 cm
1	43	33	25
2	52	35	30
3	54	42	34
4	56	48	37
5	57	55	40
6	57	53	42
7	60	46	43
8	56	45	38
9	61	53	43
10	64	51	45
11	60	49	42
12	57	48	40
13	49	52	35
14	40	33	28
15	27	26	25
16	27	26	25
17	26	24	25
18	25	23	24
19	25	23	24
20	---	---	---

**CUADRO No.3 TEMPERATURAS OBSERVADAS A TRES PROFUNDIDADES
EN EL PROCESO DE COMPOSTEO DE UNA MEZCLA DE
LODO MAS TIERRA DE MONTE EN PROPORCION 3:1
(PRUEBA DE COMPROBACION)**



**CUADRO No. 4 RESULTADOS DE LOS ANALISIS BACTERIOLÓGICOS
EFECTUADOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTEO
A UNA MEZCLA DE LODO MAS TIERRA DE MONTE EN
PROPORCION 3:1 (PRUEBA DE COMPROBACION)**

INDICADORES	MUESTRAS Y ANALISIS			
	INICIAL	5 DIAS	11 DIAS	18 DIAS
Coliformes Totales (col/ml)	1.00E+05	2.00E+08	1.00E+08	Negativo
Cuentas Standar (col/ml)	6.38E+07	4.00E+08	1.40E+08	1.58E+08
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	4.00E+05	7.00E+08	4.00E+08	Negativo
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	3.00E+05	Negativo	Negativo	Negativo
Hongos y Levaduras (col/ml)	4.00E+05	2.00E+08	Negativo	Negativo
Huevecillos de A. Lumbricoides	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Salmonela sp	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Utilización de composta como sustrato para vivero en la propagación de plantas forestales de Tamarix

Lavado de composta para desplazamiento de sales.- Antes de emplear la composta como sustrato fué necesario desplazar las sales contenidas en ésta y reducir así la concentración y efecto negativo que pudieran ejercer sobre las plantas, tanto en el prendimiento de varetas como en el desarrollo en la etapa de vivero y observar así con mayor plenitud el efecto de los lodos sobre la propagación de plantas.

La conductividad eléctrica inicial de la composta al término del proceso de estabilización, fue de 22 mmhos/cm; con la aplicación de las diferentes láminas de agua para lavado de sales de los 5 tratamientos expuestos, se logró disminuir la concentración salina hasta un valor promedio de 3.2 mmhos/cm; siendo la más alta después del lavado 4.52 mmhos/cm que corresponde al tratamiento 1 con lámina de lavado de 2.00 m. Y la más baja 2.60 mmhos/cm al tratamiento 5 con lámina de lavado de 4.00 m. Estos resultados se presentan en forma lógica si se considera que a mayor lámina de lavado mayor desplazamiento de sales.

Con la reducción significativa de sales de 22 a un promedio de 3.2 mmhos/cm, se consideró aún más las posibilidades de éxito de la composta como sustrato para vivero.

Los resultados de los lavados de suelos y láminas de agua aplicadas se muestran en el cuadro No. 5.

CUADRO No. 5 LAVADO DE SALES CONTENIDAS EN LA COMPOSTA APLICANDO DIFERENTES LAMINAS DE AGUA

TRATAMIENTO	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA INICIAL (mmhos/cm)	LAMINA DE AGUA APLICADA	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA FINAL (mmhos/cm)
1	22	2.00	4.52
2	22	2.60	3.75
3	22	3.00	3.25
4	22	3.80	2.9
5	22	4.00	2.6
6	22	SIN LAVADO	--
*7 (TIERRA DE MONTE)	0.6	SIN LAVADO	--

* TESTIGOS

Evaluación de prendimiento y desarrollo de varetas de Tamarix establecidas en la composta elaborada como sustrato.

Las evaluaciones realizadas se basaron en la respuesta que tuvo la planta de Tamarix, con relación a prendimiento, desarrollo radicular, follaje, etc., por considerar que es el mejor y más claro indicador de las bondades del lodo residual composteado y empleado como sustrato para la propagación en vivero.

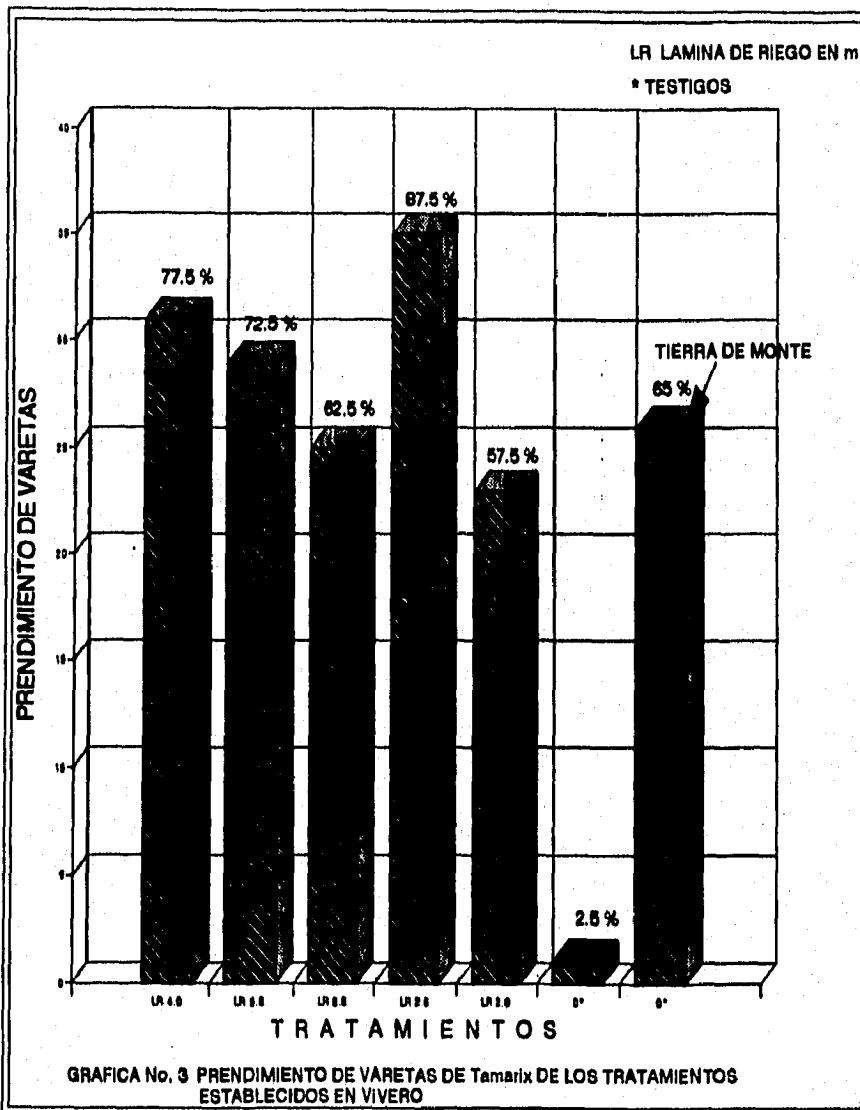
La primera evaluación de la composta como sustrato se hizo de acuerdo al prendimiento de varetas para cada uno de los tratamientos establecidos en relación con la lámina de lavado aplicada y la concentración salina del sustrato.

En general el prendimiento de varetas para los diferentes tratamientos fueron buenos, puesto que sobrepasó el porcentaje de 65% obtenido normalmente en los viveros del Proyecto Lago de Texcoco, cuando son empleados materiales comunes (Gráfica No.3).

Cabe señalar que aunque el prendimiento fué proporcional en relación a la lámina de lavado y concentración salina (a mayor lavado menor concentración salina y mayor prendimiento), en el tratamiento No. 2 con salinidad de 3.75 mmhos/cm. se observó el más alto prendimiento que fue de 87% pero debe considerarse que esto puede obedecer a la respuesta natural del material vegetativo en cuanto a la maduración óptima de la vareta para reproducirse.

El prendimiento de varetas en el sustrato que no se lavó, empleado como testigo, fué casi nulo ya que solo prendió el 2.5%, lo cual es aceptable ya que la concentración salina de la composta sin lavar era muy alta, entendiéndose que es una limitante que inhibe la manifestación de brotes en las varetas plantadas.

En cuanto al sustrato de solo tierra de monte que también se empleó como testigo, se obtuvo el prendimiento medio de 65% observado normalmente en los viveros del ex-lago de Texcoco.



CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos con el sistema experimental empleado para el composteo de lodos aportan los parámetros de diseño para el aprovechamiento masivo de los lodos de la planta de tratamiento de aguas negras del ex-lago de Texcoco.

- Con la metodología de composteo utilizada, puede lograrse la estabilización de los lodos y eliminar los patógenos contenidos en este a niveles no dañinos para los vegetales y sin riesgo para el hombre.

- La adecuación del sistema de composteo empleado permite transformar el lodo en un producto con propiedades favorables para ser usado como sustrato en viveros.

- El contenido de humedad de los lodos al momento de preparar la mezcla depende del material a adicionar; en el caso de la mezcla de lodo más tierra de monte la humedad deberá ser del 35 al 50%.

- La mezcla de lodo más tierra de monte proporción 3:1 fué con la que mejor resultados se observaron en los procesos de composteo y pruebas en vivero, por tal su implementación en forma masiva podría abatir las necesidades de tierra de monte u otros materiales empleados comúnmente en vivero hasta en un 70%.

- La lámina de agua promedio para lavar las sales contenidas en los lodos que se generan en el ex-lago de Texcoco es de 2.60 m.

- El prendimiento de varetas y desarrollo vegetal empleando la composta preparada fue bueno, ya que se presentaron índices elevados de hasta el 87%.

- Con los resultados obtenidos se concluye que los lodos residuales que se generan en cualquier planta de tratamiento, representan un recurso potencial para diferentes usos agrícolas, principalmente por su alto contenido de materia orgánica previo tratamiento, dosificación y control.

RECOMENDACIONES

- Implementar esta metodología para manejar y emplear el lodo a niveles masivos y destinarlos para diferentes usos agrícolas.

- Instalar en las plantas de tratamiento los dispositivos necesarios para manejar los lodos al ser retirados del proceso de tratamiento y destinarlos a un fin aprovechable.

- Crear infraestructura para captar y procesar volúmenes masivos de lodo para su empleo favorable.

BIBLIOGRAFIA

- (1).- Vesilid, P.A. 1975 Treatment and disposal of wastewater sludge. Ann Arbor Science. 48106 pag. 236 (1- 11 pp).
- (2).- Pierce, R. G. (1987) Sewage Sludge for Agricultural Use. Waste Age June Vol. 8, pp 6-8,9, 10 y 114.
- (3).- Vesilid, P.A. 1975 Treatment and disposal of wastewater sludge. Ann Arbor Science. 48106 pag. 236 (11-29 pp).
- (4).- Sommers, L, E. 1977 Chemical Composition of Sewage Sludges and Analysis of Their Potential Use as fertilizers. J. Environ. Qual., Vol. 6, No. 2, 225-227 pp.
- (5).- Chang, A.C. et al. 1984. Accumulation of Heavy Metals in Sewage-Sludge-Treated Soils. J. Environ. Qual., Vol. 13, no. 1. 87-91 pp.
- (6).- Slide, R.C. et al. 1977. Accumulation of Heavy Metals in Soils from Extended Wasterwater Irrigation. J. Environ. WPCF 311-318 pp.
- (7).- Vesilind, P.A. (1975) Treatment and disposal of wastewater sludges. Ann Arbor Science Publishers 48106. No. pag. 236 (30-55 pp).
- (8).- White, R.K. y Brown, R.E.(1985) Applying Sludge at Aronomic Rates. BioCycle. pp 20-24.
- (9).- Kubota, H.; Satashi, M. y Mayuki, S. (1985) Composting Hasa Promising Future in Japan. BioCycle, No. 3, 28-31 pp.
- (10).- Environmental Protection Agency,1985. Composting to Municipal Wastewater Sludges. Seminnar Publication. EPA/625/4-85/014. Cincinnati,OH. USA.
- (11).- Ronald D. et al 1977. A Kinetic Model Equilibrium Relation Ship for Heavy Metal Accumulation. J.Water Poll. pp 1-10.

- (12).- Muñiz, R.L. 1986. Evaluación de elementos químicos contenidos en los lodos residuales de ECCACIV (Empresa para el control de la contaminación de aguas de CIVAC), estado de Morelos. 9º Congreso Nacional de Hidráulica, Cd, Querétaro, Qro. México.
- (13).- CEPIS. 1985. Aspectos Sanitarios de la Utilización de aguas Residuales y Excretas en la Agricultura y Acuicultura. Informe de divulgación técnica de reunión celebrada en Engelberg Suiza.
- (14).- Chaney, R.L. 1973 Crop and Food Chain Effects of Toxic Elements in Sludges and Effluents. In Recylyng Municipal Sludges and Effluents on Land. Nat. Assoc. St. Univ. and Land Grant Coll. Washington, D.C.
- (15).- Chaney, R.L., y P.M. Giordano, 1977. Microelements as Related to Plant Deficiencias and Toxicities. In L.F. Elliot and F.D. Stevenson (eds.) Soils for Management of Organic Wastes and Wasters. American Society of Agromomy, Madison, WI.
- (16).- Coker. E.g. and P.J. Wathews. 1983. Metals in Sewage Sludge and their Potencial Effects in Agriculture. Wat. Sci. Tech. Vol. 15, Capetown, 209-225 pp. Great Britain.
- (17).- Ishikawa, T. y I. Dodo. 1982. Present Status of Land Application of Sewage Sludge in Japan. In Proc. Int. Symp. Land Application of Sewage Sludge. Association of Utilization of Sewage Sludge., Tokyo.
- (18).- Matthews, P.J. C. Chem, FRIC, F. Inst. Pet, AMIWPC. 1979. Sewage Sludge Disposal-A Service to Agriculture. Effluent and Water Treatment Journal. Vol. 19.
- (19).- Muñiz, R.L. 1986. Evaluación de elementos químicos contenidos en los lodos residuales de ECCACIV (Empresa para el control de la contaminación del agua), Estado de Morelos. 9º Congreso Nacional de Hidráulica. Asociación Mexicana de Hidráulica.
- (20).- Pedraza, C.A. et al. 1987. Propagación y Establecimiento de Tamarix sp en Suelos Altamente Salinos del ex- lago de Texcoco. Primera Reunión Nacional Sobre Halófitas. Hermosillo Son., México.

(21).- Sejas, A.J. 1978. Comportamiento Físico y Químico de suelos ensalitrados sometidos a lavado con diluciones graduales. Tesis de Maestría, C.P., Chapingo México.

(22).- Llerena, V. F. A. y Becerra, M.A. 1984. Lavado de suelos salino-sódicos en el ex-lago de Texcoco, aplicando diferentes láminas de agua. Reporte interno CLT México.