



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE
SUSTRATOS FORESTALES DISEÑADOS CON BIOSÓLIDOS DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

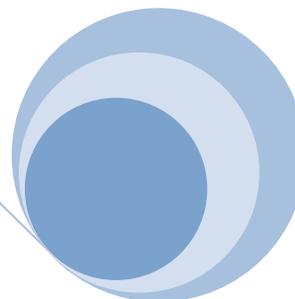
PRESENTA

Mora Huicochea Carlos

TUTOR DE LA TESIS:

M. en C. Ezequiel Carlos Rojas Zenteno

Los Reyes Iztacala, Edo. de México 2016





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.

JURADO ASIGNADO

DRA. SILVIA ROMERO RANGEL

DR. IGNACIO PEÑALOSA CASTRO

M. en C. EZEQUIEL CARLOS ROJAS ZENTENO

DR. DANIEL JESUS MUÑOZ INIESTRA

M. en C. LILIANA ELIZABETH RUBIO LICONA

Lugar donde se realizó la tesis:

Facultad de Estudios Superiores Iztacala

Laboratorio de Taxonomía y Ecología de Árboles y Arbustos

DEDICATORIAS

A mis Papás: Joel y Ofelia

Porque siempre han creído en mí desde antes de nacer, por su apoyo incondicional y su amor inmenso que nunca se los podré recompensar como yo quisiera.

A mis familiares

Gracias a su cariño y su presencia, a mis papás y a mi hermana que nos ayudaron a ser mejores personas, por estar presentes en los momentos importantes de nuestras vidas.

A mis Amigos

Que siempre con su presencia, apoyo y amistad, me hizo la persona que soy, que estuvieron conmigo tanto en los buenos como en los malos momentos y ahora tienen un lugar especial en mi vida.

A mi esposa

Que me ha ayudado a seguir adelante y estar a mi lado día a día para poder desarrollarme en mi persona, no dejar de lado las cosas y concluir las.

AGRADECIMIENTOS

Al M. en C. Ezequiel Carlos Rojas Zenteno por su dirección y apoyo durante la elaboración de este proyecto, muchas gracias.

A CONACYT y el Sistema de Becas de Posgrados de Excelencia por el financiamiento que me otorgaron durante el desarrollo de esta tesis.

A mí jurado Dra. Silvia Romero Rangel, Dr. Ignacio Peñalosa Castro, M. en C Ezequiel Carlos Rojas Zenteno, Dr. Daniel Jesús Muñoz, M. en C. Liliana Elizabeth Rubio Licona por su tiempo y valiosa aportación a mi proyecto de tesis.

A mi papá Joel Mora y Ofelia Huicochea, que me enseñó siempre a ser responsable y perseverante, a mi hermana Diana, por hacerme reír y por su apoyo.

A mis familiares que siempre estuvieron pendientes de mí y me apoyaron a cada momento.

A M. en C. Carlos Rojas y Dra. Silvia Romero, que me apoyaron y aconsejaron siempre durante el trabajo de laboratorio para realizar este proyecto.

Dr. Daniel Jesús Muñoz y a la Mtra. Mayra Mónica Hernández, que me apoyaron y aconsejaron siempre durante el trabajo de laboratorio para realizar este proyecto.

A mis nuevos compañeros de la tesis Ángel, Julio, Lizbeth, y Memo que siempre conté con ellos para realizar este trabajo.

A mi esposa por su apoyo y su motivación a terminar este proyecto.

Y a todas las personas que directa o indirectamente estuvieron involucrados.

Y a ti por leer esta tesis.

MIL GRACIAS.

INDICE

RESUMEN	1
SUMMARY	2
INTRODUCCION	3
MARCO TEÓRICO	6
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	6
Biosólidos.....	6
Manejo de los biosólidos	7
Metales presentes en los biosólidos.....	8
Aplicación de biosólido como mejoradores de suelos.....	10
Lodos residuales, tratamiento y usos	11
Tratamiento de lodos.....	11
Reúso de lodos residuales.....	12
Uso agrícola	12
Uso forestal.....	13
Reglamentación sobre el uso de los Biosólidos	13
PRINCIPALES PROPIEDADES QUE SE MEJORAN CON LOS BIOSÓLIDOS	15
Parámetros químicos.....	15
Parámetros físicos.....	22
Sustratos	25
ANTECEDENTES	27
OBJETIVO GENERAL	31
OBJETIVOS	31
METODOLOGÍA	32
Fase de laboratorio	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
Temperatura	34
Capacidad de intercambio catiónico total	34

Humedad.....	35
pH	36
Materia orgánica	37
Nitrógeno total	38
Calcio y Magnesio	39
Densidad aparente	40
Densidad real	41
Porosidad	41
Textura.....	42
Fosforo.....	43
CONCLUSIONES.	39
RECOMENDACIONES.	39
PROPUESTA	40
Preparación y caracterización de suelo y biosólidos.	41
ABREVIATURAS	42
BIBLIOGRAFÍA	43
BIBLIO WEB	46
Anexo 1	46
Capacidad de Intercambio Catiónico	46
Material.	47
Procedimiento.	47
Humedad	48
Material y equipo.....	48
Procedimiento.	49
Cálculos.	49
pH.	49

Procedimiento	50
Contenido de Materia Orgánica.....	50
Nitrógeno Total.	51
Material y equipo.....	52
Calcio y magnesio intercambiable.	54
Densidad aparente.	55
Material.	55
Procedimiento.	55
Densidad real.	56
Material.	56
Procedimiento.	56
Porosidad del suelo.....	57
Determinación de Textura.....	58
Material y equipo.....	58
Procedimiento.	58
Fosforo asimilable.....	60
Material y equipo.....	61
Procedimiento.	61

RESUMEN

Uno de los principales problemas para producir plantas forestales es disponer de sustrato de buena calidad y en cantidad suficiente.

El tratamiento de aguas residuales genera lodos que pueden utilizarse como sustrato para el desarrollo vegetal, esta alternativa podría permitir reducir la extracción de suelos y poder obtener beneficios para la conservación de áreas naturales. También permite reducir el uso de fertilizantes químicos comerciales y ofrecer la oportunidad de proveer N a bajo costo para los cultivos y también suministrar otros nutrientes a los suelos como: fósforo, hierro, zinc y cobre disponibles para la planta.

El objetivo de principal del presente trabajo fue evaluar propiedades físicas y químicas de dos mezcla de sustrato (suelo con materia orgánica y agrolita) y lodos procedentes de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos la cual es parte del proyecto "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM)" que realiza la Facultad de Química de la UNAM. Dicha planta piloto que se ubica en la CUSI Almaraz de la FES Iztacala en Cuautitlán Izcalli, Estado de México, que estará en funcionamiento en febrero de este año.

Con esto determinar si los resultados serian benéficos para las plantas de tipo forestal, considerando que este material contiene grandes cantidades de materia orgánica, N, P y K, fósforo total, además de otros nutrientes como Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn.

Palabras clave: sustratos, biosólidos, planta de tratamiento y análisis fisicoquímicos.

SUMMARY

One of the main problems to produce forest plants is to have good quality substrate in sufficient quantity.

The wastewater treatment sludge generated can be used as substrate for plant growth, this alternative would allow reducing soil removal and to obtain benefits for the conservation of natural areas. It also reduces the use of chemical fertilizers business and offers the opportunity to provide low-cost N for crops and provide other nutrients to the soil as phosphorus, iron, zinc and copper available for the plant.

The main objective of this study was to evaluate physical and chemical properties of two mixture of substrate (soil with organic matter and perlite) and sludge from the treatment plant of organic solid waste which is part of the "Generation of a pilot system treatment of organic municipal solid waste (RSOM) "performing the Faculty of Chemistry, UNAM. This pilot plant is located in Almaraz CUSI of granting me in Cuautitlan Izcalli, State of Mexico, which will be operational in February this year.

With that determine whether the results would be beneficial for plants of forest type, considering that this material contains large amounts of organic matter, N, P and K, total phosphorus, and other nutrients such as Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn.

Keywords: substrates, biosolids treatment plant and physicochemical analysis.

INTRODUCCION

La sociedad humana ha ejercido una fuerte presión sobre el ambiente, con el objetivo de satisfacer las necesidades de crecimiento y desarrollo socioeconómico. Debido a que muchas de estas acciones son dañinas, se ha afectado la vegetación original, el suelo, el agua y la atmosfera. Por esto es necesario buscar alternativas para el manejo de los recursos naturales sin causar daño y experimentar con opciones que permitan la recuperación de los ecosistemas perturbados. (Castañeda, 2011).

La calidad de una plantación forestal está relacionada con la calidad de las plántulas, para obtenerlas no sólo es necesario contar con buen material genético, también es indispensable la incorporación de la tecnología adecuada en el proceso de la producción.

En tal sentido, el sustrato en el que la planta desarrollará sus primeros estadios de vida es un elemento tecnológico fundamental para la obtención de plantas de calidad. (Valenzuela *et al*, 2007). Es por eso que se han buscado alternativas para la producción vegetal sin la necesidad del uso de fertilizantes. Una de estas alternativas es la utilización de recursos como los abonos orgánicos, especialmente el humus de lombriz o vermicomposta por su contenido nutrimental, de materia orgánica y de microorganismos, un auténtico fertilizante biológico (Compagnoni y Potzolu, 2001).

En general, un sustrato adecuado es aquel que garantiza altos porcentajes en la producción de plantas, y a la vez presente menos pérdidas por factores adversos durante el proceso germinativo y el tipo de sustrato que se use afecta al desarrollo de la planta. Distintos materiales son utilizados como medios de crecimiento, ejemplo de ellos son: suelo superficial, arena, composta, turba, aserrín, vermiculita, algunos materiales sintéticos, etc., o mezclas de ellos.

En los próximos años, muy probablemente, un gran número de plantas de tratamiento de aguas y desechos sólidos estarán operando en México, como Morelos, Monterrey, Jalisco y Toluca que comienzan a utilizar algunos de los productos que se originan de las plantas de tratamiento, que básicamente son lodos y agua que son utilizados, principalmente en el campo de la producción vegetal y su riego. Por otro lado, los lodos removidos son enviados a vertederos, con lo cual no solo se desaprovechan sus componentes orgánicos sino que también contribuyen al deterioro ecológico del medio ambiente (Castañeda *et al*,2009).

Otro ejemplo es el de Cuba, país que utiliza biosólidos para el cultivo como una alternativa a los problemas ecológicos y económicos provocados por el uso intensivo e inadecuado de fertilizantes minerales a nivel doméstico e industrial. (Utria *et al*, 2008). En México, el volumen de aguas residuales es de 187 m³/s, y sólo 22% recibe algún tipo de tratamiento, lo que produce 640,000 ton base seca de lodos al año (CONAGUA, 2000).

En varios países de América y de Europa se ha propuesto la reutilización de estos biosólidos siendo la más frecuente el uso de los lodos en el campo de la agricultura gracias a que es una alternativa económica de suministrar nutrientes a los suelos para su mejoramiento.(Fresquez *et al*, 1990).

Dichos problemas se presentan debido a que una gran parte de los químicos usados en los cultivos no son asimilados por las plantas, de hecho se estima que solo se aprovecha una fracción que oscila entre el 10 y el 60% del total (Peña *et al*, 2001). En este sentido se ha pensado que la utilización de los biosólidos mezclados con algunos sustratos en distintas proporciones puede resultar beneficioso en el desarrollo de plantas de tipo forestal y ornamental considerando que este material contiene grandes cantidades de

materia orgánica, N, P y K, además de otros nutrimentos como Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn y B (Lovell, 1996).

Por ello, la tendencia sugerida por la Organización Mundial de la Salud (OMS); que consiste en la aplicación controlada de biosólido en suelos para el desarrollo de cultivos y también para la biorremedación de los suelos contaminados y/o erosionados. Los tipos de terrenos en los que se aplican pueden ubicarse dentro de cuatro grupos: terrenos agrícolas, terrenos forestales, terrenos con suelos degradados o erosionados y los rellenos sanitarios destinados a recibir lodos de desecho. (Castañeda *et al*, 2009).

Es importante tomar en cuenta las características físicas finales del sustrato pues son la base para el normal desarrollo de la planta, ya que determinarán la disponibilidad de oxígeno, la movilidad del agua y la facilidad para la penetración de la raíz. (Calderón, 2002). Los biosólidos también pueden actuar como fertilizantes, aportando nutrientes directamente disponibles para las plantas o por mineralización de compuestos orgánicos. La principal desventaja que poseen es la presencia de sales solubles (alta conductividad eléctrica), lo que es la principal limitante para su para su utilización en mezclas para sustratos.

El trabajo se enfoca en la evaluación de las propiedades físicas y químicas de un sustrato que consiste en una mezcla de suelo, agrolita y biosólidos procedentes de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos ubicada en la CUSI Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

MARCO TEÓRICO

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

BIOSÓLIDOS

Se identifica a los “Biosólidos residuales” como aquellos sólidos remanentes del proceso de tratamiento de agua de desecho urbano, compuestos por materia orgánica residual no descompuesta, o en proceso de descomposición, obtenidos de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). El uso de los Biosólidos residuales en la agricultura está supeditado a los niveles de concentración de los parámetros de patógenos, parásitos y metales pesados, según NOM-004-SEMARNAT-2002. Varios estudios en México y en el mundo demuestran que el uso en los cultivos incrementa el rendimiento en plantaciones forestales aumentando la sobrevivencia. Se ha considerado que los Biosólidos por sus características propias o por las adquiridas después de un proceso de estabilización pueden ser susceptibles de aprovechamiento siempre y cuando cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos o, en su caso, se dispongan en forma definitiva como residuos no peligrosos, para atenuar sus efectos contaminantes para el medio ambiente y proteger a la población en general. (Castañeda et al. 2012).

La utilización en agricultura de los lodos procedentes de todo tipo de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas está sometido a tener una concentración en metales pesados se mantenga por debajo de límites considerados peligrosos. Para ello se pueden adoptar dos criterios:

- Limitar la cantidad de biosólidos aplicados.
- Usar biosólido con muy baja concentración de metales.

MANEJO DE LOS BIOSÓLIDOS

En las aguas residuales los constituyentes eliminados de las plantas de tratamiento incluyen residuos sólidos, arena, espumas y lodos. La generación de lodo depende de las operaciones y procesos de tratamiento, al salir los lodos suelen ser líquidos o semisólidos; el contenido de sólidos varía entre el 0.25 y el 12 % en peso. El tratamiento de los lodos es, por mucho, el de mayor volumen; su evaluación y solución es, quizás, el problema más complejo al que se enfrenta el ingeniero ambiental. El problema del manejo de los lodos radica en que están formado, principalmente, por la materia orgánica, que también está sujeta a procesos de descomposición que la pueden hacer indeseable, como también por las sustancias responsables que ocasionan el no poder reutilizar las aguas residuales no tratadas. Sólo una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida, que se divide en sólidos suspendidos (patógenos, materia orgánica coloidal, arenas y arcillas) y sólidos disueltos (DBO soluble, sales y iones), el resto está constituido por agua. (Metcalf & Eddy, 2003).

El elevado contenido de materia orgánica presente, tanto en lodos primarios como secundarios, hace que sean materiales putrescibles; por otro lado, su alto contenido de agua (entre el 70 y el 94 %) los hace voluminosos y pesados. El tratamiento de los lodos está enfocado a reducir en lo posible estas características, transformándolos en materiales biológicamente estables, con volúmenes menores al que tenían al salir de la sedimentación, y con menor masa al reducirse el contenido de agua y la masa de microorganismos.

De esta manera se facilita su manejo, ya sea para su uso como mejorador de suelo, como combustible, u otros usos alternos, o bien para su disposición final en rellenos sanitarios u otro tipo de confinamiento. Los

principales objetivos en el tratamiento de los lodos son: 1) disminución de olores ofensivos; 2) reducción del volumen de agua, 3) reducción de la masa de sólidos para facilitar su manejo; y 4) reducción del número de microorganismos patógenos. (Ramalho, 1991).

METALES PRESENTES EN LOS BIOSÓLIDOS

Los metales, como el cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb), manganeso (Mn), mercurio (Hg), níquel (Ni) y zinc (Zn) son componentes importantes de la mayoría de las aguas y los lodos. Muchos de estos metales también se clasifican como contaminantes prioritarios. Sin embargo, algunos de estos metales son necesarios para el crecimiento de la vida biológica, y la ausencia de cantidades suficientes de ellos podría limitar el crecimiento de algas, por ejemplo. Pero la presencia de cualquiera de estos metales en cantidades excesivas puede ser tóxico, por lo que con frecuencia es conveniente medir y controlar las concentraciones de estas sustancias. Los metales de importancia en el tratamiento, reutilización y disposición de efluentes y biosólidos se resumen en la cuadro 1.

Cuadro 1.- Metales de importancia en las aguas residuales y biosólidos.

Metal	Símbolo	Nutrientes necesarios para el crecimiento biológico		Umbral de concentración de efecto inhibitor sobre los organismos heterótrofos (mg / L)	Se utiliza para determinar el RAS para la aplicación al suelo de los efluentes	Se utiliza para determinar si los biosólidos son convenientes para el uso de la tierra
		Macro	Micro ^b			
Arsénico	As			0.05		✓
Cadmio	Cd			1.0		✓
Calcio	Ca	✓			✓	
Cromo	Cr		✓	10 ^c , 1 ^d		
Cobalto	Co		✓			
Cobre	Cu		✓	1.0		✓
Hierro	Fe	✓				
Magnesio	Mg	✓	✓			
Manganeso	Mn		✓		✓	
Mercurio	Hg			0.1		✓
Molibdeno	Mo		✓			✓
Níquel	Ni		✓	1.0		✓
Plomo	Pb		✓	0.1		✓
Potasio	K	✓				
Selenio	Se		✓			✓
Sodio	Na	✓			✓	
Tungsteno	W		✓			
Vanadio	V		✓			
Zinc	Zn		✓	1.0		✓

^a (Metcalf & Eddy, 2003)
^b A menudo identificado como oligoelementos necesarios para el crecimiento biológico.
^c Cromo total

APLICACIÓN DE BIOSÓLIDO COMO MEJORADORES DE SUELOS.

Quizás la opción de disposición final de lodos más interesante para nuestro país, sea el aprovechamiento de los biosólidos como mejoradores de suelos, ya que, además de proporcionar nutrientes, incrementan la retención de agua, mejoran el suelo cultivable y restauran suelos erosionados. Por tanto, al uso estrictamente agrícola hay que sumar la posibilidad de que se les pueda utilizar para regenerar suelos estériles o bien tratar suelos deforestados, lo que permitiría mejorar la cubierta vegetal, que permitiría controlar inundaciones como consecuencia de lluvias torrenciales y una mayor capacidad de infiltración de esos suelos, por tanto, la recarga de los acuíferos.(Cordero,2010).

En suma, las partículas finas y orgánicas de los biosólidos pueden incrementar características tales como humedad y disponibilidad de nutrientes. A largo plazo los biosólidos entregan una continua y lenta liberación de nutrientes al sustrato, da un valor añadido, suponiendo a su vez un ahorro en fertilizantes, factor que debe ser tomado en cuenta.

El biosólido enriquece y mejora las características texturales del suelo a través de una variedad de nutrientes, especialmente nitrógeno (N) y fósforo (P) los que con frecuencia se encuentran en forma limitada. En un corto plazo la adición de biosólido puede mejorar la productividad del suelo ya que éste entrega virtualmente un suministro inmediato y necesario para el desarrollo de la planta. (Ortega, 2006).

Se ha observado en estudios que después de aplicar el biosólido al suelo se logra un decremento de coliformes fecales y una reducción de huevos de helminto. Se obtienen cambios en las características físicas y químicas del suelo, como la neutralización del pH, el incremento en la

conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y porosidad. Los riesgos potenciales del uso del lodo que se deberán considerar para la agricultura son: la presencia de patógenos en los lodos tratados y el incremento de la conductividad eléctrica. (Cardoso, 2002).

LODOS RESIDUALES, TRATAMIENTO Y USOS

Generalmente todas las actividades humanas, domésticas y productivas generan contaminantes estos consisten en materia o energía que al incorporarse al ambiente modifican la composición de los ecosistemas naturales afectando la calidad del aire del agua o del suelo y perjudicando la salud humana, la flora o la fauna nativa (Oliver, 1981). Ante el incremento de los niveles y tipos de contaminantes, se han desarrollado diversos enfoques y procedimientos para su prevención reducción y tratamiento, entre los que se encuentran el vertido controlado, la incineración y compostaje. Así mismo, la eliminación de residuos tóxicos y peligrosos contempla el vertido al mar y el movimiento transfronterizo de los mismos, para depositarlos en zonas degradadas.

Superficiales, sin embargo se pueden considerar como fertilizantes valiosos que pueden aplicarse al suelo. Los contaminantes orgánicos como plaguicidas, disolventes industriales, colorantes, plastificantes, agentes tensos activos y muchas otras moléculas complejas, generalmente con poca solubilidad en agua y elevada capacidad de adsorción, tienden a acumularse en los lodos.

TRATAMIENTO DE LODOS

El tratamiento de aguas residuales es una combinación de procesos físicos químicos y biológicos que genera enormes volúmenes de lodos orgánicos altamente putrescibles. Facilitar su manejo, se someten a

estabilización para así adquirir la categoría de biosólidos (SEMARNAT, 2003). La posterior utilización, sus cuidados y restricciones ambientales, dependerán de la concentración de metales pesados, contaminantes tóxicos y organismos patógenos. La persistencia de algunos metales y sus riesgos para la salud humana y medioambiental, imponen una activa vigilancia de todos los procesos de utilización y disposición final.

REÚSO DE LODOS RESIDUALES

Los altos costos del uso de fertilizantes químicos así como el riesgo de contaminación de suelo, agua y flora, con la presencia de residuos que estos ocasionan, representan una problemática relevante. Los metales pesados y contaminantes orgánicos presentes en los lodos pueden limitar su utilización como fertilizantes, por lo que es de gran importancia reducir la concentración de sustancias tóxicas que presentan. El origen de los lodos, sea de hogares o de industrias, determina su composición química. Los materiales provenientes de sistemas industriales o lluvias, contribuyen significativamente a la presencia de metales pesados (Fytianos y Charantoni 1998).

USO AGRÍCOLA

Los desechos orgánicos en general y los lodos residuales en particular pueden ser reciclados en la agricultura ya que pueden proporcionar materia orgánica al suelo (Petruzelli, 1989). La aplicación agrícola de los biosólidos se basa en la posibilidad que tienen para satisfacer los requerimientos de materia orgánica de los cultivos. La aplicación de los residuos para este fin implicaría la solución de los problemas ambientales) la reducción de una fuente potencial de contaminación) el aprovechamiento de un recurso de bajo costo que permite mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, con un aumento de productividad. El uso de lodos residuales en suelos agrícolas, se han incrementado debido a su bajo costo en comparación

con el de los fertilizantes, además de que suministran microelementos a las plantas como boro, cobre, hierro, magnesio, azufre y zinc. Además, son una fuente importante de nitrógeno y fósforo y pueden mejorar la estructura y la capacidad de retención de agua del suelo (Huerta et al. 1988; Oberhaster 1991).

USO FORESTAL

Los lodos residuales contienen un gran contenido de nutrimentos como el nitrógeno y cationes básicos como sodio, potasio, calcio y magnesio. Sin embargo, el pH del suelo de grandes zonas forestales pueden acidificarse como el consecuente disminución de estos cationes por lo que necesitan un suministro adicional de nutrimentos así como también la adición de sustancias amortiguadoras. Una gran porción de los nutrimentos presentes en los lodos están enlazados con la materia orgánica de tal manera que están disponibles de manera gradual durante la mineralización. La materia orgánica también puede mejorar la capacidad para mantener el agua y nutrimentos. Asimismo, la productividad forestal se afecta positivamente con el uso del lodo residual porque es fuente de nitrógeno y otros nutrimentos (Remetan et al, 1993).

REGLAMENTACIÓN SOBRE EL USO DE LOS BIOSÓLIDOS

La Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección Ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especifica los límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Establece los límites en la concentración de algunos elementos en los biosólidos que se aprovechan en terrenos con fines agrícolas, incluyendo pastizales. En general, los biosólidos para usos forestales, mejoramiento de suelos y usos agrícolas deberán cumplir con las concentraciones indicadas para los biosólidos de tipo “buenos” y de clase C. Sin embargo, no debemos olvidar

que un aporte de lodos al suelo, de forma continua y reiterada durante largos períodos de tiempo, favorece la acumulación de metales en el mismo, por lo que obliga al control de los suelos tratados y tener un estricto control de monitoreo.

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación. • Los establecidos para clase B y C
EXCELENTE Ó BUENO	B	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación. • Los establecidos para clase C
EXCELENTE Ó BUENO	C	<ul style="list-style-type: none"> • Usos forestales. • Mejoramientos de suelos. • Usos agrícolas.

Cuadro 2.- Aprovechamiento de biosólidos (NOM-004-SEMARNAT-2002).

A medida que más se hace uso de efluente de aguas residuales tratadas para el riego y biosólidos como abono, la variedad de metales debe ser determinada para evaluar los efectos adversos que pueden ocurrir. El calcio, el magnesio y el sodio son de importancia en la determinación de la relación de absorción de sodio (RAS), que es usada para evaluar la calidad de las aguas residuales tratadas para uso en riego. La contaminación de metales en los lodos o biosólidos que se apliquen al suelo debe controlarse para evitar la contaminación y la bioacumulación. (NOM-004-SEMARNAT-2002).

Cuadro 3.- Límites permisibles para metales pesados en biosólidos.

Contaminante (Determinación en forma total)	Excelentes mg/kg	Buenos mg/kg
	En base seca	En base seca
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

PRINCIPALES PROPIEDADES QUE SE MEJORAN CON LOS BIOSÓLIDOS

PARÁMETROS QUÍMICOS.

Son aquellas propiedades como materia orgánica (MO), la acidez-neutralidad-alcalinidad a través del pH, la salinidad expresada como conductividad eléctrica (CE) y el contenido de nitrógeno total (NT) (Valenzuela *et al.*, 2005). Su importancia radica en los efectos que producen todos estos sobre los organismos acuáticos ya sean vegetales o animales y además de las alteraciones.

Los desperdicios orgánicos que se encuentran en el agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno para su respiración, esto quiere decir que cuanto mayor es la cantidad de materia orgánica, mayor es el número de microorganismos y por tanto mayor consumo de oxígeno.

Capacidad de Intercambio Catiónico.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, merced a su contenido en arcillas. Éstas están cargadas negativamente, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas exhiben capacidades de intercambio catiónico mayores.

Los cationes de mayor importancia con relación al crecimiento de las plantas son el calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^+), amonio (NH_4), sodio (Na^+) e hidrógeno (H^+). Los primeros cuatro son nutrientes y se encuentran involucrados directamente con el crecimiento de las plantas. El sodio y el hidrógeno tienen un pronunciado efecto en la disponibilidad de los nutrientes y la humedad. En los suelos ácidos, una gran parte de los cationes son hidrógeno y aluminio en diversas formas. (Miramontes, *et al*, 1999)

También contribuyen a la CIC las clases, cantidades y combinaciones de los minerales arcillosos y las cantidades de materia orgánica y su estado de descomposición. Los cationes no son retenidos con la misma energía de enlace. Los sitios de intercambio de la materia orgánica, solo enlazan en forma débil a los cationes. Las arcillas con gran capacidad de intercambio tienden a enlazar los cationes bivalentes como el Ca^{++} y el Mg^{++} , con más energía que el K^+ .

Si la CIC está neutralizada principalmente por calcio, magnesio, potasio y sodio, se dice que está saturada de bases. Sin embargo, si los cultivos o el lixiviado han removido la mayor parte de los cationes básicos, el suelo está bajo en saturación de bases o alto en saturación ácida. Las cantidades totales de cationes ácidos relativas a la CIC son una medida de la saturación ácida. Ésta también es una medida de las necesidades de encalado de un suelo (aplicar cal). (Miramontes, *et al*, 1999) (NOM-021-RECNAT, 2000).

Humedad.

El agua es esencial para todos los seres vivos porque en forma molecular participa en varias reacciones metabólicas celulares, actúa como un solvente y portador de nutrimentos desde el suelo hasta las plantas y dentro de ellas. Además, intemperiza las rocas y los minerales, ioniza los macro y micro nutrientes que las plantas toman del suelo, y permite que la materia orgánica sea fácilmente biodegradable. El contenido de agua en el suelo puede ser benéfico, pero en algunos casos también perjudicial. El exceso de agua en los suelos favorece la lixiviación de sales y de algunos otros compuestos; por lo tanto, el agua es un regulador importante de las actividades físicas, químicas y biológicas en el suelo (Topp, 1993).

Es recomendable determinar la capacidad de campo de los suelos, es decir, la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad, cuando se deja drenar libremente. En algunas ocasiones, como cuando se trata de suelos contaminados, por ejemplo con hidrocarburos del petróleo, es difícil llevar a cabo esta medición por la dificultad de rehidratar suelos secos con estas características. Por lo que la medición de la capacidad de campo se realiza sólo en función del porcentaje de agua que retiene. (Linares, *et al*, 2006).

pH.

La lectura de pH se refiere a la concentración de iones hidrógeno activos (H^+) que se da en la interface líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos. La concentración de iones hidrógeno es fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. El valor de pH es el logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno, que se expresa por números positivos del 0 al 14. Tres son las condiciones

posibles del pH en el suelo: la acidez, la neutralidad y la alcalinidad. (Miramontes, *et al*, 1999) (NOM-021-RECNAT, 2000).

Contenido de Materia Orgánica.

El carbono orgánico es uno de los principales componentes de los seres vivos: aproximadamente 50% del peso seco de la materia orgánica es carbono. En el medio ambiente su ciclo está estrechamente ligado al flujo de energía, debido a que las principales reservas de energía de los organismos son compuestos de carbono reducidos que han derivado de la fijación del CO₂ atmosférico, ya sea por medio de la fotosíntesis o, con menor frecuencia de la quimiosíntesis (Tiessen, 1993). Las plantas y los animales que mueren son desintegrados por los microorganismos, en particular bacterias y hongos, los cuales regresan el carbono al medio en forma de bióxido de carbono.

La materia orgánica del suelo es la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición; tejidos y células de organismos que viven en el suelo; y sustancias producidas y vertidas por esos organismos. Esta definición es muy amplia pues incluye tanto a los materiales 36 poco alterados como a aquellos que sí han experimentado cambios de descomposición, transformación y resíntesis dentro del suelo. (Linares *et al*, 2006).

Nitrógeno

Los compuestos del nitrógeno son de gran interés para los ingenieros ambientales debido a su importancia en los procesos vitales de todas las plantas y animales ya que las reacciones biológicas sólo pueden efectuarse en presencia de suficiente nitrógeno, además las concentraciones de los compuestos de Nitrógeno nos proporcionan información relativa al grado de oxidación o reducción de los compuestos orgánicos. La química del nitrógeno

es compleja debido a los varios estados de valencia que puede asumir este elemento y al hecho de que los cambios en la valencia pueden ser efectuados por organismos vivos. Para añadir aun más interés, los cambios de valencia efectuados por las bacterias pueden ser positivos o negativos, según se tenga la condición aerobia o anaerobia. (Ortega, 2006).

Las formas de mayor interés, son: nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos, nitrógeno de nitratos, y nitrógeno orgánico.

Fosforo asimilable

El fósforo elemental (P) no se encuentra en estado libre en la naturaleza porque se oxida muy fácilmente; sin embargo, son muy comunes los compuestos orgánicos y principalmente minerales que contienen fósforo.

En términos generales, el fósforo del suelo se clasifica en fósforo orgánico e inorgánico, dependiendo de la naturaleza de los compuestos que forme. La forma orgánica se encuentra en el humus y la materia orgánica, y sus niveles en el suelo pueden variar desde 0 hasta mayores que 0.2%. La fracción inorgánica está constituida por compuestos de hierro, aluminio, calcio y flúor, entre otros, y normalmente son más abundantes que los compuestos orgánicos. Solo una pequeña parte del P aparece en solución en suelo (< 0.01-1 mg L⁻¹). (Ortega, 2006).

El P es un macronutriente esencial para las plantas y los microorganismos, junto con el nitrógeno y el potasio. Puede ser un nutrimento limitante, ya que es un componente de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos.

Los análisis de P sirven fundamentalmente para el control de la dosificación de productos químicos en tratamientos de agua o suelos, o como

un medio para determinar que un sistema presenta contaminación por exceso de este compuesto (Muñoz *et.al*, 2000).

Las plantas absorben únicamente el fósforo que está en la solución del suelo en forma de HPO_4^{2-} (ión fosfato monoácido) y $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$ (ión fosfato diácido). Cualquier fertilizante, ya sea de origen orgánico o mineral debe transformarse primero en estas formas químicas antes de ser utilizado por el cultivo.

Las diferencias entre los residuos orgánicos y los fertilizantes minerales son principalmente dos:

1) Velocidad de disponibilidad para el cultivo: los residuos orgánicos tienen que ser primero descompuestos por los microbios, mientras que los abonos minerales ya tienen los compuestos en la forma que la planta los utiliza.

2) Concentración: los residuos orgánicos tienen concentraciones más bajas de fósforo que los compuestos minerales.

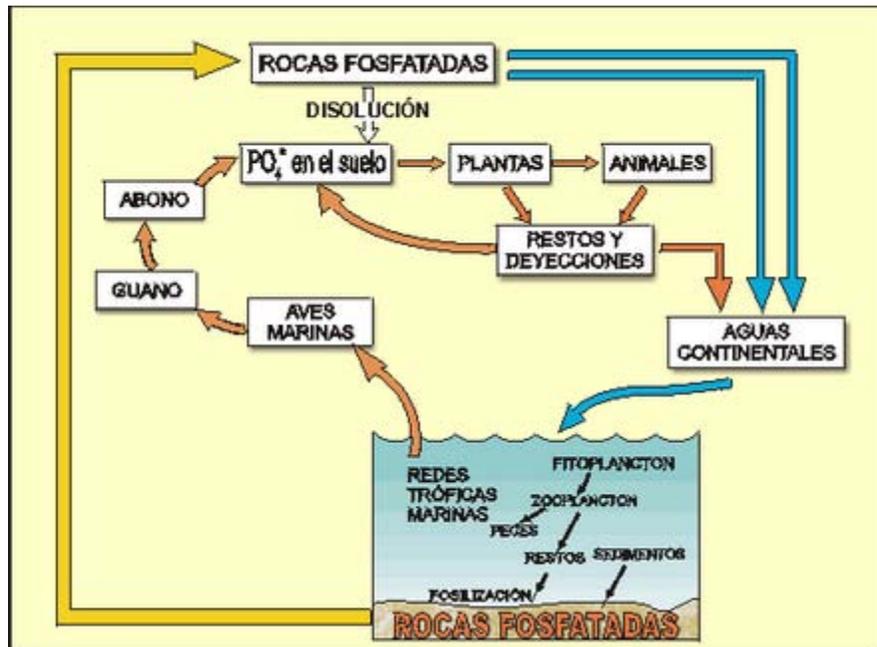


Figura 1.- Ciclo del fósforo en el suelo

La figura 1 muestra el ciclo del fósforo en la naturaleza y la intervención del hombre en el mismo. Se puede observar que se pierde fósforo por: escurrimiento, erosión, lavado y extracción en la cosecha. Por otro lado se regresa fósforo al suelo por medio de adición de fertilizantes minerales, que es la más importante y significativa, también se retorna de los residuos de animales y plantas y por deposición atmosférica.

Calcio y magnesio intercambiables.

El calcio es uno de los principales componentes de la litosfera y ocupa el quinto lugar en abundancia entre otros elemento. Por su alta capacidad de combinación forma un vasto número de compuestos, por esta razón, no se encuentra en estado elemental. Asimismo, este elemento constituye un

nutriente esencial para todo ser vivo. La presencia de calcio en el suelo permite:

- Neutralizar la acidez de los suelos al intercambiar los iones H positivos.
- Mejorar la estructura del suelo y aumentar la estabilidad de los agregados.
- Mejora la permeabilidad al agua y la aireación.

El magnesio es el segundo catión intercambiable preferido electroestáticamente por casi todos los coloides de estos suelos.

PARÁMETROS FÍSICOS.

Son el espacio poroso total (EPT), la capacidad de retención de agua (CRA), el volumen de poros con aire (PA) y la densidad aparente (DA) y real (DR) del sustrato; también las características químicas son importantes, ya que están relacionadas con la disponibilidad de nutrientes.

Aunque son muchos los materiales que se usan para mezclas de sustratos el uso de los mejores materiales no garantiza que se obtendrá un resultado excelente, ya que las características resultantes de las mezclas no siempre son la suma de las características de sus partes, por lo que lo importante de un sustrato no son sus ingredientes y componentes sino sus propiedades y parámetros (OIRSA, 2002)

Un medio debe cumplir cuatro funciones para mantener un buen crecimiento de la planta, las cuales son:

- Proporcionar anclaje y soporte para la planta.
- Retener humedad de modo que esté disponible para la planta.
- Permitir el intercambio de gases entre las raíces y la atmosfera.
- Servir como depósito para los nutrientes de la planta.

Algunos sustratos individuales pueden ofrecer todas las funciones pero no en el grado requerido, por lo que se deben realizar ajustes que compensen estos requerimientos, lo cual se logra normalmente con mezclas. (OIRSA, 2002).

Temperatura

La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Como lo que medimos en su movimiento medio, la temperatura no depende del número de partículas en un objeto y por lo tanto no depende de su tamaño.

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio. La temperatura debe tomarse en el sitio de muestreo. Normalmente, la determinación de la temperatura se hace con un termómetro de mercurio de buena calidad. El termómetro debe sumergirse en el agua, preferiblemente con el agua en movimiento, y la lectura debe hacerse después de la estabilización del nivel del mercurio. (Ortega, 2006).

Densidad aparente.

La densidad aparente de un suelo se suele utilizar como medida de la estructura del suelo. Una densidad baja, generalmente, equivale a más porosidad y mayores agregados del suelo. Un suelo de bosque saludable tendrá una densidad baja, lo que corresponde a mayor estabilidad, menos compactación y, probablemente, mayor contenido de agua que un suelo con una densidad mayor. (Linares, *et al*, 2006).

La densidad aparente de un suelo es la relación que existe entre la masa del sólido y el volumen total ocupado por el sólido y por el espacio poroso. La masa del sólido se determina pesando la muestra una vez secada

a 105 °C, y el volumen total se deduce a través de un cilindro para la toma de muestra.

Densidad real.

La densidad real de un suelo es la relación que existe entre la masa de las partículas sólidas y el volumen ocupado por las mismas, es decir, se excluye el volumen ocupado por los poros que hay entre las partículas. La masa de las partículas sólidas se determina por pesada y volumen se calcula a partir de la masa de agua, que es desplazada por la muestra de suelo.

Depende principalmente de la composición y cantidad de minerales y de la proporción de materia orgánica e inorgánica que contiene. La densidad de la parte mineral de un suelo es mayor que la de la materia orgánica porque contiene cuarzo, feldespato, mica y óxidos de hierro como la magnetita y la hematita. (Miramontes, *et al*, 2009).

Porosidad.

La porosidad del suelo se define como el cociente entre el volumen de poros de una muestra y su volumen total aparente; es un índice que nos da una idea de la cantidad de poros que tienen un terreno y del volumen relativo que ocupan los mismos, y como tal, informa la disponibilidad del suelo para dejar paso a las raíces o de la mayor o menor permeabilidad hidráulica y gaseosa de la misma. Una porosidad relativamente alta nos da una idea de una tierra más esponjosa, y en consecuencia, menos compacta. Sus valores medios para suelos se sitúan entre 40 y 60 %.

Los terrenos arenosos son ricos en macroporos, permitiendo un rápido paso del agua, pero tienen una muy baja capacidad de retener el agua, mientras que los suelos arcillosos son ricos en microporos, y pueden

manifestar una escasa aeración, pero tienen una elevada capacidad de retención del agua (Ortega, 2006).

Textura.

Se ha definido como la disposición o el arreglo de las partículas primarias (arcilla, limos, arena). La textura influye en la permeabilidad, drenaje, aireación y el desarrollo de raíces. (Cordero, 2010).

Las partículas de *arena* (2.00 a 0.05mm de diámetro) representan la parte inerte del suelo y tienen por lo tanto solamente funciones mecánicas, constituyen el armazón interno sobre el cual se apoyan las otras fracciones finas del suelo, facilitando la circulación del agua y del aire.

El limo (0.05 a 0.002mm de diámetro) participa solo en forma limitada en la actividad química con las partículas de diámetro inferior en el suelo, mientras que su influencia en la relación agua no es significativa en el suelo, y se incrementa con el aumento de los diámetros menores éste.

Las arcillas (menores de 0.002mm de diámetro) comprenden toda la parte coloidal mineral del suelo, y representan la fracción más activa, tanto desde el punto de vista físico como del químico, participando en el intercambio iónico, y reaccionando en forma más o menos evidente a la presencia del agua, según su naturaleza. (Linares, *et al*, 2006).

SUSTRATOS.

El término de sustrato que se usa comúnmente se refiere a todo material, natural o sintético, mineral u orgánico, de forma pura o mezclado, cuya función principal es servir como medio de crecimiento y desarrollo a las plantas. (Calderón).

El propósito de un medio es proporcionar las condiciones necesarias para un adecuado desarrollo de las plantas, existen muchos materiales y mezclas para dicho propósito, los materiales a usarse así como las proporciones, en caso de que se hagan mezclas, está sujeta al criterio de cada productor, con base en su experiencia personal, con lo que, a veces, se hace un uso inadecuado o innecesario de ciertos componentes. El sustrato más utilizado es la tierra pues proporciona las características necesarias para un buen desarrollo, aun así el empleo de mezclas es una buena opción en la búsqueda de mejorar la producción en los cultivos pues queda claro que entre mejor sea el medio, mejor será el resultado de ellos.

ANTECEDENTES

Anderson (1959), comenta que la composición de los lodos es variable y depende principalmente del método utilizado para su depuración, de los materiales sometidos a este proceso y de la realización de algunos procesos posteriores a la obtención del lodo (deseccación, compostaje, agregado de cal, etc.) y que los elementos que se consideran de mayor relevancia en su composición son el nitrógeno y los metales pesados. La concentración de éstos en el lodo determina la dosis máxima a utilizar en una aplicación y la cantidad total que es conveniente suministrar.

Arriaga, *et al.* (2007). Evaluaron durante varios años distintos usos para los biosólidos: agrícola, energético, revegetación, y en áreas verdes.

Chen y Aviad, (1990).valoraron la factibilidad de usar efluentes derivados de las plantas de tratamientos de residuos orgánicos como fertilizantes foliares. Observaron que la aplicación de sustancias húmicas, tienen un efecto estimulador del crecimiento, lo que se ha relacionado con un incremento en la absorción de macro nutrientes.

Cabrera, (1995). Menciona que un buen sustrato es esencial en la producción de plantas en macetas de calidad, dado que el volumen de la maceta es limitado, el sustrato y sus componentes deben de poseer características físicas y químicas que, combinados con un programa integral de manejo y fertilización, permitan el óptimo desarrollo de las plantas.

Canet *et al.* (1966), Chaney *et al.* (1980), Salvador *et al.* (1993) afirmaban que en distintos países (desde esos tiempos) están desarrollando investigaciones sobre el uso de lodos como enmienda en suelos agrícolas, llegando incluso a tipificarlos. Asimismo, se estaban experimentando sobre su

uso, solos o combinados con otros materiales, como sustratos en la producción hortícola y florícola.

Pineda *et al.* (2008) probaron distintos sustratos, algunos de ellos fueron biosólidos, en el crecimiento de la Nochebuena, encuentra que el efecto de los dos efluentes en el crecimiento de la planta varió con el tipo de sustrato. El mejor tratamiento fue con tezontle y un efluente, lo que podría representar una posibilidad en la producción de plantas madre de Nochebuena.

Rámila y Rojas (2008) afirman que los biosólidos presentan características que los hacen muy buenos fertilizantes tanto para el uso agrícola como forestal, también presentan características que los hacen capaces de recuperar tranques de relaves (fitoestabilización), recuperar canteras, rellenos sanitarios, etc. En otros países se puede ver que el uso como fertilizante está muy desarrollado, en Estados Unidos y el Reino Unido se ha usado desde el años de 1920.

Saavedra *et al.* (2012) observaron un efecto positivo en la aplicación de efluentes sobre el rendimiento de cultivo de maíz, mencionando distintas alternativas de uso, entre ellas están diferentes métodos de tratamiento, fermentación aeróbica para la generación de biogás, compostaje y la aplicación directa en lotes de producción de granos o pasturas.

Entre los otros trabajos referidos a sustratos que serán útiles están los siguientes:

Aparicio *et al.* (1999), realizaron un estudio para evaluar el efecto de seis sustratos sobre la germinación de tres especies de pino *Pinus patula*, *Pinus montezumae* y *Pinus pseudostrobus*. Obteniendo como resultado que se puede emplear cualquiera de los sustratos: 50% tierra de monte y 50%

arena de mina ó 100% tierra de monte, para producir cualquiera de las tres especies de *Pinus*.

Castañeda *et al.* (2008) evaluaron la capacidad de biosólidos como fertilizantes naturales en cultivos de maíz forrajero, encontrando que el uso de este material mejora sustancialmente el crecimiento y producción de biomasa de maíz forrajero.

Fernández (1986), asevera que en México no se cuenta con información suficiente en cuanto al uso de mezclas de sustratos en especies forestales.

Olivo *et al.* (2006), realizaron un estudio donde evaluaron la influencia de seis sustratos en el crecimiento de *Pinus ponderosa*. Presentando los mejores resultados las plantas desarrolladas con vermiculita, siendo la combinación con turba la que alcanzó el mayor tamaño en todas las variedades estudiadas.

Reyes *et al.* (2005), hicieron un experimento donde evaluaron el efecto del biosólido sobre el crecimiento inicial de *P.pseudostrobus var. Apulcensis* usando diferentes mezclas con: aserrín, tierra de monte, corteza de pino, peat moss y agrolita. Para el índice de esbeltez, la mezcla de 80% de aserrín + 20% de tierra de monte presentó los valores más altos.

En estudio realizado por la SAGARPA y el INIFAP (2002), se utilizaron diferentes mezclas de sustratos como alternativa para la producción de *Pinus ayacahuite*. Estas mezclas se conformaron de fibra de coco y bagazo, en sustitución de tierra de monte y Peat moss. Fue estimado el costo de los mismos, y su disponibilidad.

Utria *et al.* (2006) evaluaron la composición química y microbiológica de los biosólidos, encontrando que el contenido de materia orgánica así como

el de micronutrientes es comparable con el de los abonos agrícolas más usados en Cuba, por ello considera que los biosólidos son aptos para usarse en la agricultura como mejoradores de suelo.

Uribe *et al.* (1993) aplicó biosólidos en cultivos de alfalfa reportando que la utilización de este tipo de materiales tuvo un efecto positivo sobre la plantación ya que la aplicación de biosólidos incrementó el rendimiento de materia seca entre un 17 hasta 31% en alfalfa.

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar las propiedades físicas y químicas de 2 sustratos enriquecido con lodos provenientes de una planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos como posible uso en la producción de especies forestales.

OBJETIVOS

- Elaborar sustratos con diferentes concentraciones de lodos residuales obtenidos de la planta de tratamiento piloto de C.U.
- Evaluar el potencial aprovechable de los lodos con base en sus propiedades físicas y químicas (textura, materia orgánica, densidad aparente y real, pH).
- Preparar dos sustratos con lodos residuales, agrolita y tierra de monte para evaluar la potencialidad de uso de los biosólido como mejoradores de suelo.
- Realizar un análisis de la calidad de los sustratos, según lo dispuesto en la NOM-004, para su disposición final en la producción de especies forestales.

METODOLOGÍA

En este capítulo se presentan los métodos estandarizados y las propiedades físicas y químicas que se evaluaron en dos muestras de biosólido.

Se obtuvieron lodos residuales de una planta piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos de la Facultad de Química de la UNAM que utilizan digestión anaerobia en su proceso. Los lodos obtenidos fueron centrifugados para obtener una fase líquida y una sólida, una vez separadas las dos fases, el efluente sólido fue almacenado en un envase de plástico hasta la realización de los análisis.

Los lodos fueron caracterizados considerando los parámetros establecidos por la NOM-004 en materia de lodos y biosólidos, para cuantificar las propiedades como; químicos (N, P, Ca, Mg, K, Na), como físicos (textura, densidad aparente y real, porosidad, pH, capacidad de intercambio catiónico, humedad).

Se utilizaron dos sustratos, el primero consistió en una mezcla de tierra de monte 35%, agrolita 20% y lodo residual 45%, el segundo consistió en una mezcla de tierra de monte 25%, agrolita 10% y lodo residual 65%, como lo muestra el cuadro 4.

Cuadro 4.-porcentaje de las mezclas para cada uno de los sustratos.

muestra	lodo residual	agrolita	tierra de monte
sustrato 1	65%	10%	25%
sustrato 2	45%	20%	35%

FASE DE LABORATORIO

Los sustratos se secaron a temperatura ambiente, luego se tamizaron en malla de 2 mm. Posteriormente se prepararon los sustratos para determinar los parámetros físicos y químicos de acuerdo a las técnicas señaladas en la tabla.

Cuadro 5.- técnicas empleadas en las determinaciones físicas y químicas de los sustratos.

Parámetro	Técnica
textura	Procedimiento de la pipeta
pH	método del potenciómetro
densidad aparente	método volumétrico
densidad real	método del píctómetro
Materia orgánica	Método desarrollado por Walkley y Black
humedad	método gravimétrico
Capacidad de intercambio Catiónico	CIC y bases intercambiables empleando acetato de amonio
Nitrógeno total	método de Kjeldahl absorción atómica
Fosforo	método de Bray y Kurtz

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TEMPERATURA

Como se puede observar en el siguiente cuadro la temperatura que se tomó en primera instancia y después de 2 horas, mostraron un promedio de 24 °C.

Cuadro 6.-Temperatura promedio de los sustratos 1 y 2.

Muestra	Temperatura
Sustrato1 (65% lodo residual)	24 °C
Sustrato 2 (45% lodo residual)	24 °C

La temperatura está relacionada con la conductividad eléctrica, ya que es una medida indirecta a la salinidad del suelo. La temperatura presente en ambos sustratos nos indica que los tipos de sales pueden ser cloruros, sulfatos y carbonatos de calcio, magnesio y sodio, encenrándose dentro de la categoría de ligeramente salino y solo cultivos muy sensibles son afectados. (Muñoz *et al*, 2013).

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO TOTAL

En el cuadro 7. La Capacidad de Intercambio Catiónico CICT obtenida en los dos sustratos de acuerdo a los criterios de valoración propuestos por Muñoz *et al* 2013.

Cuadro 7.- promedio de CICT de biosólidos

muestra	CICT	Interpretación
Sustrato 1 (65% lodo residual)	30.66	Medio
Sustrato 2 (45% lodo residual)	31.68	Medio

En ambos sustratos la interpretación es media, esto tiene relación con el tipo de textura que presentan ya que el contenido de arcilla es bajo y esto implica que los cationes no son retenidos con las mismas energías de enlace. Los sitios de intercambio solo se enlazan en forma débil a los cationes. Las arcillas con gran capacidad de intercambio tienden a enlazar los cationes bivalentes como el Ca^{++} y el Mg^{++} , con más energía que el K^+ . Esta característica puede ayudar a la disponibilidad y retención de mayor cantidad de los nutrientes. (Miramontes, 1999).

HUMEDAD

Se muestra en el cuadro 8 el contenido de agua es muy similar; ahora bien podemos ver que la cantidad de humedad es mayor en el sustrato 1 con valores 70.55 %.

Cuadro 8.- Porcentaje de humedad en los sustratos estudiados.

Muestra	Humedad (%)	Interpretación
Sustrato 1 (65% lodo residual)	70.55%	Extremadamente húmedo
Sustrato 2 (45% lodo residual)	70%	Extremadamente húmedo

Estos resultados son de importancia en los procesos de compresión de residuos, producción de lixiviados y transporte de nutrientes, facilitando el desplazamiento del agua a través del suelo, es decir la facilidad de que circule por los poros y la filtración sea más lenta.

pH

De acuerdo a los criterios de valoración las muestras se encuentran en el intervalo 7.0 a 7.9 considerándose un suelo **Neutro y ligeramente alcalino**.

Cuadro 9.- pH de las muestras de los sustratos.

Muestra	pH	interpretación
Sustrato 1 (65% lodo residual)	7.84	ligeramente alcalino
Sustrato 2 (45% lodo residual)	7.16	Neutro

En el parámetro ligeramente alcalino, puede tener importancia en la retención de las bacterias en el suelo ya que la mayor parte de estos microorganismos y actinomicetos se desarrollan mejor a pH neutro y ligeramente alcalino (Fassbender, 1982). Por otro lado, también se ha

reportado que el pH a concentraciones entre 5 y 7 es de trascendencia para el desarrollo de especies forestales (Mollinedo *et al.*, 2005).

También se ha demostrado que el pH que generalmente se presenta en los lodos residuales oscila entre 6.7 y 7.9. En estos términos es importante señalar que estos niveles de potencial de hidrógeno son ideales para la optimización de estas prácticas, sin embargo, otros factores pueden intervenir en este proceso, como el pH del suelo ó la dilución con agua a la que se sometan los efluentes, lo que puede alterar las concentraciones significativamente, aunque en casos donde el pH se eleve más de lo reportado, sería recomendable buscar alternativas para neutralizar esta condición y más aún crear grupos interdisciplinarios para solucionar este tipo de problema desde el tratamiento de los residuos (Martínez, 2010).

MATERIA ORGÁNICA

El porcentaje de Materia Orgánica en ambos sustratos se presenta en el criterio de valoración de extremadamente rico (tomado de Aguilera 1989 y modificado por Muñoz *et al* 2013).

Cuadro 10.- % de M.O. presente en cada una de las muestras.

Muestra	% de MO	interpretación
Sustrato 1 (65% lodo residual)	16.67%	extremadamente rico
Sustrato 2 (45% lodo residual)	16.15	extremadamente rico

Los resultados obtenidos se deben a que la materia orgánica que se encontraba en los sustratos involucra residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, al igual que los organismos que viven en el suelo produciendo sustancias que se vierten en el mismo. Aportando micronutrientes como manganeso, cobre, zinc y hierro; además de macronutrientes como nitrógeno, fósforo, calcio, sodio, potasio.

Así mismo, favorece la aireación, pues actúa como agente cementante el cual aumenta la cantidad de agregados que mejoran la capilaridad y permeabilidad de los sustratos (Linares, *et al*, 2006).

NITRÓGENO TOTAL

El porcentaje de Nitrógeno en los sustratos 1 y 2 son extremadamente ricos, dentro de lo recomendado (interpretación de acuerdo a Muñoz *et. al* 2013).

Cuadro 11.- resultado del porcentaje de Nitrógeno total de las muestras de suelo.

muestra	Nitrógeno	Interpretación
Sustrato 1 (65% lodo residual)	1.03%	Extremadamente rico
Sustrato 2 (45% lodo residual)	0.89%	Extremadamente rico

El nitrógeno puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire. Los porcentajes obtenidos nos indican que cualquiera de los sustratos puede ser utilizado ya que aportan el Nitrógeno necesario para la recuperación de suelos y adaptación del microorganismo dando un mejor desarrollo incorporándolos en el tejido de las plantas, formando parte de las proteínas, la clorofila, ácidos nucleicos y otros

compuestos promoviendo el desarrollo de las hojas y tallos. Cuando estos organismos mueren, el Nitrógeno reingresa al suelo completando el ciclo. Además de que con estos porcentajes ayuda a inhibir ciertos patógenos y enfermedades.

CALCIO Y MAGNESIO

Con respecto al calcio se encuentra en mayor concentración en el tratamiento del sustrato 2, este es adquirido por el contenido de materia orgánica y nutriente.

Cuadro 12.- interpretación de los resultados de las muestras de suelo.

Muestra	Calcio	Interpretación
Sustrato 1 (65% lodo residual)	5.98cmol(+)Kg-1	Bajo
Sustrato 2 (45% lodo residual)	7.13cmol(+)Kg-1	Medio

Con lo que respecta al sustrato 2 presento el mayor porcentaje de calcio. Con este resultado es recomendable utilizar una concentración de 45% de lodo residual ya que el calcio va a permitir neutralizar la acidez de los suelos intercambiando los iones de H, mejora la estructura del suelo, la permeabilidad al agua y aireación y aumenta la viabilidad de bacterias fijadoras de Nitrógeno.

El nutriente Magnesio se encuentra en mayor concentración en los tratamientos del sustrato 2.

Cuadro 13.- interpretación de los resultados de las muestras de suelo.

muestra	Magnesio	Interpretación
Sustrato 1 (65% lodo residual)	6.0cmol(+)Kg-1	Medio
Sustrato 2 (45% lodo residual)	7.04cmol(+)Kg-1	Alto

Esta cantidad de magnesio ayuda a la fotosíntesis de las plantas ya que forma parte central en la molécula de la clorofila interviene en la síntesis de las proteínas, influyendo directamente en la productividad de las plantas de interés forestal.

DENSIDAD APARENTE

Los resultados que se presentaron en ambos sustratos son óptimos para el desarrollo y establecimiento de plantas de uso forestal.

Cuadro 14.- determinación de Densidad aparente de las muestras de suelo.

Muestra	Densidad aparente	interpretación
Sustrato 1 (65% lodo residual)	0.55gr/cm ³	Muy baja
Sustrato 2 (45% lodo residual)	0.57gr/cm ³	Muy baja

DENSIDAD REAL

Se puede observar que la densidad real, es muy parecida, debido a que existe una mayor concentración de minerales y materia orgánica en los sustratos.

Cuadro 15.- determinación de Densidad real de las muestras de suelo.

Muestra	Densidad real	interpretación
Sustrato 1 (65% lodo residual)	1.12gr/cm ³	Muy baja
Sustrato 2 (45% lodo residual)	1.34gr/cm ³	Muy baja

El hecho de que en ambos sustratos el resultado de densidad aparente y real sea muy bajo no implica que sea malo; caso contrario ya que presentan mayor espacio poroso, drenaje y permeabilidad, materia orgánica.

Esto ayuda a que el desarrollo de las plántulas tengan los nutrientes necesarios y que haya un drenaje adecuado evitando inundación y carencia de oxígeno que limita la respiración de las raíces de las plantas.

POROSIDAD

Cuadro 16.- Porosidad de las muestras de biosólido.

Muestra	Porosidad	interpretación
Sustrato 1 (65% lodo residual)	38.78%	alta

Sustrato 2 (45% lodo residual) 44.45%

media

El sustrato 2 presentó el mayor porcentaje esto puede ser que generalmente están llenos de aire, y el agua los atraviesa rápidamente, impulsada por la fuerza de la gravedad. Los de menor porcentaje en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares.

TEXTURA

En el cuadro 17 se muestran los porcentajes de arena, arcillas y limos encontrados en los sustratos 1 y 2. Se observa que los suelos no cambian en gran proporción de textura y permanecen en franco arenosos.

Cuadro 17.- porcentajes obtenidos para textura del suelo

Muestra	Porcentaje %	Interpretación
Sustrato 1 (65% lodo residual)	78% de arena	Franco arenoso
	21.50% de limo	
	8% de arcilla	
Sustrato 2 (45% lodo residual)	76.5% de arena	Franco arenoso
	16% de limo	
	7% de arcilla	

Estos resultados nos muestran que los sustratos facilitan la aireación y la circulación del agua. Hay una mayor capacidad de liberación de nutrientes al suelo ayudando al desarrollo de las plantas (Martínez 2010).

FOSFORO

Los sustratos presentan fosforo de manera extremadamente rico. Demostrando que se tiene un aporte de este elemento y que es muy fácil ser asimilado por las raíces de las plantas dando un mejor desarrollo.

Cuadro 18.-resultados de fosforo presente en muestras de suelo.

muestra	Fosforo	Interpretación
Sustrato 1 (65% lodo residual)	20.50ppm	extremadamente rico
Sustrato 2 (45% lodo residual)	26ppm	extremadamente rico

La cantidad de fosforo asimilable encontrado en los sustratos estimulan el desarrollo radicular inicial ayudando así en el establecimiento rápido de las plántulas promoviendo la madurez temprano de los cultivos, también estimulan la floración y ayuda a la formación de las semillas y mejora la calidad nutricional de los granos y otras cosechas.

CONCLUSIONES.

Se observa que ambos sustratos se encuentran dentro de los parámetros establecidos en sus propiedades físicas de estructura, porosidad, densidad aparente y real, textura, humedad y químicas pH, porcentaje de MO, Fosforo Total y Nitrógeno Total, Magnesio y Calcio. Lo que es recomendable utilizarlos como sustratos para uso forestal Ya que con los resultados obtenidos se comprobó su potencial como fertilizante en el suelo y su integración es rápida.

Se presento la agrupación de las partículas, acumulación de materia orgánica, nutrientes y una retención de la cantidad de agua adecuada iniciando el proceso de formación de estructura, lo que permite tener un suelo más fértil y capaz de sostener vida vegetal y animal.

Los resultados demuestran una buena calidad en el efluente solido según lo dispuesto en la NOM-004, la cual podría clasificar al efluente como excelente C para la los sustratos analizados. Es importante añadir que a pesar de estos resultados, se deben realizar los estudios de parámetros bacteriológicos debe ser constante ya que existen fluctuaciones que en el peor de los escenarios podrían rebasar los límites permisibles establecidos por la norma.

RECOMENDACIONES.

El biosólido es un compuesto amigable para el ser humano y que puede ser usado como fertilizante o abono en los jardines, las cosechas o cualquier área verde sin temor de causar daño a las personas o al medio ambiente que nos rodea.

El uso del biosólido debe aplicarse después de ser caracterizado.

Considerar que la aplicación de biosólidos puede alterar el actual equilibrio ecológico y desplazar algunas especies que pueden tener valor para la zona a tratar.

Por las propiedades físicas y químicas que presenta el biosólido, es necesario mantener un control en su concentración y aplicación que se le da al suelo, para

evitar altas concentraciones de metales o nutrientes que se puedan trasladar hasta las aguas freáticas, provocando el aumento de éstos compuestos, provocando una nueva forma de contaminación.

Se necesita un estudio mayor en el uso y aplicación de los biosólidos en México, y de esta forma establecer una reglamentación y normatividad más adecuada a las condiciones de nuestro país y el entorno.

Evaluar la disposición final y monitorear permanentemente los efectos ambientales del manejo de los biosólidos y, efectuar cambios de ser necesario.

Realizar análisis de diferentes sustratos sin la mezcla del biosólido para comparar con el analizado en este proyecto.

PROPUESTA

Utilizar tres sustratos para realizar el experimento, el primero que consista de un suelo deficiente en nutrientes (sustrato A), el segundo una mezcla de este mismo suelo deficiente con biosólidos acondicionados (sustrato B), y para el tercero suelo altamente fértil de invernadero (sustrato C), todos realizados con cuatro réplicas.

A un tiempo de 90 días cuando visualizar el desarrollo óptimo y retirar las especies vegetales de los sustratos y caracterizar los siguientes parámetros:

a) Cuantificación de biomasa vegetal en base húmeda.

b) Análisis de metales pesados en tejido vegetal para garantizar que no se asimilaren durante el proceso.

PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SUELO Y BIOSÓLIDOS.

Estabilizarlos con cal y prensados ($\text{pH} = 7.8 \pm 0.2$) y reportar si hay presencia de huevos de helminto.

La caracterización del suelo y los biosólidos llevarlos a cabo las siguientes determinaciones, cada una de ellas por triplicado:

- pH - método EPA 9045C (EPA, 1995).
- Espacio poroso
- Textura – prueba al tacto.
- Densidad - método del picnómetro (Reyes, 1996).
- Materia orgánica - método Walkley-Black (Jackson, 1976).

ABREVIATURAS

CIC: Capacidad de intercambio catiónico.

cmol: Centímol.

g: gramo.

Kg: Kilogramo.

mL: Mililitro.

MO: Materia orgánica.

N: Normalidad.

NOM: Norma oficial mexicana.

ppm: Partes por millón.

SEMARNAT: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

WEF: Water Environment Federation (Federación Ambiental del Agua)

INEGI: Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática.

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua.

CONAFOR: Comisión Nacional Forestal.

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

m. s.n.m.: metro sobre el nivel del mar.

PROFEPA: Procuraduría Federal de la Protección al Ambiente

BIBLIOGRAFÍA.

- Anderson, M. S. Fertilizing characteristics of sewage sludge. *Sewage and Industrial Wastes*. 31 (6):678-682. 1959.
- Aparicio, Rentería, Armando; Cruz, Jiménez, Héctor; Alba, Landa, Juan. (1999). Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Sch. Et Cham.*, *Pinus montezumae* Lamb. Y *Pinus pseudostrobus* Lindl. En condiciones de vivero. *Foresta Veracruzana*, .31-34.
- Cabrera, R. I. 1995. Fundamentals of Container Media Management, part. 1. Physical properties. Rutgers Cooperative Extension Factsheets No. 050. 4 p.
- Camacho, M. F. 1994. Fisiología de la germinación. En Martínez Bautista A. & A. Villas. 1994. Semillas forestales. CENID-COMEF, INIFAP, campo experimental Coyoacán, México. Publicación especial No. 2. 12-31 p.
- Canet, R.; F. Pomares; M. Estela y F. Tarazona. Efecto de los lodos de depuradora en la producción de hortalizas y las propiedades químicas del suelo. *Invest. Agr.* 11 (1): 83-99. 1996.
- Chen, Y.; Aviad, T. 1990. Effects of humic substances on plant growth. Pp. 161-186. In: *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings* maccarthy, p.; clapp, c.e.; malcolm, r.l.; bloom, p.r. (eds.). American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2000) Disponibilidad de agua en México. Norma Oficial Mexicana Nom-011-CNA 2000. Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, México, Conagua.
- Compagnoni, L.; Potzolu, G. 2001. Cría Moderna de las Lombrices y Utilización Rentable del Humus. Editorial de Vecchi. Barcelona, España. 127 p.
- Hernández Fernández, O. (1998). Análisis de factibilidad técnico económica de tratamiento de lodos producidos por la planta tratamiento de agua residual

- Texcoco Norte, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
- Fernández, R.A. 1986. Caracterización del vivero volante forestal localizado en la comunidad de Santiago Tutla, Oaxaca, con fines industriales. Tesis profesional. UNAM. Cuautitlán Izcalli, México. 159 p.
- Fresquez, P.R., R.E. Francis, and G.L. Dennis 1990. Sewage sludge effects on soil and plant quality in a degraded semiarid grassland. *J. Environ. Qual.* 19:324-329.
- INIFAP. 2002. Sustratos alternativos para la producción de Pinus ayacahuite en vivero. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 10p.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S.E. MacDonald, J. P. Barnett, R. G. Nisley, D. T. Rodríguez, R. V. Sánchez & R. B. Aldana. 2000. Fertilización y riego. Volumen Cuatro. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Manual Agrícola 674. Dpto. de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. 126 p.
- Linares, L. C., Avelizapa, N. G., & Carrillo, T. G. (2006). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. México, D.F.: Instituto Mexicano del Petróleo y el Instituto Nacional de Ecología.
- Lovell B.1996. Aplicación en suelos de biosólidos de drenaje para la producción de cosechas. Factsheet. Orden Núm. 95-069. Notario 8 p.
- Miramontes, F. B., Arroyo, V. L., Pérez, S. D., & Alva, R. M. (1999). *Manual de Técnicas Selectas de Análisis Químico y Físico de Suelo*. Xochimilco, México. DF.: División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Dpto. de Producción Agrícola y Animal.UAM.
- Muñoz, I. D; Mendoza, C.A; López, G. F; Soler, A, A; Hernández, M. M. 2013. Edafología. Manual de Métodos de Análisis de suelos. UNAM-Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Tlalnepantla, Edo. De México.

- Olivo, Verónica B, & Buduba, Carlos G. (2006). Influencia de seis sustratos en el crecimiento de *Pinus ponderosa* producido en contenedores bajo condiciones de invernáculo. *Bosque (Valdivia)*, 27(3), 267-271.
- Oldfield y Eastwood, (2007). The Red List of Oaks. UK, IUCN. 35 p.
- Pineda-Pineda, A., Castillo-González A., Morales-Cárdenas J., Colinas- León M., Valdez-Aguilar L. y Aviatia-García E. 2008. Efluentes y sustratos en el desarrollo de Nochebuena. *Revista de Chapingo Serie Horticultura* 14(2): 131-137, 2008.
- Rámila, G.; Rojas, B. 2008. Alternativas de uso y disposición de biosólidos y sus impactos en las tarifas de agua. Seminario de la Licenciatura Ingeniería Comercial. Universidad de Chile. 166p.
- Rzedowski J. 1988. Vegetación de México. LIMUSA. Cuarta Reimpresión. Pag.21-56.
- Reyes-Reyes, J.; Aldrete, A.; Cetina-Alcalá, V. M.; López-Upton, J. (2005). Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *Apulcensis* en sustratos a base de aserrín. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 105-110.
- Saavedra, A., Errasquin L., Pagnan L. y Alladio R. 2012. Efecto de la aplicación de efluentes de Feed Lot como biofertilizante sobre el rendimiento del cultivo de maíz. 7pp.
- Salvador, C., Jiménez P. y. Saña V. Utilización de los fangos de depuradora como abono en el cultivo de raigrás italiano (Y) contenido de nitratos en la planta. *ITEA*. 89(3):182-190. 1993.
- Sandoval, A. y A. Stuard (2000). Compost: una buena alternativa de sustrato. Centro de Semillas de Árboles Forestales. Facultad de Ciencias Forestales,
- Utria, E.; Reynaldo, Inés; Cabrera, A.; Morales, D.; Morúa, Ada; Álvarez, Nereida. (2006). caracterización de los biosólidos de aguas residuales de la estación depuradora de aguas residuales "quibú". *Cultivos Tropicales*, Sin mes, 83-87

- Utria, E.; Reynaldo, Inés M.; Cabrera, J. A.; Morales, D.; Goffe, Sandra. (2008). Los biosólidos de aguas residuales urbanas aplicados con diferentes frecuencias en las propiedades químicas y microbiológicas del suelo, el rendimiento y la calidad de los frutos de tomate (*Solanumlycopersicum*Mill). *Cultivos Tropicales*, Sin mes, 5-11.
- Valenzuela, O., C. Gallardo., M. Alorda., M. A. García y D. Díaz. Noreste de Entre Ríos, (2005) Características de los sustratos utilizados por los viveros forestales. 55-57 pp.
- WEF. (1995). Wastewater Residual Stabilization. Manual of Practice no. FD-9. Alexandria. VA: Water Environment Federation.

BIBLIO WEB

www.cesaf.uchile.cl/cesaf/n13/indice.html. Universidad de Chile

www.inegi.org.mx

www.conabio.org.mx

www.dgbiblio.unam.mx

www.conagua.gob.mx

www.semarnat.gob.mx

www.profepa.gob.mx

www.sedema.df.gob.mx

NOM-004-SEMARNAT. (24 de Septiembre de 2002).

Anexo 1

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO.

Se mide por medio del desplazamiento controlado de cationes conocidos, utilizando la regla química de la acción de masas y el principio establecido por la serie de desplazamiento de cargas, donde los cationes de mayor carga pueden remplazar a los de menor carga. Primero, se adiciona al suelo una solución con un catión (Ca^{++}) conocido, el cual desplazara a todos los cationes absorbidos en el

suelo ocupando el sitio que ellos tenían en los coloides; después, se eliminan el exceso del catión con un disolvente libre de electrolitos. Por último, se adiciona un segundo catión (Na^+), el cual reemplazara al primer catión (Ca^{++}) para sacarlo a la solución del suelo donde se valorara titulado con versenato.

MATERIAL.

Muestra de suelo seco y cernido a través de un tamiz de malla N. 10.

Balanza semianalítica.

Papel filtro.

Embudo de plástico

Vasos de precipitados de 100 mL.

Vasos de precipitados de 150 mL.

Probeta o pipetas de 10 mL.

Bureta de 100 mL.

Soporte universal con pinzas.

PROCEDIMIENTO.

1. Pesar 5 g de suelo y colocarlo en un embudo con papel filtro.
2. Agregar solución de cloruro de calcio 5 veces, 10 mL cada vez (eliminar ese filtrado).
3. Agregar alcohol etílico 5 veces, 10 mL cada vez (eliminar ese filtrado).
4. Trasladar el embudo con muestra a un frasco limpio y agregar solución de cloruro de sodio 5 veces, 10 mL cada vez. Guardar el filtrado y aforarlo a 50 mL con la misma solución de NaCl.
5. Agregar 10 mL de la solución *buffer* pH 10.0 al filtrado de cloruro de sodio.
6. Agregar 5 gotas de solución de cianuro de potasio.
7. Agregar 5 gotas de solución de clorhidrato de hidroxilamina.
8. Agregar 5 gotas de solución indicadora de negro de eriocromo T.

9. Titular con EDTA (versenato), hasta que vire de purpura a azul.

10. Sustituir los resultados en la siguiente fórmula:

$$\text{CICT (cmol (+) Kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{mL de EDTA} \times \text{N} \times \text{FC}}{\text{g de suelo}} \times 100$$

Donde:

N = normalidad del EDTA

FC = factor de correlación del EDTA.

HUMEDAD.

Para la medición de humedad se utiliza el método gravimétrico.

La humedad del suelo se calcula por la diferencia de peso entre una misma muestra humedad y después de haberse secado en la estufa hasta obtener un peso constante.

MATERIAL Y EQUIPO.

Muestras de suelo.

Balanza analítica.

Espátula.

Charolas o papel aluminio a peso constante.

Estufa.

PROCEDIMIENTO.

- 1) Pesar 1 g de muestra sobre un papel o charola de aluminio a peso constante.
- 2) Colocar la muestra dentro de la estufa a 80°C de 12 a 24 horas.
- 3) Sacar la muestra de la estufa y colocarla dentro de un desecador para que se enfríe.
- 4) Pesar la muestra con todo y papel.
- 5) Calcular los porcentajes de humedad en el suelo por la diferencia de pesos.

CÁLCULOS.

Calcular el % de humedad obtenido en el suelo mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad del suelo} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{\text{eso inicial}} \times 100$$

PH.

Para la determinación del pH se utiliza el método potenciómetro.

El método potenciómetro o electroquímico se basa en la medición del potencial de un electrodo sensitivo a los iones H⁺ (electrodo de vidrio) presentes en una solución problema; cuya solución no se modifica cuando cambia la concentración de iones por medir, que es generalmente un electrodo de calomelano o de Ag/AgCl. El electrodo, a través de sus paredes, desarrolla un potencial eléctrico. Se utilizan soluciones amortiguadoras para calibrar el

instrumento y luego comparar. Ya sea el potencial eléctrico o pH directamente de la solución por evaluar.

Material y equipo.

Muestra de suelo.

Balanza analítica.

Vasos de precipitado de 25 ml.

Pipeta de 10 ml.

Piceta con agua destilada.

Potenciómetro.

Agua destilada.

Solución amortiguadora de pH 7 y 4.

Agitadores magnéticos.

PROCEDIMIENTO

- 1) Pesar 1 g de suelo y colocarlo en un vaso de precipitado de 25 ml.
- 2) Agregar 10 ml de agua destilada.
- 3) Agitar y dejar reposar 10 minutos.
- 4) Ajustar el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras.
- 5) Pasados los 10 minutos, medir el pH con el potenciómetro.

CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA.

Método desarrollado por Walkley y Black (1947), la materia orgánica del suelo se oxida mediante el calor de la reacción del dicromato de potasio en presencia del ácido sulfúrico, formando ácido crómico cuyo exceso es valorado por la titulación con sulfato ferroso y del indicador negro de eriocromo T. además, se adiciona ácido fosfórico para eliminar la acción ocultante de los ácidos de hierro y como contribuyente al viraje de la solución.

Sustituir los resultados obtenidos en la siguiente fórmula:

$$\text{Materia Orgánica (\%)} = \frac{5 - (\text{mL de FeSO}_4 \times N \times \text{FC})}{\text{g de la muestra}} \times 0.69$$

NITRÓGENO TOTAL.

Por el método Kjeldahl (Modificado por Bremner, 1965) comprende tres fases fundamentales:

La muestra de suelo se somete a una digestión por calentamiento con ácido sulfúrico y una mezcla de sales que aceleran y facilitan la oxidación de la materia orgánica y la conversión de todas las formas de Nitrógeno en N^{+3} , que en medio ácido se encuentran en forma de radical amonio (NH_4^+); es decir, se llevan las formas orgánicas a formas minerales de nitrógeno. Una vez transformado el nitrógeno en NH_4^+ , se captura con una base fuerte como el hidróxido de sodio para formar hidróxido de amonio, que por la acción del calor se descompone en amoníaco (NH_3) y agua. El amoníaco se separa por destilación y se recoge en un volumen conocido de solución valorada de ácido bórico para después titularse con ácido clorhídrico o sulfúrico diluido. Por comparación de un blanco, se determina la cantidad de ácido que se combinó con el NH_3 .

MATERIAL Y EQUIPO.

Muestra de suelo seco y molido con un mortero.

Balanza analítica.

Matraces Kjeldahl.

Vasos de precipitados.

Probetas.

Digestor.

Matraz aforado de 1 L.

Matraces Erlenmeyer de 1 L.

Perlas de ebullición.

Pipeta.

Destilador.

Bureta.

Soporte universal con pinza.

A. Digestión.

1) Pesar una muestra de suelo de 0.25 a 1 g, que dependerá de la materia orgánica contenida en el suelo, entre más materia orgánica tenga un suelo menos serán los gramos de muestra.

2) Colocar la muestra de suelo en un matraz Kjeldahl seco.

3) Adicionar 2 g de mezcla de catalizadores.

4) Agregar 5 ml de ácido sulfúrico concentrado.

5) Poner a calentar en el digestor a una temperatura media, hasta que la muestra se torne clara. La temperatura debe ser regulada de modo que los vapores de ácido sulfúrico se condensen en el tercio inferior del cuello del matraz Kjeldahl.

6) Hervir la muestra por una hora a partir de ese momento.

7) Una vez terminada la digestión, apagar el digestor y tapar con un frasco los matraces para dejar enfriar

B. Destilación.

1) Añadir al matraz Kjeldahl frío 25 ml de agua destilada y mezclar vigorosamente hasta una disolución completa.

2) Transferir el líquido a un matraz Erlenmeyer de 500 ml. Colocar de 5 a 6 perlas de ebullición.

3) Adicionar 3 granallas de zinc. Añadir 15 ml de la solución de hidróxido de sodio 10 N, sosteniendo el matraz inclinado de modo que se deposite en el fondo.

4) Colocar en la salida del aparato de destilación un vaso de precipitados de 50 ml, que contenga 10 ml de la solución de ácido bórico más indicador.

5) Conectar el flujo de agua e iniciar la destilación. Destilar hasta que el volumen alcance la marca de 20 ml en el vaso de precipitados de 50 ml.

Una vez alcanzado dicho volumen, retirar el matraz y apagar el aparato.

6) Titular el nitrógeno amoniacal con la solución de ácido sulfúrico 0.01 N hasta que vire de verde a rosado fuerte.

7) Realizar un blanco siguiendo los pasos del 3 al 15.

Calcular la concentración de nitrógeno, sustituyendo en la siguiente fórmula:

$$\text{Nitrógeno (\%)} = \frac{(T - B) \times N \times 1.4}{S}$$

Dónde:

T= mL de ácido sulfúrico valorado gastados en la muestra

B = mL de ácido sulfúrico valorado gastado en el blanco

N = normalidad exacta del ácido sulfúrico

S= peso de la muestra de suelo.

CALCIO Y MAGNESIO INTERCAMBIABLE.

Por el método volumétrico desarrollado por Cheng y Bray (1951) y Cheng y Kurtz (1960). El procedimiento de la determinación de los cationes intercambiables consiste en su extracción por lixiviación y su valoración por titulación con versenato. Dicha valoración está basada en la formación de un complejo colorido a partir de la reacción del versenato con los cationes de calcio y magnesio presentes en la solución en condiciones alcalinas (pH=9). El fin de la reacción de formación del complejo colorido lo determina el vire del indicador negro de eriocromo T. si el medio es fuertemente alcalino (pH=12), que se logra al agregar hidróxido de sodio, el versenato solo reacciona con el calcio, formando otro complejo cuya reacción completa se hace evidente por el cambio de color del indicador murexida.

Sustituir los resultados en las formulas siguientes:

$$\text{Calcio ++ (mol (+) Kg-1)} = \frac{\text{mL de EDTA} \times 5 \times N \times \text{FC}}{\text{s g de muestra}} \times 100$$

$$\text{Mg++ (mol (+) Kg-1)} = \frac{\text{mL de EDTA} \times 5 \times N \times \text{FC}}{\text{s g de muestra}} \times 100$$

Dónde:

N= normalidad del EDTA

FC= factor de correlación del EDTA

Para obtener el Factor de Correlación se prepara un blanco con 10 mL de una solución de cloruro de calcio 0.02 N.

$$FC = \frac{10 \text{ (mL de cloruro de calcio 0.02 N)}}{\text{promedio de EDTA en el blanco}}$$

DENSIDAD APARENTE.

Por el método volumétrico (desarrollado por Beaver, 1963), la densidad aparente se obtiene evaluando el peso de un volumen conocido de suelo tamizado y ligeramente compacto. El volumen que se considera en esta medición incluye al de las partículas sólidas y del espacio poroso.

MATERIAL.

Muestra de suelo seco y cernido a través de un tamiz de malla N.10
Balanza granataria con vernier o semi-analítica.
Probeta de 10 mL.
Franela.

PROCEDIMIENTO.

1. Pesar la probeta vacía. Agregar suelo a una probeta hasta completar 10 mL y golpear ligeramente (5 veces) sobre la franela (el golpeo debe ser moderado y siempre aplicando la misma fuerza).
2. agregar el suelo que falte hasta completar nuevamente los 10mL.
3. Volver a golpear ligeramente (3 veces) sobre la franela.
4. pesar la probeta más el suelo y restarle el peso de la probeta vacía.

Sustituir los resultados en la siguiente fórmula:

$$D. A. (g/cm^3 \text{ o } Kg/m^3) = \frac{\text{peso del suelo}}{\text{volumen}}$$

DENSIDAD REAL.

Por el este método del pictómetro (Tomado de aguilara y Domínguez, 1980), la densidad real de un suelo se determina siguiendo el procedimiento básico que se utiliza para conocer la densidad de cualquier objeto; se establece una relación de masa y volumen; para esto, se pesan 5g de suelo y se obtiene el volumen del componente solido (minerales y materia orgánica), sin considerar el volumen del espacio poroso, esto se logra utilizando el principio de Arquímedes, donde el volumen de los sólidos se obtiene por inmersión de los mismos en agua, evaluando el volumen de agua que se desplaza, mismo que equivale al volumen de los sólidos del suelo.

MATERIAL.

Muestra de suelo seco y cernido a través de un tamiz de malla N. 10

Pictómetro o matraz aforado de 25 mL.

Horno.

Balanza analítica o semianalítica.

Piceta o pipeta de 5 mL

Agua destilada hervida.

PROCEDIMIENTO.

Pesar 5g de suelo.

Colocar el suelo dentro del matraz.

Adicionar agua destilada hasta $\frac{3}{4}$ partes del matraz.

Agitar la mezcla (suelo + agua) durante 30 minutos para desalojar al aire.

Llenar el matraz con agua destilada hasta el aforo.

Dejar reposar la mezcla 15 minutos.

Pesar el matraz con suelo y agua.

Desalojar el contenido de la mezcla, enjuagando bien para que no queden

Residuos en el matraz.

Llenar el matraz (vacío) hasta el aforo con agua destilada.

Pesar el matraz con agua.

Sustituir los resultados en la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad real (g/cm}^3\text{)} = \frac{S}{(S + A) - (M)}$$

Dónde:

S = peso del suelo = 5g.

A = peso del agua (restándole el peso del matraz).

M = peso de la mezcla del suelo + agua hasta el aforo (restando el peso del matraz).

POROSIDAD DEL SUELO.

Definida como el volumen ocupado por el espacio poroso con relación al volumen total del suelo. La porosidad se determina cuantitativamente a partir de la densidad aparente y la densidad real, y se expresa como porcentaje:

$$\% \text{ porosidad} = \frac{1 - \text{Densidad aparente}}{\text{Densidad real}} \times 100$$

DETERMINACIÓN DE TEXTURA.

Por el método de del hidrómetro.

En la tabla se muestran los porcentajes de arena, arcillas y limos encontrados en la muestras de biosólidos utilizados. Se observa que los suelos no cambian en gran proporción de textura y permanecen en franco arenosos.

MATERIAL Y EQUIPO.

Hexametafosfato de sodio 1 N.

Agua destilada.

Agua oxigenada al 6%.

Pipeta lowy.

Botellas de 250 ml.

Tamices de 300 mallas.

Botes de aluminio.

Cápsulas de porcelana.

Estufa de aire forzado.

Suelo sin materia orgánica.

Agitador eléctrico.

Agitador de vidrio.

Plancha eléctrica graduable.

PROCEDIMIENTO.

- 1) Pesar 50 g de suelo seco, sin materia orgánica, y posteriormente tamizarlo a través de una malla de < 2 mm.
- 2) colocarlos en el vaso de la batidora mecánica.
- 3) agregar 5 mL de solución de metasilicato de sodio y 5 mL de solución de oxalato de sodio.
- 4) aforar con agua de la llave hasta la segunda ranura del vaso.

- 5) agitar durante 10 minutos.
- 6) pasar la solución a una probeta de 1 L.
- 7) aforar a 1 L con agua de la llave.
- 8) agitar 1 minuto la probeta con la suspensión de suelo.
- 9) dejar reposar 40 segundos y tomar la primera lectura introduciendo lentamente el hidrómetro en la suspensión.
- 10) medir la temperatura.
- 11) dejar reposar 2 horas y tomar la segunda lectura.
- 12) medir nuevamente la temperatura.

Realizar los cálculos correspondientes con las formulas siguientes:

$$\% \text{ de arena} = (B/A) \times 100$$

Dónde:

A= peso de la muestra

B= peso de arenas

$$\% \text{ de arcilla} = (E/A) \times 100$$

C= peso de arcilla + limo = (A-B)

$$\% \text{ de limo} = (F/A) \times 100$$

D= peso del suelo en la alícuota (partículas <0.002 mm)

E= peso de la arcilla = D X 8

F= peso del limo = A-B-E

Con los porcentajes de arena, limo y arcilla y mediante el uso del triángulo de textura se determina la textura del suelo.

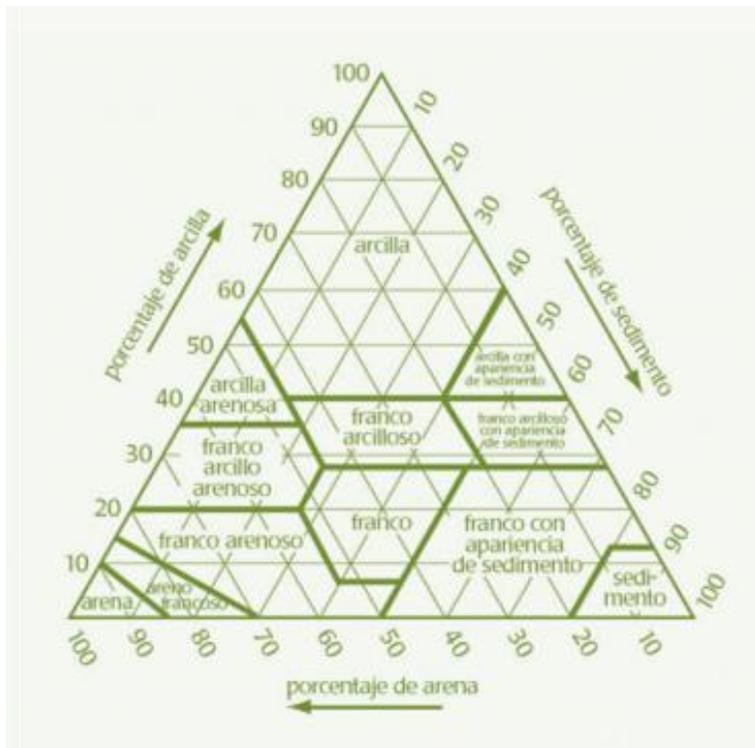


Figura 2.-Triángulo de textura del sistema de clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

FOSFORO ASIMILABLE.

Por el método, desarrollado por Bray y Kurtz (1945), ha sido diseñado para la extracción del fósforo aprovechable, principalmente de suelos ácidos. La extracción del fósforo del suelo es a través de la mezcla de ácido clorhídrico y fluoruro de amonio, los cuales extraen las formas solubles de fósforo, principalmente, de fosfatos de calcio y una fracción de los fosfatos de aluminio y

fierro. El fluoruro de amonio disuelve los fosfatos debido a la formación de un ion complejo con estos compuestos cuando se encuentran en solución acida. Este método ha dado buenos resultados en suelos ácidos y aceptables en pH neutro y ligeramente alcalino.

MATERIAL Y EQUIPO.

Muestra de suelo (1 g) seco y molido en un mortero.

Vasos de precipitado.

Pipetas de 1, 5 y 10 ml.

Matraces aforados de 0.5 y 1 L.

Espectrofotómetro visible.

Probeta de 250 ml.

Botellas de polipropileno 1 L.

Tubos de ensayo de 10 ml.

Tubos de plástico para centrífuga de 15 ml.

Gradillas.

Vórtex.

Centrifuga.

Matraz Erlenmeyer de 1 y 2 L.

Frascos de vidrio ámbar con tapa esmerilada.

PROCEDIMIENTO.

- 1) Pesar 1 g de suelo previamente seco y molido, y colocarlo en un tubo para centrífuga de 15 ml.
- 2) Agregar 7 ml de solución extractora, agitar con vórtex de tal manera que se mezcle bien el suelo y la solución extractora.
- 3) Centrifugar las muestras durante 10 minutos a 6 000 rpm.
- 4) Del sobrenadante tomar 1 ml y colocarlo en un tubo de vidrio, agregar 6 ml de agua destilada y 2 ml de la solución de molibdato y mezclar bien.

- 5) Agregar 1 ml de solución de cloruro estañoso diluido (que debe prepararse al momento) y nuevamente mezclar.
- 6) Pasados 10 minutos leer la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 640 nm. Todas las lecturas deberán terminarse antes de 20 minutos.
- 7) Cada vez que se lea un lote de muestras realizar un blanco de la siguiente manera: Poner 1 ml de H₂O destilada y 1 ml de solución extractora, agregar 5 ml de agua destilada y 2 ml de solución de molibdato de amonio, mezclar bien y agregar 1 ml de la solución de cloruro estañoso, finalmente mezclar otra vez.
- 8) Para construir la curva patrón hacer las diluciones correspondientes de la solución tipo de fosfato, llevando el volumen a 100 ml.