



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos:
potenciales mejoradores de sustratos forestales**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGO

PRESENTA:

Maldonado Bernabé Guillermo

Directora de tesis: Dra. Silvia Romero Rangel

Los reyes Iztacala 2015

Dra. Silvia Romero Rangel: sromero@servidor.unam.mx

Guillermo Maldonado Bernabé: m.maldonadoiztacala@hotmail.com



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Muchas veces he pensado que la vida es un constante esfuerzo. No solo se trata de poner empeño por esperar obtener algo, a veces el esfuerzo es por simple satisfacción personal, por querer superarse, por no querer quedarnos estancados.

Es verdad que se trata de un camino difícil y muchas veces se cubre con la niebla de los miedos, que puede entorpecer nuestro andar, puede hacer que los obstáculos parezcan insuperables, pero a veces solo se necesita insistir, no olvidar las metas y luchar por ellas aunque pensemos que no tenemos los medios para ganar la batalla, pues "sabemos que la vida es dura, pero la amargura no es la solución".

No nos queremos dar cuenta que las cadenas son mentales, que lo único que se requiere es un poco de valor y otro tanto de confianza en nosotros mismos y es entonces que notamos que no estamos solos, que siempre habrá una mano amiga en quien confiar, un motivo por el cual seguir y un mañana al cual llegar.

Frases jamás editadas- Guillermo Maldonado Bernabé

Febrero, 2015

*"ya nadie me para,
en esta vida mi futuro lo hago yo".*

Agradecimientos

A los miembros del comité revisor: Dra. Silvia Romero Rangel, Dr. Daniel Jesús Muñoz Iniestra, Dr. Ignacio Peñalosa Castro, M. en C. Ezequiel Carlos Rojas, Biol. Marcial García Pineda. A todos por su apoyo y consejos, pero sobre todo por mostrarme que la comunidad académica es una gran familia dentro de la que nunca se está solo.

Dra. Silvia, muchas gracias por todo el apoyo. Gracias por que, sin darse cuenta, la ayuda que me brindó no fue solamente académica, gracias por darme su confianza sin conocerme, por dejarme demostrar de lo que soy capaz. Por el tiempo dedicado a ésta tesis, por la paciencia. Gracias por la calidez mostrada durante el tiempo que llevo en el laboratorio, gracias por tratarme como un amigo.

Agradezco al Biólogo Carlos por enseñarme a ver las cosas con optimismo, gracias por ese buen ánimo de todos los días, por las bromas, los chistes y los buenos momentos. Pero sobre todo agradezco el tiempo dedicado a la revisión de ésta tesis, por todas las sugerencias y observaciones, por mostrarme que siempre se puede ir más allá de lo que pensamos.

Gracias al Profe Daniel y a la Maestra Mayra, por todo su incondicional apoyo durante la realización de ésta tesis. Por la paciencia y enseñanzas.

Infinitas gracias a usted Maestra Liliana y al Biólogo Julio, no solo por las oportunidades que me han dado, sino por la amistad que me muestran, gracias por las constantes enseñanzas, por ser un gran ejemplo, por dejarme explorar ese gran mundo exterior del que a veces se tiene miedo, gracias por permitirme tomar confianza en mí mismo.

Agradezco a todo el laboratorio de árboles y arbustos, a los actuales miembros y a quienes, afortunadamente, están desempeñándose desde hace algún tiempo, razón por la cual ya no están en el "lab". Muchas gracias por ser amigos, compañeros y familia, ya que por azares del destino compartimos más que un simple espacio. Ustedes son parte importante de este trabajo.

Gracias a todas las personas que están detrás de este gran logro, no solo desde el lado escolar, sino desde el personal. Agradezco a la vida por permitirme conocer a gente tan valiosa, amigos tan sinceros que de una forma u otra son parte de esto.

A mis padres:

La parte más importante detrás de lo conseguido con este trabajo son ustedes.

Gracias por los cuidados, los regaños, por enseñarme tanto, ustedes son el mejor ejemplo que tengo en la vida, gracias a ustedes he llegado hasta aquí y lo menos que puedo hacer es aprovechar cada oportunidad que se me presente, demostrarles que su esfuerzo no fue en vano. Tal vez nunca pueda agradecerles lo suficiente, pero les prometo que no voy a desaprovechar nada de lo que me han dado. Debo decirles que el orgullo que hasta hoy sienten es solo el inicio.

"Y no me olvido de tus caricias,
Y no me olvido de tu dolor,
que pensaste en nosotros primero,
no te acordaste solo de vos
para que hubiera para almorzar
y que tuviéramos en que soñar
te lo juro de todo eso no me voy a olvidar"

A mi hermana:

Eres mi mejor amiga, eres una gran parte de mi vida, eres simplemente una de las razones por las cuales no quiero quedarme atrás. ¡Gracias por toda la compañía, consejos y alegrías!

¡Hay que seguir adelante que aún nos falta mucho por alcanzar!

A mi hermano:

La vida nos ha llevado a tomar caminos muy distintos. Y aunque se que no lo demuestro yo te quiero. Debes entenderlo, nuestro pasado como hermanos es muy difícil, pero no es razón para negar que he aprendido mucho de ti. Gracias por eso y hechale ganas. Mi hermano es el Oscar que eres cuando estas bien!.

Sabes de lo que hablo!

Indice

1. Resumen.....	1
2. Introducción.....	2
3. Marco teorico.....	4
3.1 Los biosólidos	
3.2 Contaminantes presentes en los biosólidos	
3.2.1 Químicos	
3.2.2 Biologicos	
3.3 Regulaciones ecológicas	
3.4 Frecuencia de muestreo y análisis	
3.5 El sustrato	
3.6 Crecimiento vegetal	
3.7 El género <i>Quercus</i> en México	
4. Antecedenes.....	22
5 Justificación.....	25
6 Objetivos.....	25
6.1 Objetivo general	
6.2 Objetivos particulares	
7 Metodología.....	25
7.1 Caracterización física y química	
7.2 Contenido de metales pesados	
7.3 Contenido bacteriológico	
7.4 Prodecencia de las plantas	
7.5 Obtención y mantenimiento de las plantas de <i>Quercus</i> <i>crassipes</i> y <i>Quercus candicans</i>	
8 Resultados.....	30
8.1 Caracterización física y química	

8.2 Contenido de metales pesados	
8.3 Contenido bacteriológico	
8.4 Monitoreo del crecimiento de <i>Quercus crassipes</i>	
8.5 Monitoreo del crecimiento de <i>Quercus candicans</i>	
9 Discusión.....	39
9.1 Caracterización física y química	
9.2 Contenido de metales pesados	
9.3 Contenido bacteriológico	
9.4 Monitoreo del crecimiento de <i>Quercus crassipes</i>	
9.5 Monitoreo del crecimiento de <i>Quercus candicans</i>	
9.6 Diseño de rizotrones	
10 Conclusiones.....	45
11.Referencias.....	45
12 Anexos.....	54
12.1 Propuesta de diseño de rizotrones	
12.2 Registro de crecimiento	

1. Resumen

En México se producen alrededor de 640,000 toneladas base seca de biosólidos al año. En algunos países se ha comenzado a utilizar este material en la producción de biogás o de ladrillos así como en la propagación vegetal. Sin embargo existen regulaciones ecológicas, como la NOM-004-SEMARNAT-2002, para el uso de estos materiales. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue determinar las características físicas y químicas, así como biológicas de biosólidos obtenidos de una planta piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos, así como monitorear el crecimiento de *Quercus crassipes* y *Quercus candicans* como datos que ayuden a evaluar el efecto de los biosólidos en el crecimiento de estas especies.

Este trabajo 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, estará en funcionamiento en febrero de este año.

Se determinaron las características físicas y químicas de los biosólidos obtenidos. Por otra parte se determino el contenido de coliformes fecales de acuerdo a la NOM-004. Se monitoreó durante 8 meses el crecimiento de dos especies forestales de México (*Quercus crassipes* y *Quercus candicans*) registrándose el crecimiento de las partes aéreas de 60 plantas por cada especie.

Los resultados muestran que los biosólidos no representan un peligro ambiental pues se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles de contaminantes y patógenos establecidos por la NOM-004. Así mismo éstos materiales presentan una gran cantidad de nutrientes que resultarían beneficios si se aplican a sustratos de plantas en vivero, de igual manera pueden proveer de características físicas importantes para la circulación de oxígeno y retención de humedad.

2. Introducción

En los próximos años, muy probablemente, un gran número de plantas de tratamiento de aguas y desechos sólidos estarán operando en México a nivel doméstico e industrial. Los productos de estas plantas son básicamente agua y lodos. Las aguas tratadas son reaprovechadas para riego o para usos industriales, descargadas en las redes de alcantarillado, infiltradas en el terreno o bien descargadas a los cuerpos de agua. Por otro lado, los lodos removidos deben ser retirados 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). En México el volumen de aguas residuales es de 187 m³/s, y sólo el 22% recibe algún tipo de tratamiento, lo que produce 640,000 toneladas base seca de lodos al año (CONAGUA, 2000).

En varios países de América y de Europa se ha propuesto la reutilización de éstos biosólidos de distintas maneras, desde la producción de biogás hasta su uso para la construcción, mezclándolos con otros componentes para hacer ladrillos, siendo la más frecuente el uso en la agricultura, gracias a que es una alternativa económica de suministrar nitrógeno a los suelos así como algunos otros minerales por ejemplo, fosforo, hierro, zinc y cobre (Fresquez *et al.*, 1990).

En México lugares como Morelos, Monterrey, Jalisco y Toluca ya reutilizan los biosólidos procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales principalmente en la producción vegetal, otro ejemplo es el de Cuba, país que utiliza sus biosólidos para el cultivo en respuesta a los problemas ecológicos y económicos provocados por el uso intensivo e inadecuado de fertilizantes minerales (Utria *et al.*, 2008). Dichos problemas son causados por que una gran parte de los químicos usados en los cultivos no son asimilados por las plantas pues pueden ser arrastrados por el viento o por la lluvia, llegando a contaminar otros ecosistemas, de hecho se estima que solo se absorbe entre el 10 y el 60% del total (Peña *et al.*, 2001).

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

Por otro lado, los costos producidos por la disposición final son muy elevados, pues representan más del 40% del gasto global del tratamiento de las aguas residuales (Mahamud *et al.*, 1996).

Es por eso que se han buscado alternativas para la producción vegetal sin usar fertilizantes, una de éstas es la utilización de abonos orgánicos, especialmente el humus de lombriz o vermicomposta que constituye, por su contenido nutrimental y de microorganismos, un auténtico fertilizante biológico (Compagnoni y Potzolu, 2001).

En este sentido se ha pensado que el empleo de los biosólidos puede favorecer el crecimiento y desarrollo de las plantas forestales, considerando que éste 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).

Algunos autores consideran que si bien, el uso de los biosólidos puede ser una opción para evitar la fertilización mediante químicos, éstos también representan un riesgo para el ambiente pues pueden presentar altos contenidos de metales pesados o de bacterias, lo cual significaría un riesgo a la salud pública.

Es por ello que este trabajo tiene como objetivo principal la caracterización de las propiedades físicas y químicas así como biológicas de biosólidos procedentes de una planta piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos, con el fin de determinar su posible uso como mejoradores de suelos agrícolas o de viveros.

Este trabajo 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, estará en funcionamiento en febrero de este año.

3. Marco teórico

3.1 Los biosólidos

Uno de los materiales que se ha considerado usar como fertilizantes naturales son los biosólidos, éstos son definidos en La Norma Oficial Mexicana-004 SEMARNAT 2002 como los lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamiento.

El contenido nutrimental de este material hace que se le considere una buena opción para dotar al suelo de minerales esenciales para las plantas, lo que resultaría en una reducción en el uso de fertilizantes químicos que pueden contaminar las tierras así como otros ecosistemas y los organismos que los habitan, pues los componentes químicos de los fertilizantes pueden ser arrastrados por la lluvia o el viento.

Sin embargo los biosólidos pueden contener niveles peligrosos de metales pesados o bacterias patógenas por lo cual lo más recomendable es realizar pruebas de laboratorio para descartar estas posibilidades, pues la presencia de contaminantes en el suelo puede provocar, además de que las plantas presenten daños al crecer, que se vea afectada la salud de las comunidades cercanas a los campos de cultivo o zonas en donde se empleen los biosólidos.

Las propiedades físicas de los lodos que pueden determinarse a través del análisis de laboratorio son: espacio poroso total (EPT), capacidad de retención de humedad (CRH), densidades aparente (DA), densidad real (DR); también las características químicas son importantes, ya que están relacionadas con la disponibilidad de nutrientes. En el laboratorio comúnmente se determinan el contenido de materia orgánica (MO), el pH, la capacidad de intercambio cationico y el contenido de nitrógeno total (NT) (Valenzuela *et al.*, 2005).

3.2 Contaminantes presentes en los biosólidos

Los contaminantes presentes en los biosólidos generalmente son de tipo químico y biológico, a continuación se presentan algunos elementos contaminantes de ambos tipos.

3.2.1 Químicos

Un metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y que sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Algunos ejemplos de metales pesados son mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl) y plomo (Pb) entre otros (Lucho *et al.*, 2005).

Los metales pesados se encuentran en la corteza terrestre de manera natural, sin embargo estos materiales pueden tener dos orígenes, los geogénicos y los antropogénicos. Los elementos geogénicos proceden de la roca madre, de la actividad volcánica, o de la lixiviación de mineralizaciones, mientras que los antropogénicos derivan de residuos peligrosos, procedentes de actividades industriales, minería e industria agrícola, así como de los residuos sólidos urbanos. Siendo los metales pesados de origen antropogénico los considerados como contaminantes (Huertos y Baena, 2008).

La disposición final de los residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios, en sitios controlados o en tiraderos a cielo abierto, da lugar a la generación de lixiviados y biogás, derivados de los procesos de descomposición microbiana y de los componentes de residuos (Kiss y Encarnación, 2012).

Los metales pesados encontrados en biosólidos destinados a suelos agrícolas representan un riesgo ya que pueden acumularse en los organismos. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo (Angelova *et al.*, 2004). Estos elementos permanecen en la cadena alimenticia debido a que no pueden ser degradados o destruidos

fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Abollino *et al.*, 2002).

Sin embargo existen algunos como el manganeso que son necesarios para las plantas en el fotosistema y activación de alguna enzimas para el metabolismo vegetal (Mahler, 2003).

Se debe analizar el contenido de metales pesados en biosólidos destinados a la agricultura o a la producción de plantas ornamentales y forestales, pues el contacto de metales pesados con las comunidades humanas puede ocasionar daños irreversibles a la salud, algunos de los elementos más dañinos los menciona Valdés (1999), como son:

- Plomo (Pb):

Cuando es ingerido, inhalado o absorbido por la piel, resulta ser altamente tóxico para el sistema endócrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico y gastrointestinal, además de poder afectar la piel y los riñones.

Aún en concentraciones bajas el plomo puede causar crecimiento retardado, convulsiones, colapsos e incluso la muerte.

El departamento de salud del estado de Texas, señala los siguientes efectos del plomo en niños relacionando el contenido de plomo en la sangre (Cuadro 1).

Cuadro 1: Síntomas relacionados al contenido de plomo en sangre

Síntomas	Nivel de Plomo en la sangre ($\mu\text{g}/\text{dL}$)
Parto prematuro, bajo peso al nacer, problemas de desarrollo y aprendizaje	10 a 15
Cociente intelectual reducido	25
Reflejos más lentos	30
Menos glóbulos rojos en la sangre	40
Problemas nerviosos, anemia, cólicos	70

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

Problemas estomacales y renales	90
Problemas cerebrales	100

- **Arsénico (As):**

El arsénico es muy tóxico y causa daños al sistema neurológico, al sistema cardiovascular y está ligado a diversos tipos de cáncer como el de la piel. La intoxicación crónica por arsénico se puede manifestar por la aparición de llagas y un aspecto leproso, además puede causar cáncer pulmonar.

Entre los síntomas de la intoxicación por arsénico se incluye la fatiga, los dolores musculares, la pérdida del cabello, el zumbido de los oídos, la cicatrización difícil, alucinaciones visuales.

Las fuentes principales de la contaminación arsenical son las fundidoras, el agua de ciertas regiones, el humo de tabaco, algunos plaguicidas, los huevos de gallina criada en régimen industrial, pues se les da arsénico para combatir los parásitos.

- **Cadmio (Cd):**

El cadmio no es necesario en el cuerpo humano y su ingesta puede provocar osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón, cáncer de próstata, hipertensión, diversas cardiopatías y retraso en la habilidad verbal de los niños. Puede estar presente en suelos contaminados, en algunas tuberías antiguas, algunas pinturas y plásticos.

3.2.2 Biológicos

El control de los parámetros microbiológicos es muy importante tanto en los sistemas de potabilización como de depuración del agua. Sin embargo, en los lugares donde el agua es consumida por el hombre o es reutilizada, el factor de riesgo más importante está asociado con la exposición a agentes biológicos que incluyen bacterias patógenas, helmintos, protozoos y virus entéricos (Asano y Levine, 1998), pues se sabe que las aguas residuales domésticas pueden

contener este tipo de organismos, los cuales se acumulan en los lodos aun cuando hayan pasado por tratamientos que remueven gran parte de ellos.

Visto desde el punto de la salud pública, los virus entéricos son el grupo de organismos más críticos debido a que la dosis infecciosa es muy baja, son bastante resistentes a los sistemas de desinfección y el control a nivel de laboratorio es costoso (Ayres y Wescot, 1987). Por ello cuando se trata de determinar la calidad bacteriológica de alguna muestra se ha optado por trabajar con organismos indicadores, los cuales tiene un comportamiento similar a los patógenos, pero son más rápidos, económicos y fáciles de identificar.

Una vez identificados los organismos indicadores, se puede inferir que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a condiciones del ambiente (pH, temperatura y nutrientes) es similar a la del indicador.

- Bacterias coliformes fecales: Uno de los grupos de bacterias que se pueden usar como indicadores para determinar la calidad de agua o biosólidos son las bacterias coliformes fecales, las cuales son un subgrupo de las coliformes totales que se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente y que reflejan de buena manera la presencia de contaminación fecal.

Según Koneman (2012) son bacterias pequeñas en forma de bacilos, anaerobias facultativas, Gramnegativas de $0.5\mu\text{m}$ por $3\mu\text{m}$, no forman esporas y fermentan la lactosa con formación de gas en 48 horas a temperaturas de entre 35°C a 37°C estas bacterias son consideradas indicadoras de contaminación fecal ya que:

- Son comensales del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente.
- Permanecen en el agua más tiempo que las bacterias patógenas.

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

- Se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección.

Las bacterias coliformes fecales se introducen en gran número al ambiente, por las heces de los humanos y los animales, por tal motivo suele deducirse que la mayoría de los coliformes presentes en las aguas y biosólidos son de origen fecal. La contaminación fecal en los biosólidos podría causar enfermedades gastrointestinales a las personas que se encuentren expuestos a ellos, por lo cual es importante asegurarse que las aguas o biosólidos destinados a fines agrícolas o forestales no representan un riesgo para la salud de las comunidades humanas.

- *Salmonella sp*: Los organismos del género *Salmonella* son bacilos, Gram negativos, anaerobios facultativos, que pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*. Miden aproximadamente 1µm y son móviles debido a la presencia de flagelos peritricos (Linder, 1995).

El género se divide en dos especies: *Salmonella entérica* y *Salmonella bongori* (Corburn *et al.*, 2007). La más común es *Salmonella entérica* pues el 99% de las salmonelosis se relacionan con este grupo (Ellermeier & Schlauch, 2006).

Estos organismos están asociados a enfermedades diarreicas, las cuales continúan siendo una de las causas más importantes de morbilidad y mortalidad, sobre todo en lactantes, niños y ancianos. Se ha estimado que en Asia, África y Latinoamérica la probabilidad de que un niño muera por enfermedades diarreicas antes de los 7 años puede llegar al 50% (Mead, 1999).

Linder (1995), menciona que el crecimiento óptimo de estas bacterias se da en un pH de entre 6.6 y 8.2, en concentraciones bajas de sales y a temperaturas mayores a 6°C y menores a 70°C aproximadamente. Estos organismos se encuentran ampliamente distribuidos en el tracto gastrointestinal de los mamíferos domésticos así como en reptiles, aves e insectos (Parra *et al.*, 2002).

Una de las principales bacterias de este grupo es la *Escherichia coli*, la cual coloniza el intestino del hombre pocas horas después de su nacimiento y puede

causar enfermedades como diarrea, síndrome urémico hemolítico, colitis hemorrágica y cuadros de disentería, principalmente en niños (Rodríguez, 2002).

- Helmintos: Otros organismos a considerar son los helmintos ya que representan un gran riesgo para la salud al ocasionar enfermedades intestinales (*Trichuris trichiura* y *Ascaris lumbricoides*), los huevos de estos parásitos tienen un prolongado tiempo de supervivencia en el ambiente (Jiménez *et al.*, 2002).

3.3 Regulaciones ecológicas

Existen autoridades ambientales que regulan el uso de los biosólidos y aguas residuales, estableciendo que sus características cumplan con una serie de requerimientos para poder asignarles un uso. Los factores que se toman en cuenta para designar el uso del material son la calidad fisicoquímica, el contenido de patógenos y las concentraciones de metales pesados.

En México, la Norma Oficial Mexicana 004 establece los límites máximos permisibles de coliformes fecales, huevos de helmintos, *salmonella spp.* y metales pesados en biosólidos procedentes de plantas de tratamiento de residuos sólidos y aguas tratadas indicando tres clases de lodos, los cuales son:

- Clase A: Excelentes; para usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación. Y cualquiera de los usos para Clase B y C.
- Clase B: Buenos; para usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación. Y los establecidos para los de Clase C.
- Clase C: Buenos; para uso forestal, mejoramiento de suelos, usos agrícolas.

Por otro lado se debe realizar un estudio que determine el contenido de metales pesados en los biosólidos, para evitar problemas de contaminación de cultivo o daño a la salud pública.

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

En el cuadro dos se presentan los límites de metales pesados, establecidos por la NOM-004.

Cuadro 2: Límites máximos permisibles de metales pesados en lodos y biosólidos.

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS mg/kg 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
Niquel	420	420
Zinc	2800	7500

Los límites máximos permisibles de patógenos en lodos y biosólidos establecidos por la NOM se señalan en el cuadro tres.

Cuadro 3. Límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos se establecen en la siguiente tabla.

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACIÓN	PATOGENOS	PARASITOS
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1,000	Menor de 3	Menor de 1
B	Menor de 1,000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2,000,000	Menor de 300	Menor de 35

Debido a que existen pocos reportes de la calidad de los lodos generados en México, se considera importante realizar evaluaciones de estos materiales, para determinar si es posible aprovechar su contenido nutrimental o, de ser necesario, someterlos a un tratamiento especial para evitar que contaminen el ambiente.

3.4 Frecuencia de muestreo y análisis

La NOM-004 establece un intervalo de tiempo en el que se deben realizar análisis a los biosólidos producidos por las plantas de tratamiento de residuos sólidos orgánicos de acuerdo al volumen generado por año en base seca. A continuación se presenta dicha información.

Cuadro 4: Recomendaciones de muestreo según la capacidad del reactor.

Volumen generado por año (Ton/Año) en base seca	Frecuencia de muestreo y análisis	Parámetros a determinar
Hasta 1,500	Una vez al año	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 1,500 hasta 15,000	Una vez por semestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 15,000	Una vez por trimestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos

La misma NOM-004 también propone ciertas excepciones al análisis de los lodos, las cuales señalan que el generador podrá quedar exento de realizar el

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

muestreo y análisis de alguno o varios de los parámetros establecidos en la Norma Oficial Mexicana, siempre y cuando la detección de éstos sea en cantidades menores que los límites máximos establecidos, o cuando por la procedencia de los lodos y biosólidos éstos no contengan los contaminantes regulados en la Norma Oficial Mexicana, en ambos casos, deberá manifestarse ante la secretaría por escrito y bajo protesta de decir la verdad. La autoridad se reserva el derecho de verificar dicha información.

De igual manera se establece que el generador deberá contar con una bitácora de control de lodos y biosólidos, de acuerdo a lo establecido por la NOM.

3.5 El sustrato

El término sustrato, 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 para las plantas.

El propósito de un medio es proporcionar las condiciones necesarias para un adecuado desarrollo; existen muchos materiales y mezclas para dicho propósito, los materiales a usarse así como las proporciones, en caso de que se hagan mezclas, están sujetas al criterio de cada productor, con base en su experiencia personal, por lo cual, a veces, se hace uso inadecuado o innecesario de ciertos componentes (VIFINEX, 2002)

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

Para que un sustrato tenga la capacidad de cumplir correctamente todas sus funciones y sirva como medio de protección para el sistema radicular, es necesario que mantengan determinados parámetros de porosidad, composición,

presencia de microorganismos y materia orgánica. Dentro del último criterio se encuentran los micronutrientes y macronutrientes.

Los micronutrientes son elementos necesarios para las plantas aunque se requieren en pequeñas cantidades, algunos elementos que se encuentran dentro de esta clasificación son: Fe, Ni, Mn, B, Cu, Zn, Mo, Cl.

Por otra parte los macronutrientes son de vital importancia para la planta, además de que se requieren en gran cantidad. Algunos ejemplos son N, P, K, Ca, Mg y S.

El pH es uno de los elementos más importantes pues influye directamente en los procesos físicos y químicos de los suelos. Por otro lado la CIC es un factor determinante para la nutrición vegetal, éste es un índice de la fertilidad del suelo y está condicionado el contenido de materia orgánica (Ortega, 1981).

Según VIFINEX (2002), un medio debe cumplir cuatro funciones para proporcionar buenas condiciones de crecimiento a las plantas, las cuales son:

- Proporcionar anclaje
- Retener humedad de modo que esté disponible para su aprovechamiento
- Permitir el intercambio de gases entre las raíces y la atmósfera
- Servir como depósito para los nutrientes esenciales

Debido a que los sustratos pueden perder sus nutrientes con el paso del tiempo, ya sea por lixiviación o por la sobre explotación del mismo, se utilizan fertilizantes naturales y químicos en busca de mejorar sus propiedades y de proporcionar a las plantas las mejores condiciones para su crecimiento.

Sin embargo se ha visto que el uso excesivo de fertilizantes químicos provoca graves daños al ambiente en que se emplea y a todo aquel al que tiene alcance, ya que las sales minerales del fertilizante usado pueden ser lavadas por

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

las lluvias o arrastradas por el aire, llevándolos a ambientes a los que no está dirigido.

Diversos autores mencionan que los fertilizantes están provocando que el suelo sufra un agotamiento acelerado de materia orgánica y de un desbalance nutrimental, y que al transcurrir el tiempo pierda su fertilidad y capacidad productiva.

3.6 Crecimiento vegetal

El crecimiento se puede definir como el incremento en el tiempo del tamaño o peso del individuo como resultado de la síntesis de grandes moléculas y del alargamiento de las células (Salisbury y Ross, 1992).

El crecimiento de las plantas se produce en zonas especializadas que reciben el nombre de meristemas, los cuales son regiones en donde se producen nuevas células, durante toda la vida de la planta, a través de procesos de división. Las células originadas por la división de las células meristemáticas sufrirán un proceso de diferenciación hasta transformarse en diferentes tipos de células.

El crecimiento del árbol está regido por las condiciones genéticas de la especie, así como por las condiciones ambientales del sitio en que se encuentren las plantas. Durante los primeros años de vida los árboles crecen longitudinalmente, es decir tienen crecimiento primario el cual se origina como consecuencia de la producción de nuevas células en la zona correspondiente al meristemo apical (Wheeler, 1999). Los meristemas se encuentran en el ápice de tallo, ramas y raíces.

Posteriormente se presenta el crecimiento secundario el cual es el incremento del diámetro del tallo, ramas y raíces de las plantas y comienza con la formación del cambium vascular. El cambium vascular es un meristemo de tipo

lateral e intercalar y, normalmente, forma una capa continua localizada periféricamente desde el ápice hasta la raíz.

En gran parte el éxito que pueda tener una planta para crecer depende del desarrollo de su sistema radical, pues es la raíz la que absorbe los nutrientes y agua del suelo, para después ser distribuidos a través del xilema. Ésta tiene cuatro funciones principales las cuales son:

- Proporcionar anclaje al suelo
- Absorción de nutrientes
- Permitir el intercambio gaseoso
- Acumulación de nutrientes

Por lo tanto el suelo juega un papel determinante en su desarrollo ya que si es pobre en nutrientes o demasiado seco el crecimiento radical será lento, mientras que si las condiciones del suelo son adecuadas aumenta el volumen de la raíz y por lo tanto es mayor el área del suelo que puede explotar (Taiz y Zeiger, 2006).

La arquitectura de la raíz es un aspecto fundamental en el desarrollo de la planta debido a que necesita explotar un ambiente heterogéneo, ya que muchos nutrientes se encuentran desigualmente distribuidos o acumulados en ciertas zonas del suelo (Lynch, 1995), por ello es importante que el desarrollo radical sea óptimo. El crecimiento de la raíz está determinado por factores genéticos y ambientales, entre los últimos se destacan las propiedades físicas y químicas del suelo (Arcos, 2009), como son la humedad, temperatura, pH y la composición del sustrato (Raven *et al.*, 1992).

Es por ello que las condiciones del medio en que se encuentre la raíz son esenciales para asegurar un desarrollo adecuado de la planta. En viveros se ha reportado que los sistemas radicales de los árboles forestales puede alcanzar una longitud total de entre 12 a 18 km (Taiz y Zeiger, 2006).

El análisis del crecimiento es una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas (Clavijo, 1989). Ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores que influyen el desarrollo de la planta y el rendimiento, a través del seguimiento de la acumulación de materia seca durante el tiempo (Gardener *et al.*, 1985).

3.7 El género *Quercus* en México

Quercus, de la familia *Fagaceae* es de amplia distribución no solo en México sino en el mundo, incluye aproximadamente 500 especies, en las regiones templadas y subtropicales del hemisferio norte (Romero y Rojas, 2002). Se reconocen dos centros de diversificación para el género; el primero se localiza en el sureste de Asia con aproximadamente 125 especies, y el segundo se presenta en México con 135 a 150 especies (Nixon, 1993).

Los bosques de encino representan uno de los ecosistemas más importantes de México dada su amplia distribución y diversidad de especies (Rzedowski, 1978; Figueroa y Olvera, 2000).

Sin embargo al igual que muchos otros ecosistemas, los bosques de encino están sujetos a fuertes presiones antrópicas que resultan en su disminución o desaparición (Hernández *et al.*, 2000).

La producción de encinos y la restauración de sus hábitats naturales resulta ser muy importante pues los encinares ayudan a la restauración y mejoramiento de suelos, además de ser un factor clave en las interacciones bióticas puesto que constituyen el hábitat y alimento de una innumerable cantidad de especies de plantas y animales (Figueroa y Olvera, 2000). Además de esto el género *Quercus* es muy importante en el almacenamiento del carbono, en los ciclos del agua y el oxígeno en la biosfera debido a su amplia distribución geográfica, tanto a escala mundial como nacional (Beas *et al.*, 1977; Woodwell *et al.*, 1978 citados por Mur, 2003).

En México se han llevado a cabo estudios sobre demografía, reintroducción y reclutamiento de *Quercus spp.* en distintos ambientes, estos proyectos incluyen siembra de semillas y reintroducción de plántulas (Jordano *et al.*, 2002).

Es por ello que la producción de encinos es muy importante para la recuperación de los encinares y por ende para revertir el daño que se ha causado no solo a la zona en donde se ha talado, sino a los muchos otros ecosistemas que se veían beneficiados por los servicios ambientales que prestan los bosques de encino.

4. *Quercus crassipes* (Romero y Rojas., 2002).

Quercus crassipes Humb. & Bonpl. Pl. Aequinoct. 2: 37. Pl. 83. 1809.

Una de las especies con que se trabajará es *Quercus crassipes*, que pertenece al subgénero *Quercus* sección *Lobatae* (Nixon, 1993).

Hojas: Las hojas jóvenes presentan pubescencia abundante amarilla en haz y envés, mientras que las hojas maduras son coriáceas, angostamente elípticas, lanceoladas u oblanceoladas, lámina 2-9 (-10.8) 3 (0.6-) 1-3 (-4)cm, el ápice presenta aristas de 3mm de largo, borde entero. Tiene de 10 a 19 nervaduras a cada lado, pueden ser rectas o curvas, bifurcados cerca del margen, haz algo lustroso con color verde o grisáceo, glabro, nervadura central elevada. Envés con pubescencia densa, nervadura ligeramente elevada. Con peciolo amarillentos o rojizos, pubescentes o casi glabros, (1-) 2-7 (-10)mm de largo, de 0.5-1mm de diámetro.

Flores: Las masculinas presentan 5 estambres de 3mm de largo, las anteras son apiculadas y pubescentes; las femeninas se encuentran solitarias o en pares sobre un pedúnculo de 5mm de largo, miden de 2-2.5mm de diámetro.

Fruto: Es bianual, solitario o por pares, cúpula hemisférica, de 11-17mm de diámetro, con escamas engrosadas en la base, bellota ovoide, pared interna del pericarpio lanosa.

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

Tronco: Mide de 0.40 a 1m de diámetro, corteza de placas alargadas de color oscuro.

Ramillas: De (5-) 1-2mm de diámetro, con pubescencia densa amarilla, lenticelas de hasta 1mm de largo, pálidas o del mismo color de la rama, yemas de 1.5-4.5mm de largo, color café. Rojizo, escamas coriáceas, bordes ciliados; estípulas de 7-8mm de largo, linear-lanceolada, membranosas pubescentes en el dorso, deciduas.

Reconocimiento: Se reconoce principalmente por sus hojas ya que el ápice es aristado y las nervaduras forman ángulos casi rectos, parecida a *Quercus mexicana*, aunque se diferencia debido a que ésta presenta tricomas estrellados con sus ramas entrelazadas entre sí.

Distribución y hábitat: Se trata de una especie endémica de México, habita en Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Querétaro, Colima, Hidalgo, estado de México, DF, Morelos, Tlaxcala y Puebla. Se encuentra en bosques de *Quercus*, *Pinus-Quercus* y *Quercus-Cupressus*, bosque mesófilo de montaña, matorral xerófilo, en sitios de transición de pastizal a bosque mixto.

Fenología: Florece en mayo y fructifica de septiembre a enero.

Nombres y usos: encino, encino colorado, encino chilillo. De la paz, 1982 citado por Romero y Rojas, 2002, recomienda su madera para pisos de residencias, auditorios, museos entre otros.



Figura 1: *Quercus crassipes*, -A. Rama. -B. Fruto.- C. Tricomos.- D. Hojas. Imagen tomada de la publicación de Romero *et al.*, 2002.

5. *Quercus candicans* (Romero y Rojas., 2002).

Quercus candicans Née, Anales Ci. Nat. 3: 277. 1802. TIPO. México. Michoacán: Pátzcuaro, Pringles 3955 (MA).

Este árbol puede alcanzar alturas de hasta 15m.

Hojas: Las hojas jóvenes son algo lustrosas de color verde oscuro, el haz presenta abundantes tricomas estrellados cortos y simples dispersos, envés con pubescencia densa blanca. Las hojas maduras son coriáceas y gruesas, obovadas, ápice obtuso o agudo, aristado, puede llegar a tener 25 aristas de cada

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

lado distribuidas en las dos terceras partes de la superficie de la hoja, aristas de hasta 5 mm de largo.

Flores: Amentos masculinos laxos, perianto de 2.5-3mm de diámetro, pilosos en la parte externa, anteras externas de 1.5mm de largo apendiculadas, filamentos largos de 2.5mm de largo.

Fruto: Anual o bianual, puede presentarse solitario o en pares sobre pedúnculos de 15mm de largo, pubescente, cúpula hemisférica de 19-23mm de diámetro, borde recto, escamas gruesas, con pubescencia corta y muy abundante, ápice redondeados a agudos, glábros, bellota de 20mm de largo, de 17mm de diámetro.

Tronco: El tronco puede llegar a tener hasta 1 metro de diámetro.

Ramillas: Con (1.5-) 2-3 (-3.5)mm de diámetro, presenta abundante pubescencia amarilla que tiende a disminuir con el tiempo. Tiene lenticelas de 1-3mm de largo, yemas ovoides de color castaño, de (2-) 3-5 (-6)mm de largo, con escamas pilosas.

Reconocimiento: *Quercus candicans* se reconoce por sus hojas con dientes aristados, haz verde lustroso y envés con pubescencia blanca.

Distribución y hábitat: En México se distribuye en los estados de Chiapas, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Nayarit, Oaxaca y Sinaloa. Se encuentra en bosques de *Quercus-Pinus*, y bosque mesófilo de montaña.

Fenología: Florece en mayo y fructifica en noviembre.

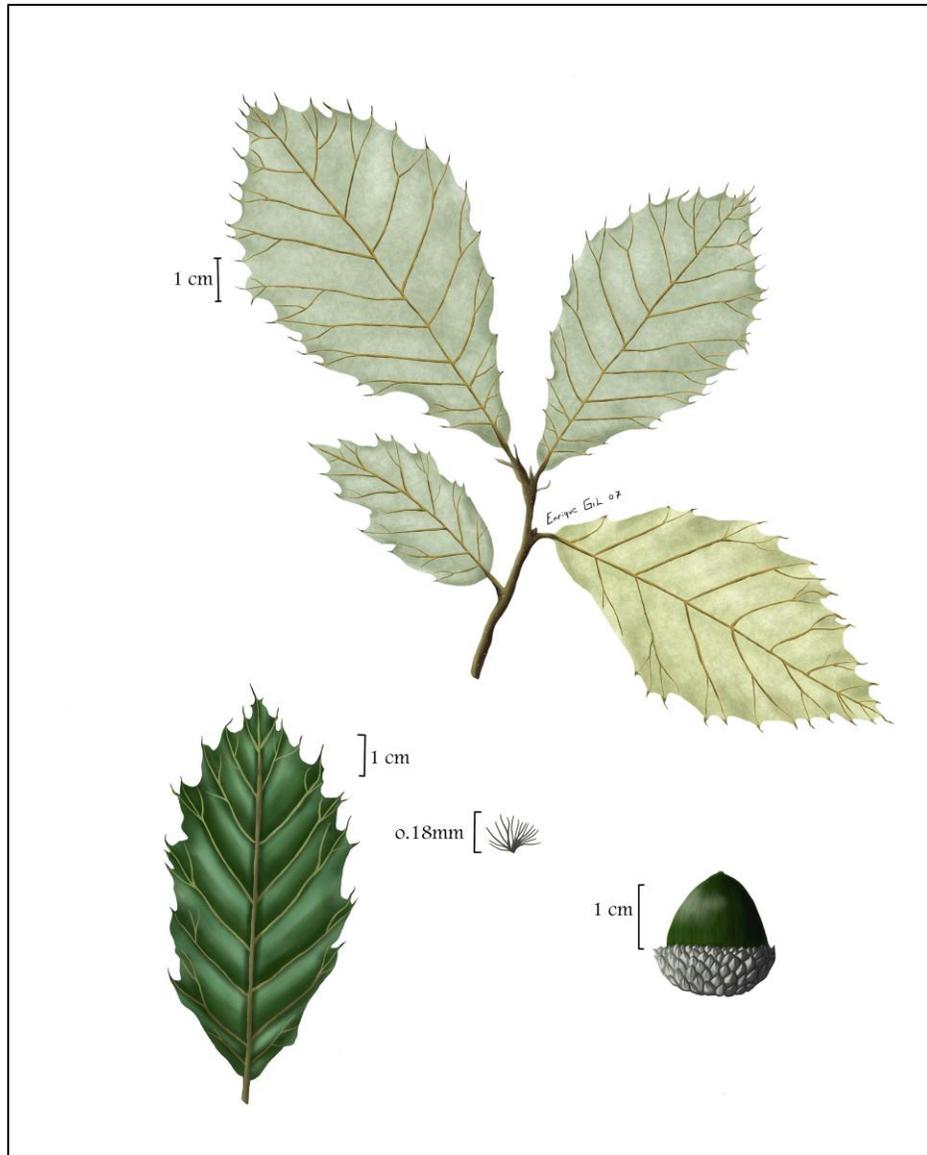


Figura 2: *Quercus candicans*, -A. Rama. -B. Fruto.- C. Tricomas.- D. Hojas. Imagen tomada de la publicación de Romero *et al.*, 2002.

Nombres y usos comunes: Encino de asta, encino cenizo, encino papatla, encino blanco, ahuamextli. La corteza es utilizada para el dolor de muelas causando efecto por hasta 15 días. La madera se usa para muebles, chapa fina, pisos para residencias, marcos para puertas y ventanas, cajas de empaque etc.

4. Antecedentes

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

La posibilidad de usar los efluentes derivados de las plantas de tratamientos de residuos orgánicos como fertilizantes ha sido poco estudiada en México. En algunos trabajos se observó que ante la aplicación de sustancias húmicas el efecto es estimulador para el crecimiento de las plantas, lo que se ha relacionado con el aumento en la absorción de macronutrientes (Chen y Aviad, 1990). Un buen sustrato es esencial en la producción de plantas en macetas, 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 (Cabrera, 1995).

Anderson (1959), desde hace muchos años, ya comentaba que la composición de los lodos es variable y depende principalmente del método utilizado para su depuración, de los materiales sometidos al tratamiento y de la realización de algunos procesos posteriores a la obtención del lodo (dsecación, compostación, agregado de cal, etc.) además de que los elementos que se consideran de mayor relevancia en su composición son 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.

Canet *et al.*, (1996), Chaney *et al.*, (1980), Salvador *et al.*, (1993) y Tesi *et al.*, (1994), también afirmaban que en distintos países (desde esos tiempos) se estaban desarrollando investigaciones sobre el uso de lodos como enmienda en suelos agrícolas. Así mismo, se estaba experimentando sobre su uso, solos o combinados con otros materiales, como sustratos en la producción hortícola y florícola.

En Chile, se han evaluado durante los últimos años distintos usos para los biosólidos como: silvoagrícola, energético, reforestación, y en áreas verdes (Arriagada, 2007).

Rámila y Rojas (2008), afirman que los biosólidos presentan características que los hacen muy buenos fertilizantes tanto para la industria agrícola como

forestal, también son útiles para recuperar tranques de relaves (fitoestabilización), recuperar canteras, rellenos sanitarios, etc. Además, se ha estudiado la posibilidad de fabricar ladrillos con un porcentaje de biosólidos. En otros países se puede ver que el uso como fertilizante está muy desarrollado, incluso en Estados Unidos y el Reino Unido se han usado desde 1920 (Rámila y Rojas, 2008).

Pineda *et al.*, (2008), ensallaron distintos sustratos, algunos de ellos incluyen biosólidos, en el crecimiento de la Nochebuena. Ellos encuentran 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.

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.

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

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, para producir cualquiera de las tres especies de *Pinus*.

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

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos 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.

En estudio realizado por 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 Peatmoss.

Castañeda *et al.*, (2009), 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 en el área de estudio.

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 consideran 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.

5. Justificación

La constante producción de residuos sólidos orgánicos puede representar un problema de salud y ambiental, es por ello que es importante la realización de proyectos que busquen la utilización de estos materiales en áreas productivas,

evitando de esta manera la contaminación de ecosistemas y permitiendo aprovechar las propiedades físicas y nutritivas de los biosólidos.

6. Objetivos

6.1 Objetivo general

- Determinar las características físicas, químicas y biológicas de muestras de biosólidos procedentes de una planta piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos.

6.2 Objetivos particulares

- Describir las características físicas, químicas y biológicas de los biosólidos.
- Monitorear el crecimiento de dos especies forestales (*Quercus crassipes* y *Quercus candicans*), como base de futuros experimentos de aplicación de biosólidos.
- Diseñar rizotrones, como equipo para evaluar el crecimiento radical de las plantas.

7. Metodología

7.1 Caracterización física y química

Se analizaron las características fisicoquímicas de los biosólidos obtenidos de un reactor que se encuentra en la Facultad de Química en CU, el cual es una versión de prueba de la planta piloto que se ubicará en la CUSI Almaraz de la FES Iztacala. Dicho reactor funciona procesando residuos sólidos orgánicos tal como lo hará la planta que se instalará en Almaraz.

Se procesaron dos muestras de biosólidos, cada una se analizó por separado y en distintos tiempos. La primera muestra se caracterizó en el mes de abril y la segunda en el mes de noviembre.

Los biosólidos se centrifugaron a 5000 rpm para separar la fracción sólida de la líquida y posteriormente se secaron a exposición directa al sol para eliminar

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

la humedad presente. Adicionalmente se mantuvieron en estufa por tres días a 23°C, hasta llegar a peso constante, pues las pruebas que se realizaron demandan que la muestra a procesar tenga 0% de humedad.

Se analizaron los biosólidos describiendo las siguientes características de acuerdo a Muñoz *et al.*, (2012): densidad real, densidad aparente, retención de humedad, porosidad total, pH, Mo, Na, N, P, K, Ca, Mg.

7.2 Contenido de metales pesados

Una de las pruebas más importantes que se realizó a los biosólidos fue la de contenido de metales pesados, pues estos elementos son de los más contaminantes. En esta prueba se analizaron los siguientes elementos: Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Hg.

7.3 Contenido bacteriológico

Por otra parte se hizo la caracterización bacteriológica de las muestras de lodos obtenidas, realizando la prueba de contenido de coliformes fecales como lo establece la NOM-004.

7.4 Procedencia de las plantas

Las plantas fueron adquiridas del invernadero de la FES Iztacala, sin embargo el sitio de procedencia de las semillas es importante debido a que a través de su estudio se puede inferir el comportamiento de las semillas a las condiciones bajo las que se mantendrán en invernadero.

Arcos (2009), realizó la caracterización del sitio de colecta de las semillas, tomando en cuenta factores climáticos, edáficos y de uso de suelo. A continuación se presenta la descripción del sitio.

La zona donde se adquirieron las semillas es el municipio de Nicolás Romero, el cual se encuentra ubicado en la región noreste del Estado de México, colinda con los municipios de Villa del Carbón y Tepetzotlán al norte; al sur con

Atizapán de Zaragoza, Isidro Fabela y Temoaya; al este con Cuautitlán Izcalli y al oeste con Jiquipilco y Villa del carbón; se encuentra en las coordenadas geográficas extremas: Latitud Norte: del paralelo 19° 33' 50" al paralelo 99° 32' 00", tal y como se muestra en el mapa.

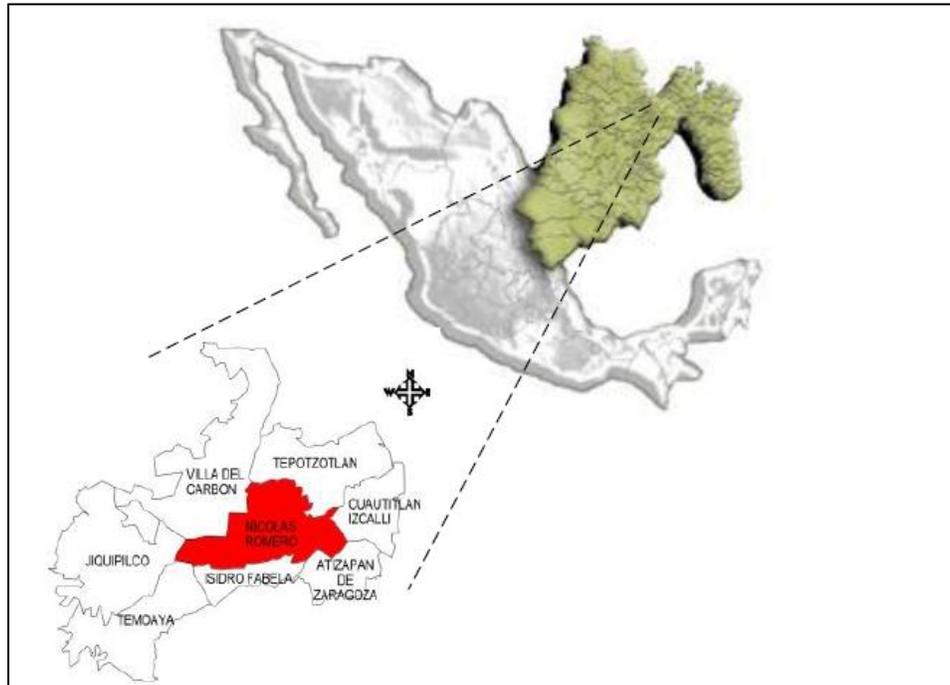


Figura 3: Mapa de ubicación del Municipio de Nicolás Romero

Clima: En el municipio predominan tres tipos de clima, el subgrupo semifrío C (E), el templado subhúmedo C (W^2) y el templado subhúmedo del subgrupo C (W^1).

El clima C (E) se presenta en la parte poniente del municipio, a una altura aproximada de 2,900 m s.n.m, con una temperatura anual de 12°C, y precipitación anual de entre 1,100 y 1,200 mm.

En cuanto al clima C (W^2), éste se presenta en la parte central del municipio, alrededor de los poblados de Cahuacán, San José del Vidrio y parte de San Francisco Magú. Entre 2,400 y 2,900 m s.n.m, la precipitación anual va de 1,000 a 1,100 mm.

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

El clima C (W¹), presenta una precipitación pluvial entre 800 y 900 mm, la temporada de lluvias se presenta en el verano, mientras que el resto del año son escasas. La temperatura media anual es de 16°C, la temperatura mínima es de 5°C y la máxima de 34°C.

Litología: En el municipio se presentan rocas sedimentarias clásticas del terciario: lutitas, areniscas y conglomerados; en el sureste y suroeste dominan las rocas ígneas extrusivas: tobas y brecha volcánica, la parte colindante de Cuautitlán Izcalli se encuentra en los límites del Valle Cuautitlán-Texcoco, constituida en su mayoría por depósitos aluviales recientes.

Existen dos fallas en el municipio, una de ellas se encuentra en el ejido de Cahuacán y la otra en la cañada y los Duraznos, y existen 35 fracturas distribuidas en el municipio.

En el municipio de Nicolás Romero se encuentran los siguientes tipos de suelo: en la parte oeste hasta la porción media del municipio se presentan el Andisol ocrico (To) y húmico (Th), recomendables para el uso forestal. En la parte central del municipio se identifican suelos de tipo Luvisol crómico (Lc), recomendable para el uso forestal, vertisol pélico (Vp) y crómico (Vc), recomendable para la ganadería extensiva, y el Litosol, recomendable para el uso urbano y forestal.

En la parte oriente colindante con la presa de Guadalupe se presenta un suelo de tipo Luvisol asociado a Feozem y Cambisol, recomendable para el uso forestal y la agricultura. En la porción sureste del municipio se encuentra una zona de asociación edáfica de Vertisol asociado a un Cambisol y Litosol.

Aprovechamiento actual del suelo: La superficie total del municipio es de 23, 350.8 has. de las cuales 2,807 (12.02%) has. son para uso urbano, 9,924 (42.49%) has. de uso forestal, 2,722 (11.65%) has. para la actividad pecuaria y 5,434 (23.27%) has. para uso agrícola, donde se cultivan principalmente avena

forrajera, maíz papa, cebada, haba, frijol y trigo. La siguiente gráfica muestra lo anterior.

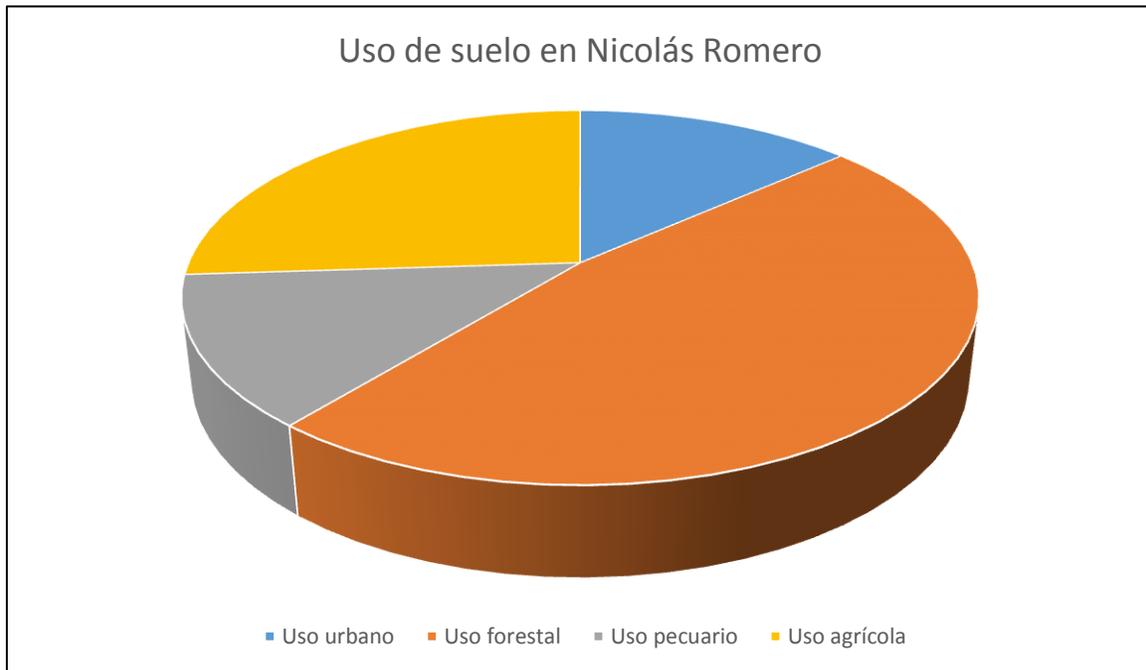


Figura 4: Proporción de uso de suelo en Nicolás Romero

Principales ecosistemas: A pesar del deterioro de la vegetación, aún se encuentran regiones que conservan una diversidad de flora y fauna importante.

Las coníferas y encinos se ubican en los bosques de los poblados de Cahuacán, San Juan de las Tablas y Transfiguración. Otros árboles comunes son oyamel, aile, madroño, trueno, pirúl, eucalipto; entre la fauna del municipio están: liebre, conejo, ardilla, tejón, tlacuache, armadillo y algunas especies de serpientes.

7.5 Obtención y mantenimiento de las plantas *Quercus crassipes* y *Quercus candicans*.

Se monitoreó el crecimiento de 60 plantas de *Quercus crassipes* y de 60 plantas de *Quercus candicans* durante 8 meses (marzo-octubre).

A su llegada las plantas fueron trasplantadas a bolsas de mayor tamaño, utilizando un sustrato compuesto por agrolita y tierra negra en proporción 50:50,

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

dicho sustrato es el utilizado comúnmente para las plantas que se encuentran en viveros.

Las condiciones bajo las que se mantuvieron durante el monitoreo fueron los habituales para plantas de tipo forestal, es decir sustrato de tierra negra y agrolita así como humedad adecuada. Así mismo, las plantas se mantuvieron libres de malezas y plagas. Por otro lado, se mantuvieron bajo riego constante (cada tercer día). Las variables que se consideraron en el monitoreo de las plantas fueron el diámetro y la altura del tallo y la cobertura total. Éstas mediciones se realizaron cada mes desde marzo a octubre.

Es importante mencionar, que a las plantas de las dos especies no se les aplicaron fertilizantes o nutrientes que ayuden a su crecimiento, debido a que el objetivo del monitoreo de crecimiento es que los resultados obtenidos se puedan utilizar para comparar el crecimiento de las mismas especies aplicando biosólidos a los sustratos, con la intención de mejorar el crecimiento.

8. Resultados

8.1 Caracterización física y química

En el cuadro cinco se muestran los resultados del análisis de la muestra 1 y 2, la primera se procesó en el mes de abril, mientras que la segunda fue analizada durante el mes de noviembre.

Cuadro 5: Caracterización física y química de las muestras de lodos (valores promedio).

Prueba realizada	Resultado muestra 1	Interpretación	Resultados muestra 2	Interpretación
Materia orgánica (%)	17.28	Extremadamente rica en MO	70.03+-3.32	Extremadamente rica en MO

pH	6.9	Neutro	8.47+-0.04	Moderadamente alcalino
Densidad aparente Kg/m ³	0.403 +- 0.026	Muy bajo	0.63837	Muy baja
Densidad real Kg/m ³	1.48 +- 0.0385	Muy bajo	0.74+-0.02	Muy baja
Porosidad total (%)	73.3 +- 2.357	Muy alta	91+-0.024	Muy alta
CIC Cmoles/kg ⁻¹ ₁	40.88+- 1.856	Alta	38.68+-4.04	Alta
Calcio intercambiable Cmoles/kg ⁻¹	13.20 +- 3.19	Bajo contenido de Calcio	5.69+-1.4	Bajo
Magnesio intercambiable Cmoles/kg ⁻¹	0	Bajo contenido de Magnesio	3.62+-0.46	Bajo
Retención de humedad (%)	47.58	Muy bueno	216.7+-59.76	Muy bueno
Fosforo (ppm)	45.13	Extremadamente rico	2.53+-4.7x10 ⁻³	Bajo
Potasio Cmoles/kg ⁻¹	1.99	Muy pobre	14.95+-1.16	Extremadamente rico
Nitrógeno (%)	1.46	Medianamente rico	7.43+-0.29	Extremadamente rico
Sodio %	ND		68.29+-4.04	

Los resultados anteriores son un indicativo de que los biosólidos podrían ser un elemento importante para la adición de nutrientes al suelo, pues presentan una alta cantidad de materia orgánica, clasificándose como extremadamente ricos, en ambas muestras, de acuerdo al criterio utilizado por Muñoz *et al.*, (2012), por otra parte el pH de éste material varió en cada muestra pues la primera se encuentra en el rango en el que la mayoría de los nutrientes pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas, mientras que la segunda resulto ser alcalino, lo que dificulta el transito de nutrientes al interior de la raíz. Otra característica favorable para la absorción de nutrientes es la alta capacidad de intercambio catiónico que presenta, pues los resultados indican que los biosólidos son un material favorable para facilitar la absorción de nutrientes. Otro factor importante para mejorar el funcionamiento físico de los suelos es la porosidad, pues es en ese espacio en donde circulan gases como el oxígeno y además ayudan a retener agua. Por otro lado el contenido de fosforo y de potasio cambiaron en ambas muestras de manera significativa pues el fosforo paso de ser extremadamente rico en la primer muestra a bajo en la segunda, mientras que el potasio resulto muy pobre en la primera siendo extremadamente rico en la segunda.

Ambas muestras presentan una gran cantidad de materia orgánica, así como características físicas favorables para ser usados como mejoradores de suelos en sustratos forestales y de viveros.

8.2 Contenido de metales pesados

El resultado de las pruebas para determinar metales pesados en ambas muestras reflejan niveles muy bajos de estos elementos, tomando como referencia los límites que establece la NOM-004 para utilizarlos con fines agrícolas o en la producción de plantas en vivero. Estos resultados se muestran en el cuadro seis.

Cuadro 6: Contenido de metales pesados en las muestras, comparándolos con los límites establecidos en la NOM-004.

Elemento	Contenido m/L	Contenido m/L muestra 2	Límite máximo permisible m/L	
	muestra 1		Excelentes	Buenos
Cobre	9.303	1.128	1500	4300
Cromo	0.173	34.8	1200	3000
Zinc	0.289	6.56	2800	7500
Níquel	1.251	0.641	420	420
Plomo	6.399	0.259	300	840
Mercurio	6.754	1.025	17	57
Cadmio	0	39	85	
Aluminio	ND	1.02		
Hierro	ND	13.95		

El resultado de las pruebas de metales pesados en la segunda muestra, al igual que la primera, refleja niveles muy bajos de estos elementos, siendo el cobre y el plomo los más altos en la primera muestra, mientras que para la segunda son el hierro y zinc.

La categoría en la que se clasifican estos lodos según su contenido de metales pesados es excelente, calificándolos para ser usados en el ámbito de producción agrícola y de producción en viveros.

Adicionalmente, a la segunda muestra se le determinaron los siguientes metales: Cadmio, Aluminio y Hierro por considerarse elementos contaminantes en

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

aguas y suelos. Los resultados indican que no se encontró cadmio, mientras que si se encontró aluminio y hierro aunque estos elementos no se encuentran considerados por la NOM-004.

8.3 Contenido bacteriológico

La prueba bacteriológica realizada fue la de coliformes fecales, cuyo resultado se muestra en el cuadro siete, se puede apreciar que el número de organismos por mililitros se encuentra dentro del permitido para clasificar a los biosólidos en la clase C.

Cuadro 7: Contenido de bacterias coliformes fecales en los lodos, comparándolos con los límites establecidos en la NOM-004.

Organismo determinado	NMP por 100ml	Límite inferior	Límite superior	Límite máximo permisible		
				Clase A	Clase B	Clase C
Bacterias coliformes fecales	1600	640	5800	Menor de 1000	Menor de 1000	Menor de 2,000,000

La prueba bacteriológica no se realizó en la muestra dos debido a que no se transportó en las condiciones adecuadas para su análisis, sin embargo es de suponer que los resultados fueran muy similares a los obtenidos en la muestra uno ya que los biosólidos proceden de la misma planta.

8.4 Monitoreo del crecimiento de *Quercus crassipes*

Se monitoreo el crecimiento de 60 plantas de *Quercus crassipes* obtenidas de la germinación de bellotas en vivero, lo que se ve reflejado en la gráfica que a

continuación se presenta, mostrando el promedio de alturas en distintas temporadas.

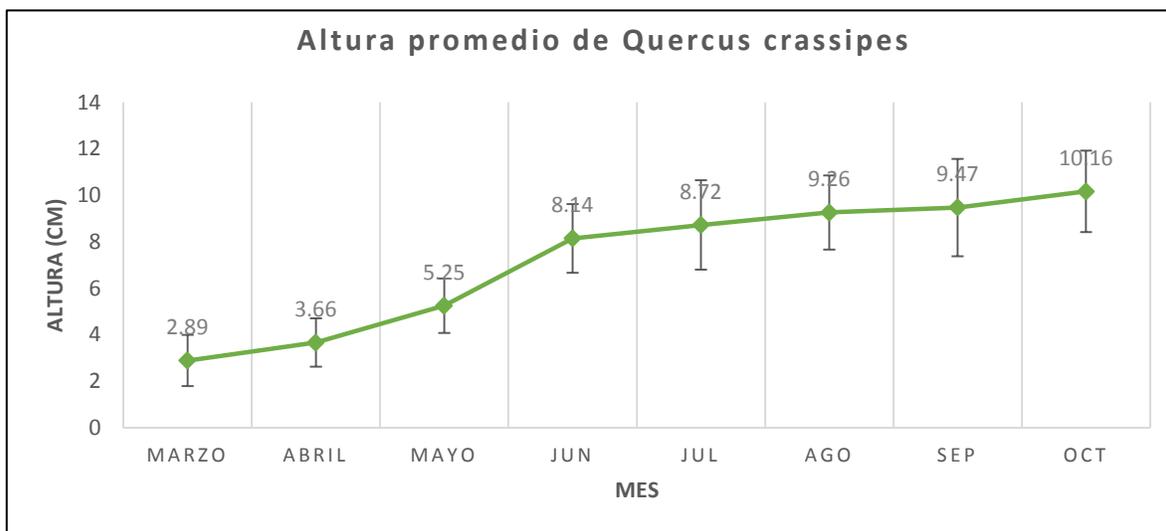


Figura 5: Crecimiento promedio de *Quercus crassipes* durante ocho meses

En marzo se realizó la primera medición de las plantas, la gráfica muestra que tuvieron un mayor crecimiento en los meses de mayo a julio, mientras que después de julio el crecimiento fue menor, en octubre presentaron una altura promedio de 10cm.

De igual manera se midió el crecimiento promedio de la cobertura total de *Quercus crassipes* durante los 8 meses.

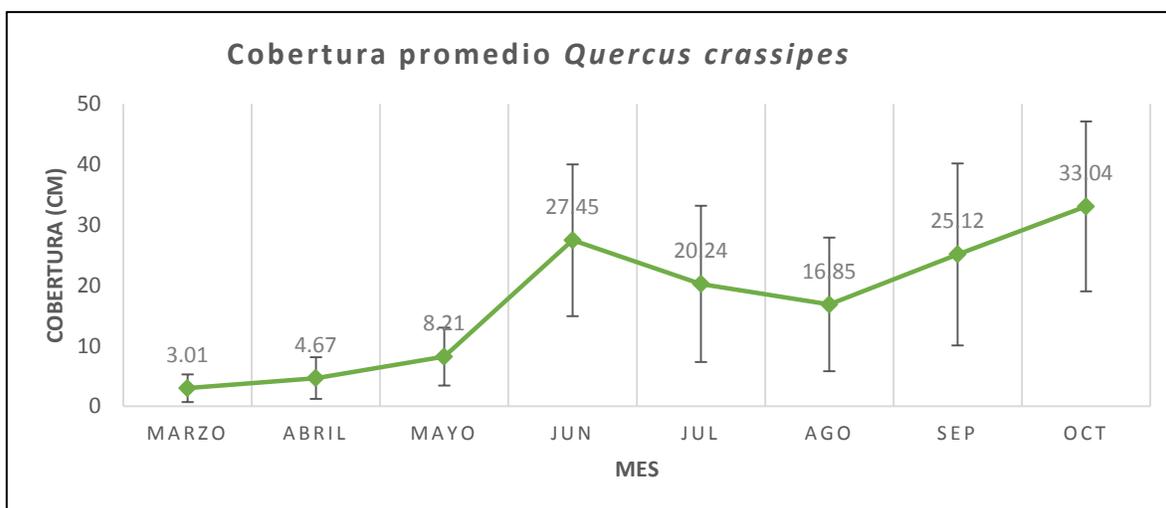


Figura 6: Coberturas promedio de los *Quercus crassipes*

En esta gráfica se observa el crecimiento de la cobertura total promedio de las plantas. La cobertura en marzo, abril y mayo fue considerablemente menor a la que se tuvo en junio, sin embargo comenzó a reducirse los siguientes meses alcanzando un promedio de 16cm² en agosto, a partir de entonces se incrementó hasta que en octubre presentaron el mayor promedio de cobertura.

El diámetro no presentó variaciones significativas a lo largo de los ocho meses; fue en los meses de mayo y junio cuando hubo un ligero aumento.

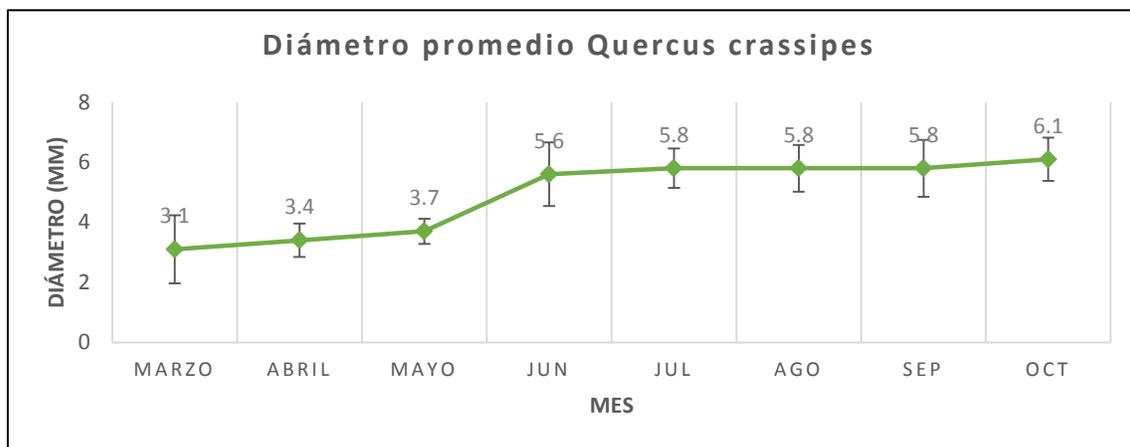


Figura 7: Diámetro promedio de *Quercus crassipes*

8.5 Monitoreo del crecimiento de *Quercus candicans*.

Las plantas se obtuvieron del invernadero de Iztacala con una talla promedio de 24cm de altura, haciéndose el primer registro de crecimiento en marzo. A continuación se presentan los resultados de la altura.

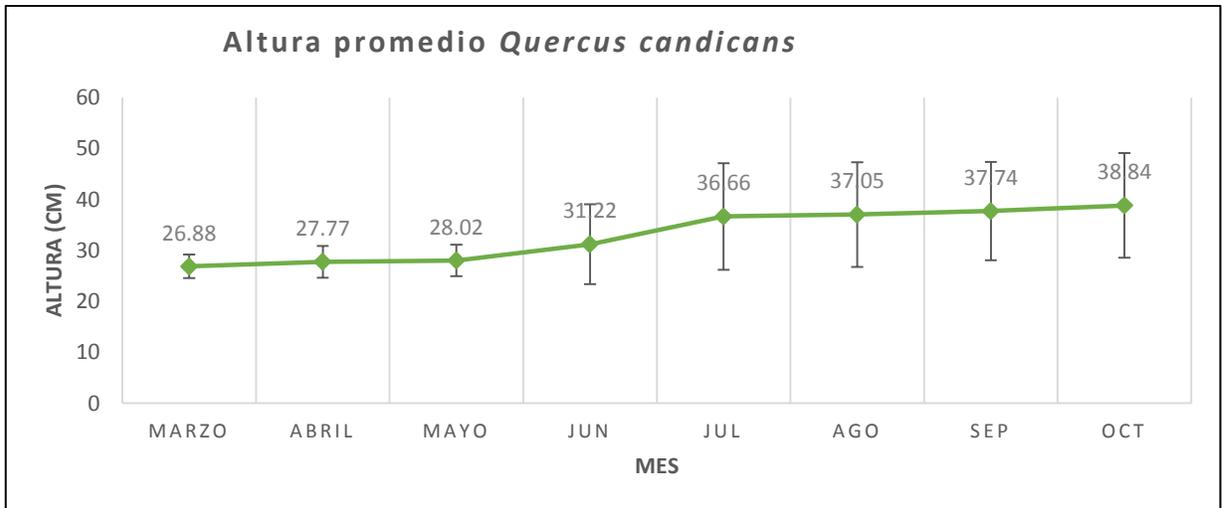


Figura 8: Crecimiento promedio de *Quercus candicans*

El crecimiento de los árboles ha sido significativo a lo largo de los ocho meses de monitoreo, el mayor crecimiento se registró durante el mes de junio, con una altura promedio de 31.22cm; en la medición de julio alcanzaron los 36.66cm.

El monitoreo de la altura muestra que esta especie ha tenido una respuesta favorable a las condiciones ambientales que se encuentran en el invernadero Almaraz y al manejo que se les ha dado, pues han presentado un crecimiento constante y significativo desde su llegada al invernadero.

Igualmente se registró la cobertura total de las plantas, obteniéndose los resultados que se muestran a continuación

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

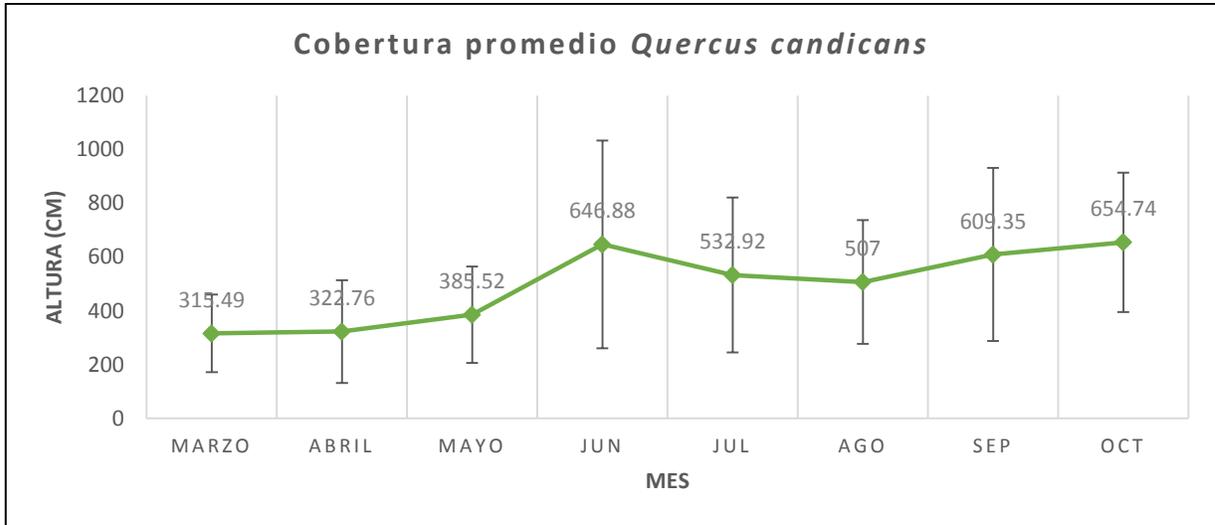


Figura 9: Cobertura promedio de las plantas por mes

Es importante mencionar que las coberturas son cambiantes y reaccionan a las condiciones ambientales, es por ello que se aprecian cambios tan grandes en la medida registrada en el mes de mayo y en la de junio. A partir de entonces se mantienen relativamente constantes. La variación obedece a la caída y al desarrollo de las hojas.

Por último se presenta la gráfica de datos promedio correspondiente al diámetro de las plantas.

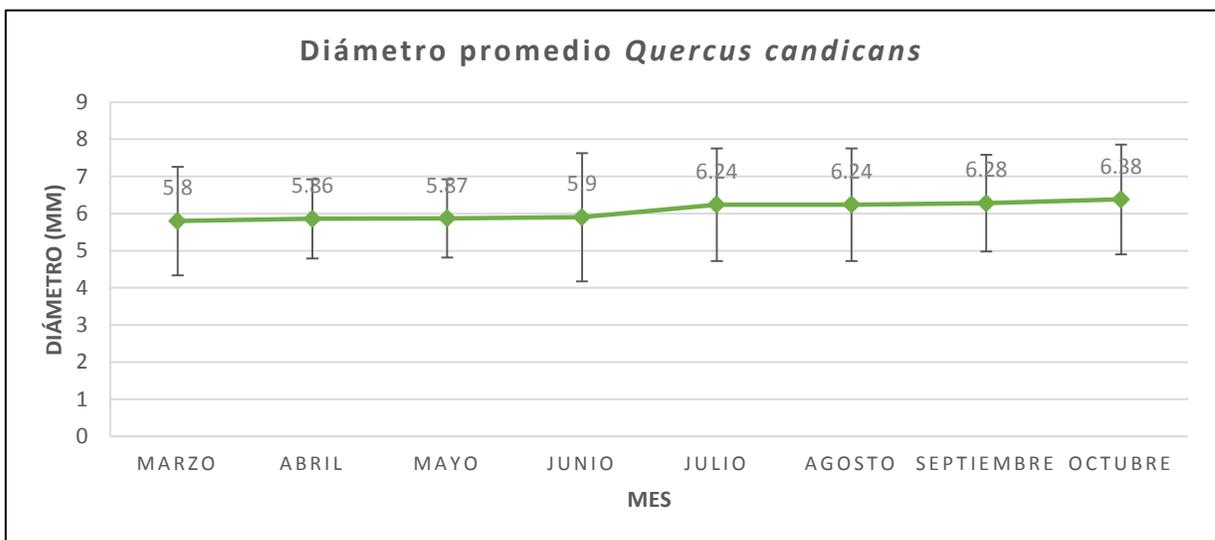


Figura 10: Diámetro promedio de *Quercus crandicans*

Al igual que los diámetros de *Quercus crassipes*, los de *Quercus candicans* se mantiene en crecimiento primario por lo cual no se notan cambios significativos en los diámetros de esta especie. Los resultados se pueden ver de mejor manera en la siguiente figura.

Como se puede ver, los diámetros durante el monitoreo son muy similares, notándose un ligero incremento en los meses de junio y julio; lo anterior debido a la predominancia de crecimiento primario.

9. Discusión

9.1 Caracterización física y química

Dentro de las características más importantes para los sustratos están las condiciones físicas como porosidad ya que de ella dependen la circulación de oxígeno y agua en el suelo. Las pruebas que se realizaron fueron densidad aparente y densidad real, obteniéndose resultados bajos en ambas pruebas y para ambas muestras. Con los datos anteriores se calculó la porosidad, la cual tiene un valor de 73.3% y de 91% para la muestra 1 y 2 respectivamente, lo cual indica que la porosidad del biosólido es alta, permitiendo el ingreso y retenciones de oxígeno, así como de agua y de nutrientes esenciales para la planta.

Es importante resaltar la alta capacidad de retención de humedad de ambas muestras, ya que se encontraron valores de 47.58% y 216.7% para la primera y segunda muestra respectivamente. Este resultado concuerda con lo dicho por (Fernández y Paz, 1998) quien menciona que el grado de agua útil para la planta tiende a aumentar conforme lo hace el contenido de materia orgánica.

El contenido de materia orgánica es alto en ambas muestras lo que concuerda con los biosólidos analizados por Campos *et al.*, (2009), quienes mencionan que los lodos de una planta de tratamiento de lodos residuales en Toluca contienen un 31% de materia orgánica, mientras que Utria *et al.*, (2006) encontraron que los biosólidos de una planta de La Habana, Cuba contienen 42% de materia orgánica. Diversos autores han mencionado que los biosólidos son

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

ricos en materia orgánica debido a que la mayoría de los materiales que procesan son de origen orgánico provenientes de residuos del hogar (Rámila y Rojas , 2008; Utria *et al.*, 2006, Uribe *et al.*, 1993)

Por otro lado los valores del pH de las muestras analizadas son contrastantes, pues las mediciones arrojaron pH de 6.9 y 8.47 para la primera y segunda muestra respectivamente. El resultado anterior es similar a los encontrados por Campos *et al.*, (2009) y Utria *et al.*, (2006) ya que reportan valores de pH de 9.77 y 7.12 respectivamente, lo que indica que estos materiales son variables en sus características.

Es importante mencionar que la materia orgánica juega un papel importante en el nivel de pH del suelo, pues como lo menciona Chirinos *et al.*, (2013), la adición de materia orgánica al suelo tiende a acidificar el pH, sin embargo es posible que en los biosólidos la materia orgánica no se encuentre totalmente degradada por lo cual se encuentra el valor alcalino de la segunda muestra.

Los biosólidos obtenidos del proyecto de la planta de tratamiento de RSO muestran una CIC alta, lo mismo que reporta Campos *et al.*, (2009) quienes encuentran valores altos para la muestra de biosólido que analizaron. Estos valores concuerdan con los resultados obtenidos de materia orgánica así como con los valores de Calcio, Magnesio, Potasio entre otros ya que estos son los iones intercambiables más comunes.

Como se muestra en los resultados, los biosólidos analizados son ricos en nitrógeno total, lo cual es coincidente con lo que reporta Utria *et al.*, (2006), quienes también encontraron niveles altos de nitrógeno en la muestra que analizaron, lo cual es debido, según el mismo autor, a que la mayoría de los materiales procesados provienen de residuos domésticos.

Debido a que se propone el uso de los biosólidos como mejoradores de sustratos forestales para favorecer el crecimiento de *Quercus crassipes* y *Quercus*

candicans es importante comparar las características de los biosólidos con las características de suelos en donde crecen naturalmente los encinos.

Luna (2008) reporta que los suelos de un bosque de encinos tienen altos grados de densidad aparente y real y por lo tanto también de porosidad total, mientras que el contenido de materia orgánica es medianamente rico, además reporta que los valores de pH de estos suelos va de entre 5.42 y 6.41, lo cual contrasta con los biosólidos analizados. Rubio (2009) analizó los suelos de Chapa de Mota para reintroducir *Quercus candicans*, encontrando que son altamente porosos, van de moderadamente pobres a ricos en materia orgánica y que tienen pH fuertemente ácido.

Los biosólidos obtenidos muestran una CIC alta lo que es favorable para el crecimiento de las plantas, mientras que Luna (2008) reporta que las muestras que analizó tienen valores bajos y medios, Rubio señala que la CIC de la zona de Chapa de Mota es baja.

Rubio (2009), analizó las bases intercambiables Ca, Mg y K, encontrando que el Mg es el más abundante, mientras que el Ca se encuentra en cantidades medias en la mayoría de las zonas, siendo el K el que se encuentra en cantidades muy pobres.

Como se puede observar los valores que reportan ambas autoras son similares a los encontrados en las muestras de éste trabajo por lo cual es de suponer que estos materiales pueden ser empleados como mejoradores de suelos forestales para especies de encino.

Los biosólidos pueden resultar benéficos debido a que son extremadamente ricos en MO ya que como lo menciona Mustin (1987) la materia orgánica representa del 95 al 99 % del total del peso seco de los seres vivos, pero su presencia en los suelos suele ser escasa y son contadas las excepciones en las que supera el 2 % (Navarro *et al.*, 1995).

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

La adición de materia orgánica a un sustrato puede mejorar sus características físicas, como lo señalan Ingelmo y Cuadrado (1986), un suelo con mayor cantidad de materia orgánica presenta una mejor estructura y aumento de la presencia de espacio poroso (abierto por la mesofauna edáfica).

9.2 Contenido de metales pesados

Los biosólidos no presentan niveles altos de metales pesados, encontrándose por debajo de los límites establecidos por la NOM-004-SEMARNAT-2002. De acuerdo a lo anterior los biosólidos son catalogados en la categoría C, la cual está aprobada para ser utilizado como abono orgánico en la producción agrícola y forestal.

Los resultados anteriores concuerdan con lo que reportan Utría *et al.*, (2006), quienes reportan que el contenido de metales pesados de los biosólidos que analizaron no superan los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-004, siendo el Fe el metal pesado encontrado en mayor concentración. Por otra parte Flores *et al.*, (2009) analizó el contenido de metales pesados de una planta de tratamiento en Puebla encontrando que el contenido de metales pesados no rebase los límites establecidos por la NOM-004. Los elementos con mayor concentración fueron Cu, Pb y Zn.

Sin embargo, es importante que se realicen periódicamente estudios sobre el contenido de metales pesados, pues de ser sobrepasados los límites permitidos se pueden convertir en un problema de salud no solo para las plantas sino también para las personas que se encuentren en contacto directo o indirecto con ellos.

9.3 Contenido bacteriológico

La prueba realizada fue la de coliformes fecales, encontrándose que los biosólidos no representan un peligro para la salud pues la concentración de estos organismos en los biosólidos no supera los límites máximos establecidos por la NOM-004.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la NOM-004 clasifica a éstos biosólidos en la clase C, la cual permite su uso con fines de producción agrícola y forestal así como para mejoramiento de suelo, por lo cual el contenido de coliformes fecales no interfiere en el uso de este producto para que se usen como mejoradores de suelo o como parte de sustratos en vivero.

Se recomienda que se aplique un proceso de estabilización biológica a los biosólidos, favoreciendo la producción de especies antagónicas a las parásitas y para evitar malos olores.

9.4 Monitoreo del crecimiento *Quercus crassipes*

Los resultados muestran que las plantas de *Quercus crassipes* alcanzaron una altura máxima promedio de 10.16cm, teniendo su tasa más alta de crecimiento en el periodo comprendido entre mayo y junio, cuando pasaron de una talla de 5.45cm a 8.14cm. A partir de ese mes el crecimiento fue constante pero en menor medida. Este crecimiento es bajo si se compara con el que reporta Flores (2007), quien monitoreo el crecimiento de *Quercus rugosa* indicando que para el tercer mes tenían una altura promedio de 12.2cm, y para el sexto mes de monitoreo la altura fue de 15 cm.

Por otra parte el diámetro promedio alcanzado por las plantas de *Quercus crassipes* después de ocho meses de monitoreo es de 6.1mm, mientras que después de 6 meses de mediciones por parte de Flores (2007), las plantas de *Quercus rugosa* alcanzaron una media de 2mm, lo cual difiere con las plantas de *Quercus crassipes*; sin embargo no debe olvidarse que se trata de especies distintas.

Los resultados de la cobertura total presentaron variaciones importantes, debido a que estos encinos son caducifolios y a que su fenología es cambiante de acuerdo a las estaciones del año. La medida más grande que se obtuvo fue en el mes de octubre (33.04 cm²).

9.5 Monitoreo del crecimiento de *Quercus candicans*

La primera medición de las plantas se realizó en el mes de marzo cuando tenían una altura promedio de 26cm.

El mayor crecimiento se observó en los meses de junio a julio cuando de una altura de 31cm pasaron a 37cm. En los meses siguientes el crecimiento en altura fue menor llegando a alcanzar un promedio de 38.84cm en el mes de octubre.

En cuanto a la cobertura, la primera medición registró que las plantas tenían 315.94cm², incrementándose en junio, cuando alcanzaron en promedio 646.88cm², en julio y agosto la medida disminuyó debido a la caída de las hojas.

Las medidas del diámetro promedio presentaron poca variación. Se observó que en el mes de marzo tuvieron un valor promedio de 5.809mm y en octubre fue de 6.280mm. Es decir, que en el lapso de los ocho meses los diámetros crecieron aproximadamente 0.3mm.

Las tablas de crecimiento registrado en las dos especies (*Quercus crassipes* y *Quercus candicans*) se encuentran en el anexo 2.

9.6 Diseño de rizotrones

Se realizó el diseño de rizotrones como material para el estudio de la raíz en especies forestales. Los materiales propuestos, así como los costos aproximados se encuentran en el anexo 1, en el cual se puede ver también el diseño, así como las instrucciones de construcción de los mismos.

Es importante mencionar que las medidas que se proponen fueron pensando en la utilización de los rizotrones para el estudio de especies forestales, por lo cual el diseño puede no funcionar de la misma manera para otras especies. Es por ello que se recomienda estudiar las características de la especie a trabajar

a fin de realizar los ajustes pertinentes al diseño propuesto y considerar cambios en el costo.

10. Conclusiones

Los biosólidos estudiados pueden ser buenos mejoradores de suelo, aportando grandes cantidades de materia orgánica, así como de minerales esenciales para el desarrollo de las plantas.

Además de nutrientes, los biosólidos pueden aportar características físicas que ayuden a mejorar la estructura del suelo, beneficiando la circulación de oxígeno así como la retención de agua.

Los biosólidos no presentan un riesgo sanitario, pues se encontró que tanto los niveles de coliformes fecales así como los de metales pesados son bajos; sin embargo, se recomienda realizar ensayos periódicamente para asegurarse que estos elementos no aumenten su concentración.

Es importante estabilizar los biosólidos por medios físicos y/o biológicos para mejorar su calidad y poder obtener un mejor rendimiento de sus propiedades.

La información obtenida sobre el crecimiento de los encinos *Quercus candicans* y *Quercus crassipes* será útil para continuar con proyectos de diseño de sustratos con biosólidos, pues permitirá comparar la información de crecimiento en sustratos distintos, valorando la calidad de éstos.

11. Referencias

- Abollino., O., Aceto. M., Malandrino. M., Mentaste. E., Sarzanini. C. y Barberis. R. 2002. Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. Environmental Pollution, 119: 177.
- Anderson. M. 1959. Fertilizing characteristics of sewage sludge. Sewage and Industrial Wastes. 31 (6): 678-682.

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

- Angelova. V., Ivanova. R., Delibaltova., V. and Ivanov, K. 2004. Bioaccumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp). *Industrial Crops and Products*, 19: 197–205
- Aparicio., Cruz., Jiménez., Héctor., Alba., Landa., Juan. 1999. Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Pinus patula* Sch. et Cham., *Pinus montezumae* Lamb. Y *Pinus pseudostrabus* Lindl. En condiciones de vivero .*Foresta Veracruzana*, .31-34.
- Arcos. J. 2009. Crecimiento de *Quercus crassipes* en diferentes mezclas de sustratos forestales. Tesis. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM.
- Arriagada. F. 2007. Estudio de la factibilidad técnica, prefactibilidad económica y ambiental de la incineración de biosólidos de plantas de tratamiento de Aguas servidas. Memoria para título de Ingeniero en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente. Santiago, Universidad Tecnológica Metropolitana, Facultad de Ciencias de la Construcción y Ordenamiento Territorial, 154p.
- Asano. T., y Levine. D. 1998. Wastewater reclamation, recycling and reuse: an introduction. In wastewater reclamation and reuse. Takashi Asano (editor), Technomic Publishing. Lancaster. 1528 pags.
- Ayres. R., Y Wescot. D. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO Riego y Drenaje, N° 29. Roma. p 8-101.
- Cabrera. R. 1995. Fundamentals of Container Media Management, part. 1. Physicalproperties. RutgersCooperativeExtensionFactsheets No. 050. 4 p.
- Canet. R., Poma. E., Estela.M.Tarazona. E.1996. Efecto de los lodos de depuradora en la producción de hortalizas y las propiedades químicas del suelo. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* 11: 83-99.
- Castañeda. A., Flores. H., Velazco. R., Martínez. M. 2009. Efectos de la aplicación de lodos orgánicos generados en el tratamiento de las aguas residuales

- domésticas sobre el suelo y la productividad de maíz forrajero en los Altos de Jalisco, México. Retos de la investigación del agua en México. Centro Universitario de los Altos. Universidad de Guadalajara. 1-11 pág.
- Chaney. R., Munns. J., y Cathey. H. 1980. Effectiveness of digested sewage sludge compost in supplying nutrients for soilless potting media. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105 (4):485-492.
- 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.
- Chirinos. E, Campos. Y, Mogollon, P. 2013. Relación entre la materia orgánica y las propiedades biológicas de un suelo de la llanura de Coro, bajo los efectos de enmiendas orgánicas. Universidad Nacional Experimental.
- Clavijo, J. 1989. Análisis de crecimiento en malezas. Revista Comalfi: 15: 12-16.
- 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, Conagua, México.
- Compagnoni. L., potzolu. G. 2001. Cría Moderna de las Lombrices y Utilización Rentable del Humus. Editorial de Vecchi. Barcelona, España. 127 p.
- Corburn.B., Grassl. S., Finlay.B. 2007. Salmonella the host and disease: A brief review. Cell Biol. 8: 112-118.
- De la paz. 1982. Estructura Anatómica de Cinco Especies del Género *Quercus*. Bol. Técn. Inst. Nac. Invest. Forest., México, No. 88.
- Ellermeier. C., & Slauch. J. The genus *Salmonella* in: Prokaryotes 2006: 6; 123-158.

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

- Fernández. M, Paz. A, (1998). Influencia del contenido de materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo. Facultad de Ciencias. Universidad de A. Coruña.
- Fernández. R. 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.
- Figueroa. B., y Olvera. M. 2000. Dinámica de la composición de especies en bosques de *Quercus crassipes* H. en B. en cerro grande, Sierra de Manantlán, México. *Agrociencia*. 34(1): 91-98.
- Flores, P. 2007. Variación morfológica del Encino *Quercus rugosa* Neé (Fagaceae). Tesis Lic. Biol. FES-Iztacala, UNAM, 92 p.
- Flores. E., Campante, M., Cruz. Y., FERNÁNDEZ. N. (2009). CONCENTRACIÓN TOTAL Y ESPECIACIÓN DE METALES PESADOS EN BIOSÓLIDOS DE ORIGEN URBANO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Sin mes, 15-22.
- Fresquez. P., Francis. E.,y Dennis. L. 1990. Sewage sludge effects on soil and plant quality in a degraded semiarid grassland. *J. Environ. Qual.* 19:324-329.
- Garden, F.P., R.B. Pearce and R.L. Mitchell. 1985. *Physiology of crop plants*. Iowa State University Press, USA. 325 p
- Hernández. G., Sánchez. L., Carmona. Th., Pineda. M., y Cuevas. R. 2000. Efecto de la ganadería extensiva sobre la regeneración arbórea de los bosques de la Sierra de Manantlán. *Madera y Bosques*. 6(2):13-28.
- Huertos. E, Baena. A.,. 2008. Contaminantes del suelo por metales pesados. *Revista de la sociedad española de mineralogía*. Facultad de Química. Universidad de Sevilla, España. Vol 10: 48-60.
- Ingelmo SF, Cuadrado SS. *El agua y el medio físico del Suelo*. Cent. Edaf. Biol. Apli. Salamanca, 1986.101

- INIFAP. 2002. Sustratos alternativos para la producción de Pinus ayacahuite en vivero. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 10p.
- Jiménez. B., Chávez. A., y Castro. V. 2002. Riego agrícola con agua residual y sus implicaciones en la salud Caso práctico. Memorias del XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México.
- Jordano. P., Zamora. R., Marañón. T., y Arroyo. J. 2002. Claves ecológicas para la restauración del bosque mediterráneo. Aspectos demográficos, ecofisiológicos y genéticos. Ecosistemas. 2002/1 (URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas>).
- Kiss. G., y Encarnación. G. 2012. Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. Gaceta Ecológica. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe. Instituto Nacional de Ecología. Vol. (79). 2006. pp. 39-51
- Koneman, 2012. Diagnóstico microbiológico. Buenos Aires: Panamericana. 207 pp.
- Linder., E. 1995. Toxicología de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza España. p53-65.
- “Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final”. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Diario Oficial de la Federación, 15 de agosto de 2003.
- Lovell., B.1996. Aplicación en suelos de biosólidos de drenaje para la producción de cosechas. Factsheet. OrdenNúm. 95-069. Notario 8 p.
- Lucho. C., Prieto.F., Del Razo. L., Rodríguez.R., y Poggi., H. 2005. Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. Agriculture, Ecosystems and Environment, 108: 57–71.

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

- Luna, M. 2008. Aspectos ecológicos del encino *Quercus frutex* Trel. (Fagaceae) en tres localidades del Estado de México. Tesis Lic. Biol. FES-Iztacala, UNAM, 138 p.
- Lynch, J. 1995. Root Architecture and Plant Productivity. *Plant Physiology*: 7-13
- Mahamud. L., Gutiérrez. L.; Sastre. A. 1996. Biosólidos generados en la depuración de aguas (I): planteamiento del problema. *Ingeniería del agua*. 3(2). 47-62.
- Mahler. R. 2003. General overview of nutrition for field and container crops. In: Riley, L. E.; Dumroese, R. K.; Landis, T. D. Tech Coords. National Proceeding: Forest and Conservation Nursery Associations. 2003 June 9-12; Coeur d'Alene, ID; and 2003 July 14-17; Springfield, IL. Proc. RMRS-P-33.
- Mead. P., Slutsker. L., Dietz. V., McCaig. L., Bresee. J., Shapiro. C., Griffin. P., Tauxe. R. 1999. Food-Related illness and death in the United States. *Emerg Infect Dis*. Vol:5.
- Muñoz. I., López. G., Soler. A., Hernández. M. 2012. Edafología. Manual de Métodos de Análisis de suelos. UNAM-Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Tlalnepantla, Edo. De México.
- Mur. P., 2003. Patrones de distribución geográfica de especies del genero *Quercus* y de algunos de sus insectos formadores de agallas en el estado de Michoacán, México. Tesis de Maestría. Fac. Cienc; UNAM. México. 58 pp.
- MUSTIN, M., 1987. Le compost. Ed. François Dubusc. París, 954 p.
- NAVARRO P, J., MORAL H, GÓMEZ L Y MATAIX BE. 1995. Residuos orgánicos y agricultura. Universidad de Alicante. Servicio de Publicaciones. Alicante. España, 108 pp.
- Nixon. K. 1993. Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectional names. *Ann. Sci. For*: 50: 25-34.

- Olivo.B., y Buduba. 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.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 1984. Terrestrial Plants: Growth Test. Guideline for Testing of Chemicals N°2008. OECD Publication Service, Paris.
- Ortega, T. E. 1981. Química de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. México. p 208-238.
- Parra. M., Durango. J., Mattar. S., 2002. Microbiología, patogénesis, epidemiología, clínica y Diagnóstico de las infecciones producidas por *Salmonella*. Revista MVZ Cordoba, Colombia.
- Peña. J., Grageda. O., Nuñez. J. 2001. Manejo de los Fertilizantes Nitrogenados en México: Uso de las Técnicas Isotópicas (¹⁵N). *Terra* 20: 51-56.
- Pineda. P, Castillo. G., Morales. C, Colinas. L., Valdez. A., y Aviatia. G. 2008. Efluentes y sustratos en el desarrollo de Nochebuena. *Revista de Chapingo Serie Horticultura* 14(2): 131-137.
- 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.
- Raven, Evert, Eichhorn. 1992. Biología de las plantas. Editorial Reverte. Barcelona, España.
- Reyes. J., Aldrete. A., Cetina. V., López. 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.
- Rodríguez. A., 2002. Principales características y diagnóstico de los grupos patógenos de *Escherichia coli*. *Salud publica Mex*. Vol. 44: 464-475.

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

- Romero., S., Rojas. C., y Aguilar. M. 2002. El género *Quercus* (*Fagaceae*) en el Estado de México, *Annals. Missouri Botanical Garden*. 89: 551-593.
- Rubio, L. 2009. Reintroducción experimental de *Quercus candicans* Neé (*Fagaceae*) en Chapa de Mota, Estado de México. Tesis de Maestría. FES-Iztacala, UNAM, 112 p.
- Rzedowski. J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México. 478 pp.
- Saavedra., A., Errasquin. L., Pagnan. L., y Alladio. R. 2012. Efecto de la aplicación de efluentes de como biofertilizante sobre el rendimiento del cultivo de maíz, AerJustiniano Pose. 7pp.
- Salvador., C., Jiménez. P., y Saña V. 1993. 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.
- Taiz. L., Zeiger. E. 2006. *Fisiología vegetal*. Castellón. Universitat Jaume.
- Tesi., R., Nencini. A., Sistito. E. 1994. Un fluoindustriale per il substrato dellecolture in vivaio. *ColtureProtette*. 1:57-63.
- Utria., E., Reynaldo. I.; Cabrera. A., Morales. D., Morúa. A., Álvarez.N. 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. M., Cabrera, A., Morales, D., Goffe. S. 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 (*Solanum lycopersicum* Mill). *Cultivos Tropicales*, Sin mes, 5-11.
- Uribe. H., Orozco., G., Chávez., N., Espino., M. 1993. Uso de Biosólidos para incrementar la productividad en Alfalfa. *Campo Experimental Delicias*. Chihuahua, México. 1-8 pág.

- Valdés. F. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreo, Coahuila, México. Texas Center for Policy Studies. Ciudadanía Lagunera por los Derechos Humanos, A.C.
- Valenzuela. O, Gallardo. C, Alorda. M, García. A, y Díaz. D. 2005. Noreste de Entre Ríos. Características de los sustratos utilizados por los viveros forestales. 55-57 pp.
- VIFINEX. 2002. Producción de sustratos para viveros. República de China, OIRSA, 47 pp.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1989. Protocols for short term toxicity screening of hazardous waste sites. USEPA 600/3-88/029, Corvallis.
- Wang W. 1987. Root elongation method for toxicity testing of organic and inorganic pollutants. *Environmental Toxicology and Chemistry* 6: 4009-414.
- Wheeler, E. 1999. Tree Growth. <http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/class/wps/syl/treegr.htm>
- Salisbury, F. B. y Ross, C. W. 1992. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Interamericano, México.

12. Anexos

12.1 Propuesta de diseño de rizotrones

El crecimiento de la raíz, como ya se mencionó, es de suma importancia ya que en gran medida el buen crecimiento y desarrollo de la planta es gracias a la raíz, al proporcionarle agua, nutrientes y anclaje.

Es por esto que se deben tomar medidas para favorecer el adecuado crecimiento de la raíz, ya que al aplicar cualquier tipo de sustancia al suelo destinada a mejorar sus condiciones físicas, químicas o a proporcionar nutrientes para la planta, la raíz es el primer órgano afectado. Por lo anterior se recomienda conocer el efecto del sustrato o fertilizante sobre su crecimiento.

Tomando en cuenta la importancia del órgano radical, a continuación se propone un modelo de rizotrón, con el cual se puede observar el crecimiento de la raíz e investigar la respuesta que tiene al aplicar ciertas sustancias al suelo.

El presente modelo y sus materiales están diseñados para estudiar el crecimiento de la raíz de árboles forestales, por lo cual las dimensiones del rizotrón se han adaptado a tales propósitos; sin embargo, los materiales y dimensiones pueden sustituirse dependiendo de los intereses de cada investigador, así como la magnitud del proyecto.

El material propuesto está planeado para construir 10 rizotrones de 61x61 cm, a continuación se presentan los materiales que se utilizarán, así como un costo aproximado. Es importante mencionar que la cotización se realizó en el lugar señalado durante el año 2014.

Cuadro 8: Cotización aproximada de los materiales para 10 rizotrones.

MATERIAL	ESPECIFICACIONES	PIEZAS	PRECIO UNITARIO	Lugar	Dirección	SUBTOTAL
Perfil de aluminio canal	2 X ½ Pulgadas Largo: 3.66 m	5 piezas	\$162.14	Metales Días	Av. Dr. Gustavo No. 224 Col. Bellavista Tlalnepantla Estado de México C.P 54080 Tel: 53 60 35 45	\$810.70
Lamina de aluminio	Calibre 18 1.22 X 3.05 m	1 pieza	\$953.18	Metales Días	Av. Dr. Gustavo No. 224 Col. Bellavista Tlalnepantla Estado de México C.P 54080 Tel: 5360 3545	\$953.18
Solera de acero	3/16 X ½ Largo: 6 m	2 Piezas	\$33	Aceros Corman	Carretera Lago de Guadalupe 18 S/N Km 1, San Miguel Xochimanga, Ciudad Lopez Mateos, C.P 52927, Mex. Tel: (55) 5305 5594	\$66
Tornillo hexagonal	¼ x 1 pulgadas	20	\$0.42+ IVA	Ferretería Modelo	Vía Gustavo Baz No 401, Fracc. Industrial Tlaxcolpan. Tlalnepantla, Estado de México. Tel: (55)5321 4040	\$8.40
Rondanas	1/8 X 3/8	200	\$0.30+IVA	Ferretería Modelo	Vía Gustavo Baz No. 401, Fracc. Industrial Tlaxcolpan. Tlalnepantla, Estado de México.	\$60

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

					Tel: (55)5321 4040	
Remaches pop	1/8 X ¼	200	\$12.92 (por cien piezas)+IV A	Ferretería Modelo	Vía Gustavo Baz No. 401, Fracc. Industrial Tlaxcolpan. Tlalnepantla, Estado de México. Tel: (55)5321 4040	\$25.92
Silicon		2	\$50			\$100
Vidrio	61 x 61 cm	10	\$98			\$980
TOTAL						\$3004.2

1. El canal de aluminio, que mide 3.66 m, se corta exactamente a la mitad del largo (1.83 m), por lo cual por cada pieza se obtienen dos de 1.83 m, tal como se muestra en las siguientes imágenes. El corte del canal debe realizarse en un solo movimiento utilizando la herramienta adecuada, en caso de no contar con ella pedir que se haga el corte en el lugar en donde se compre el canal (figura 11 y 12).

Figura 11: Canal de aluminio, pieza entera

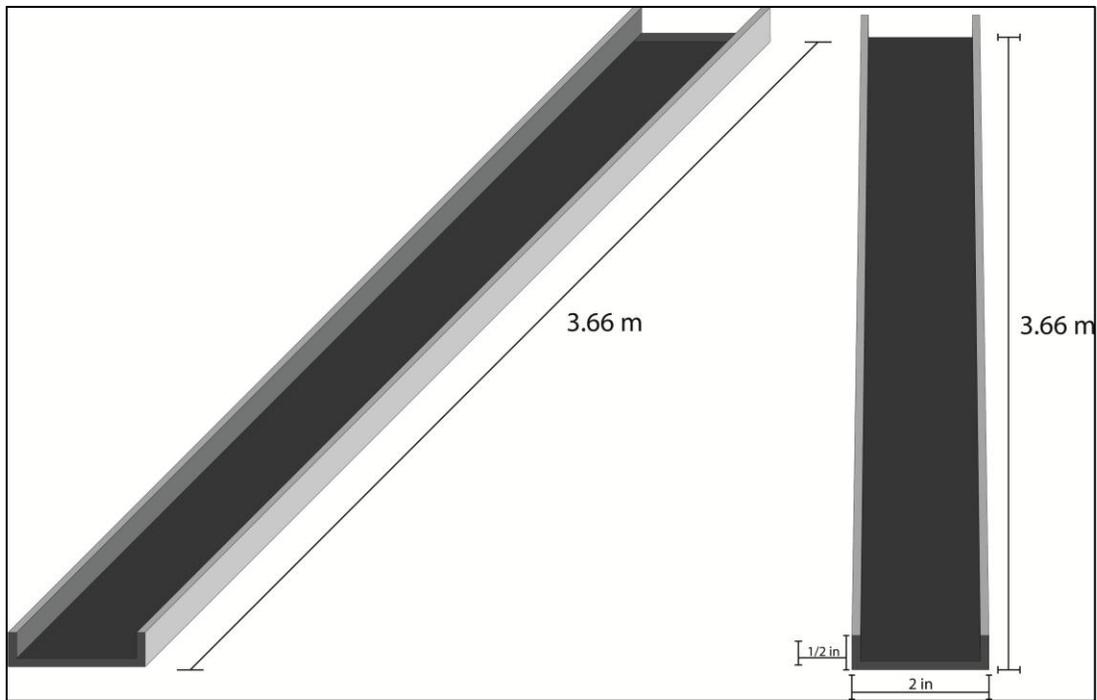
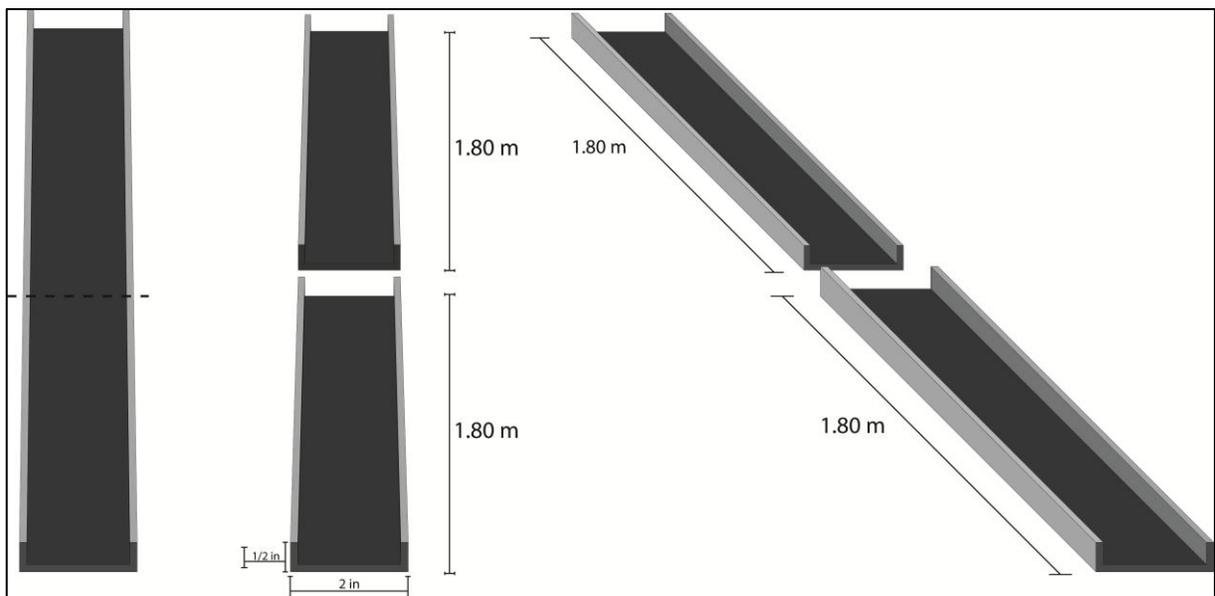


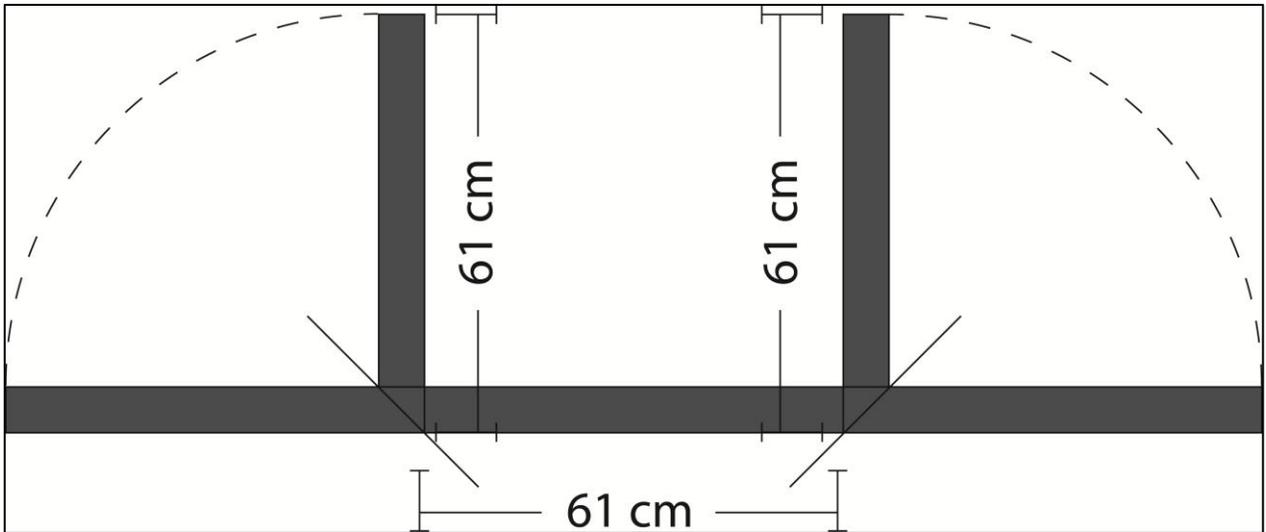
Figura 12: Cortes en el canal de aluminio para dos rizotrones.



2.- Una vez cortado el canal se deben hacer tres divisiones de 61 cm cada una, se marca con un lápiz y se hace un corte que permita formar un ángulo de 45° tal como lo muestra la figura 13.

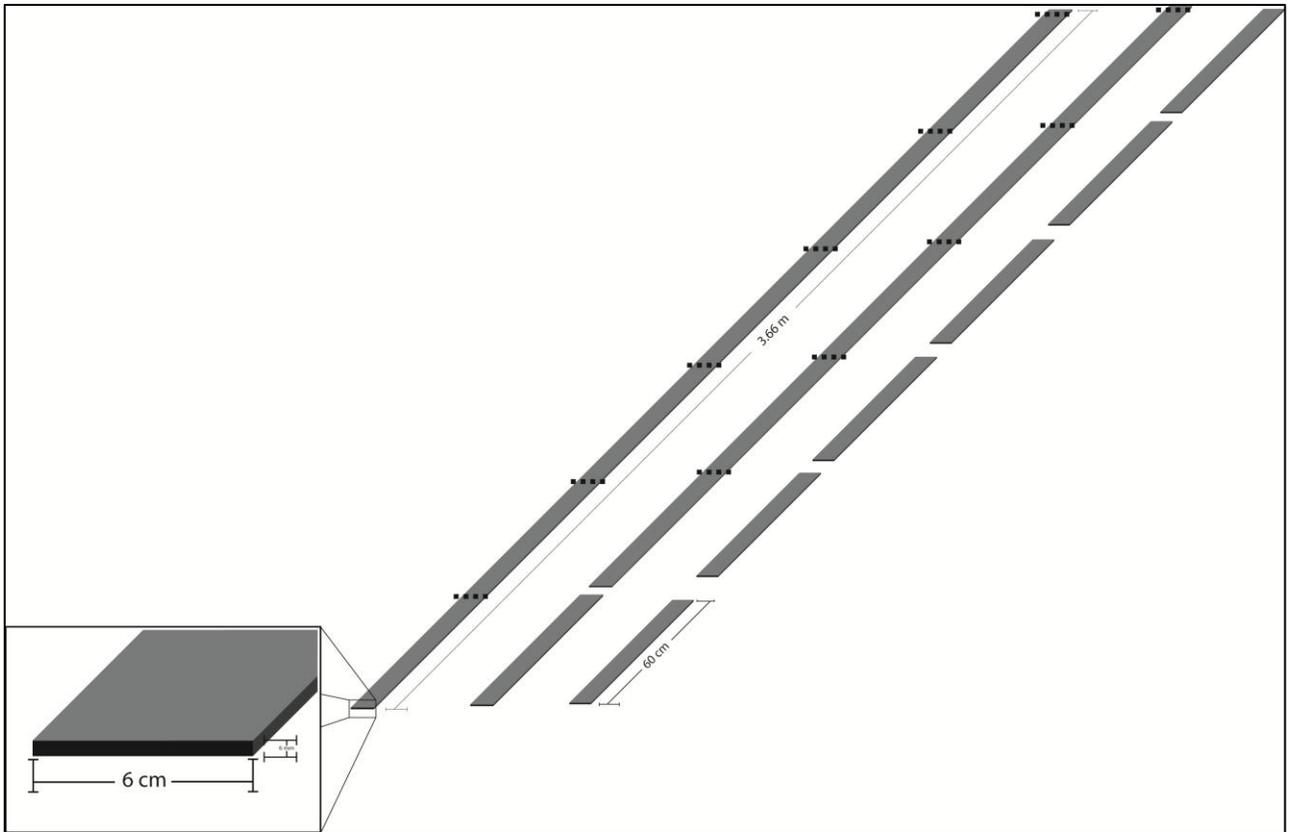
Figura 13: Dobles en el canal para formar el arco.

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales



3.- El siguiente paso es cortar la solera de acero, la pieza completa mide 3.66 metros, se requieren de dos piezas de 60 cm por rizotrón, las cuales actuaran como soporte. Teniendo en cuenta que por cada pieza entera (3.66 m) se obtienen seis partes de 60 cm y que se necesitan 20 fracciones de la medida antes mencionada, se requieren 4 piezas de 3.66 m. Como ya se mencionó a cada pieza se le hacen cortes de 60 cm, como lo muestra la figura 14.

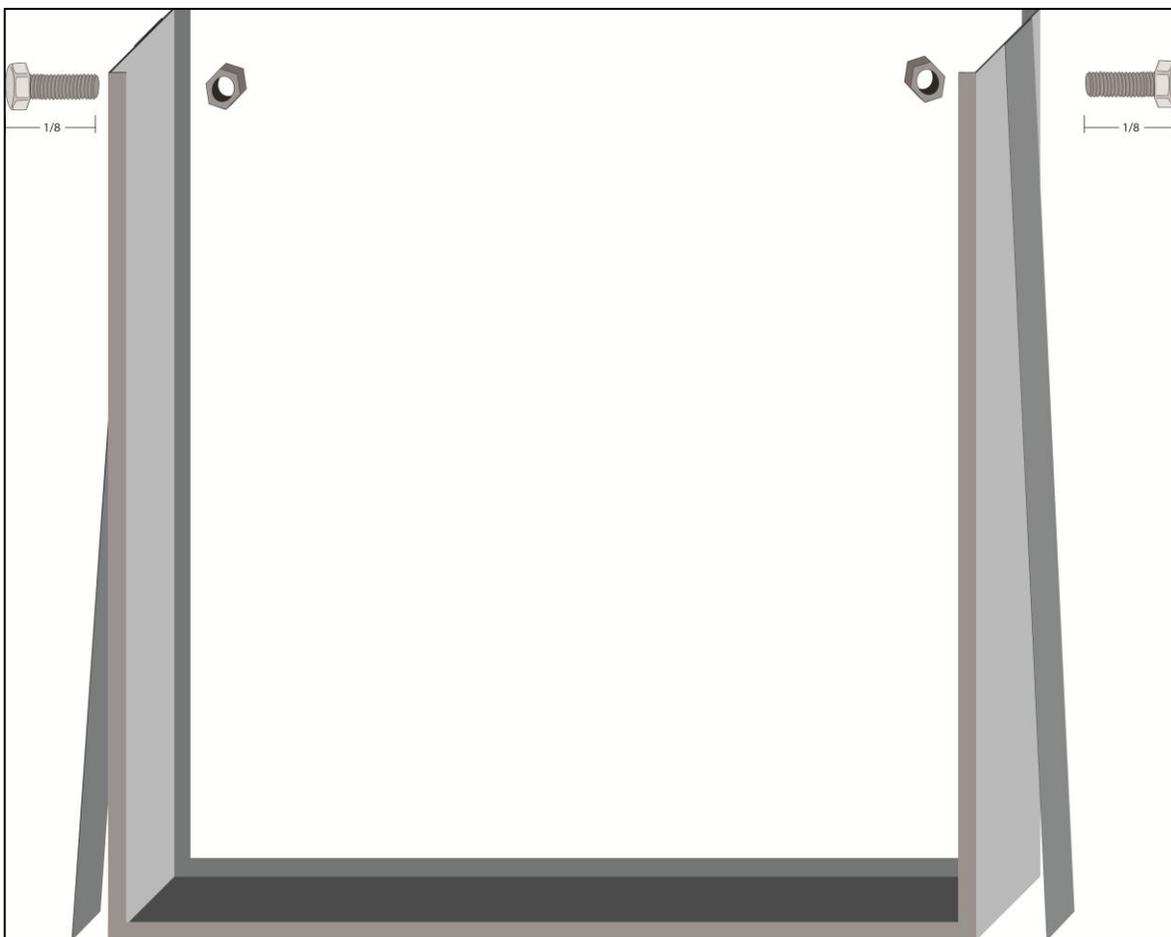
Figura 14: Solera cortada en partes de 60 cm.



4.- La solera se une al marco formado por el canal con tornillos y tuercas (figura 15).

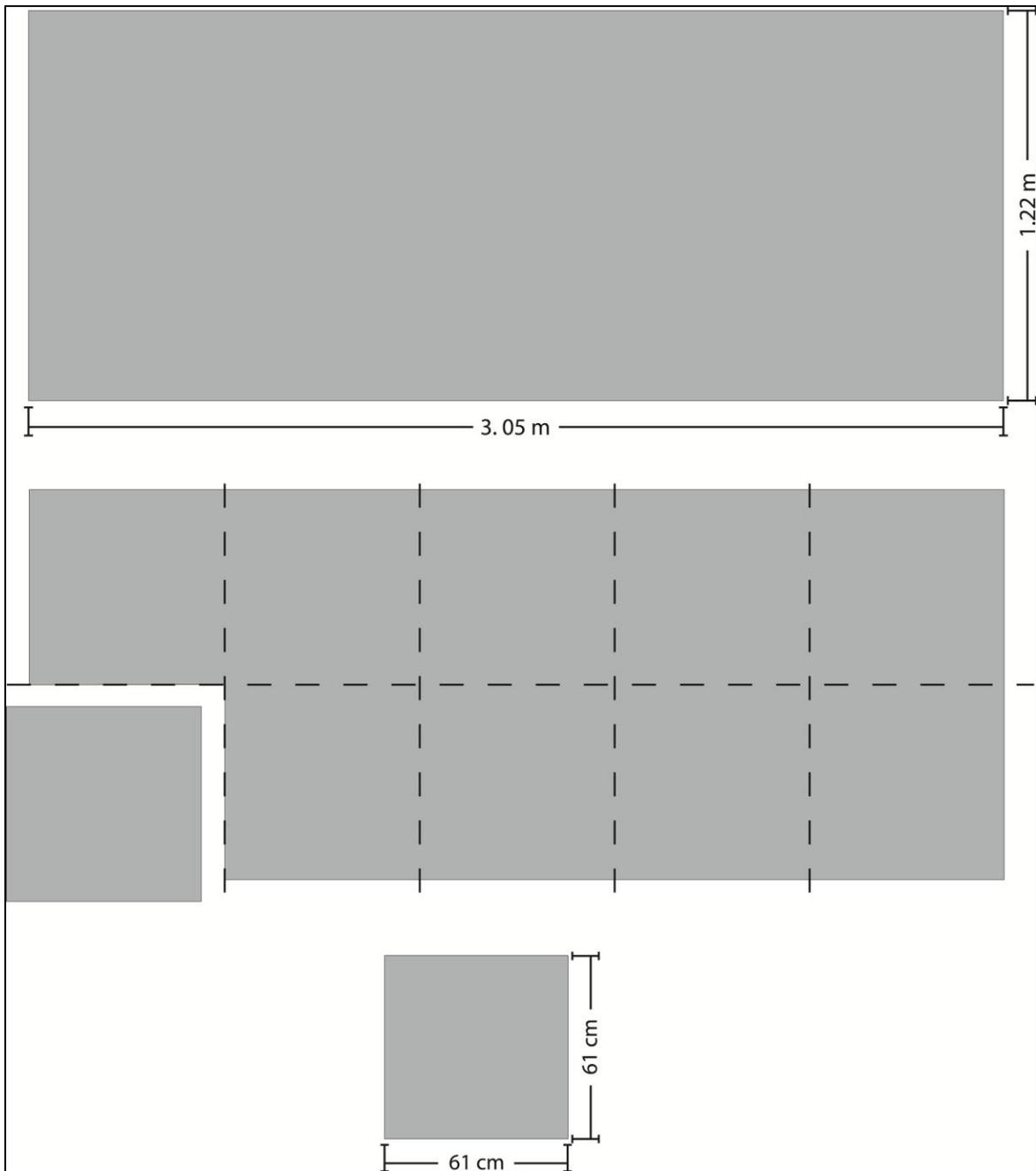
Figura 15: Solera unida con tornillos y tuercas.

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales



5.-Cortar la lámina de aluminio, en partes de 61x61 cm. Una pieza de 1.22x3.05 m es suficiente para obtener 10 cuadros de la medida antes mencionada. Si no se cuenta con la herramienta necesaria pedir que se haga el corte en el lugar donde se compre (figura 16).

Figura 16: Lamina de aluminio entera y cortada en partes de 61x61 cm.



5.- Se perfora el canal de aluminio, junto con la lámina a lo largo de la pestaña, aproximadamente tres veces por cada lado, usando una broca del tamaño del remache. Posteriormente se fija la lámina de aluminio al canal usando los remaches mientras que la otra cara se cubre con la placa de vidrio (figura 17 y 18)

Figura 17: Placa de vidrio como cara de rizotrón.

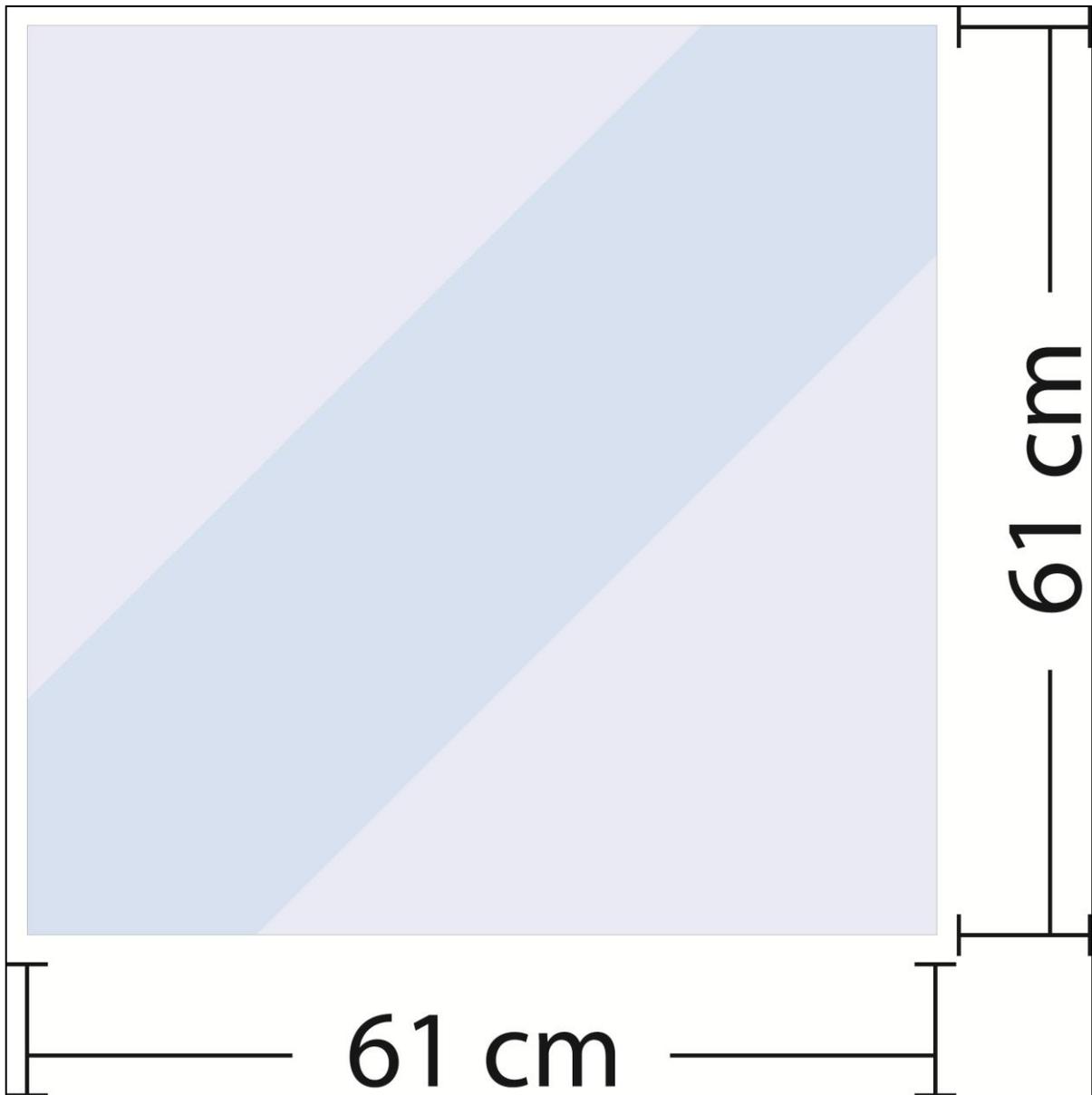
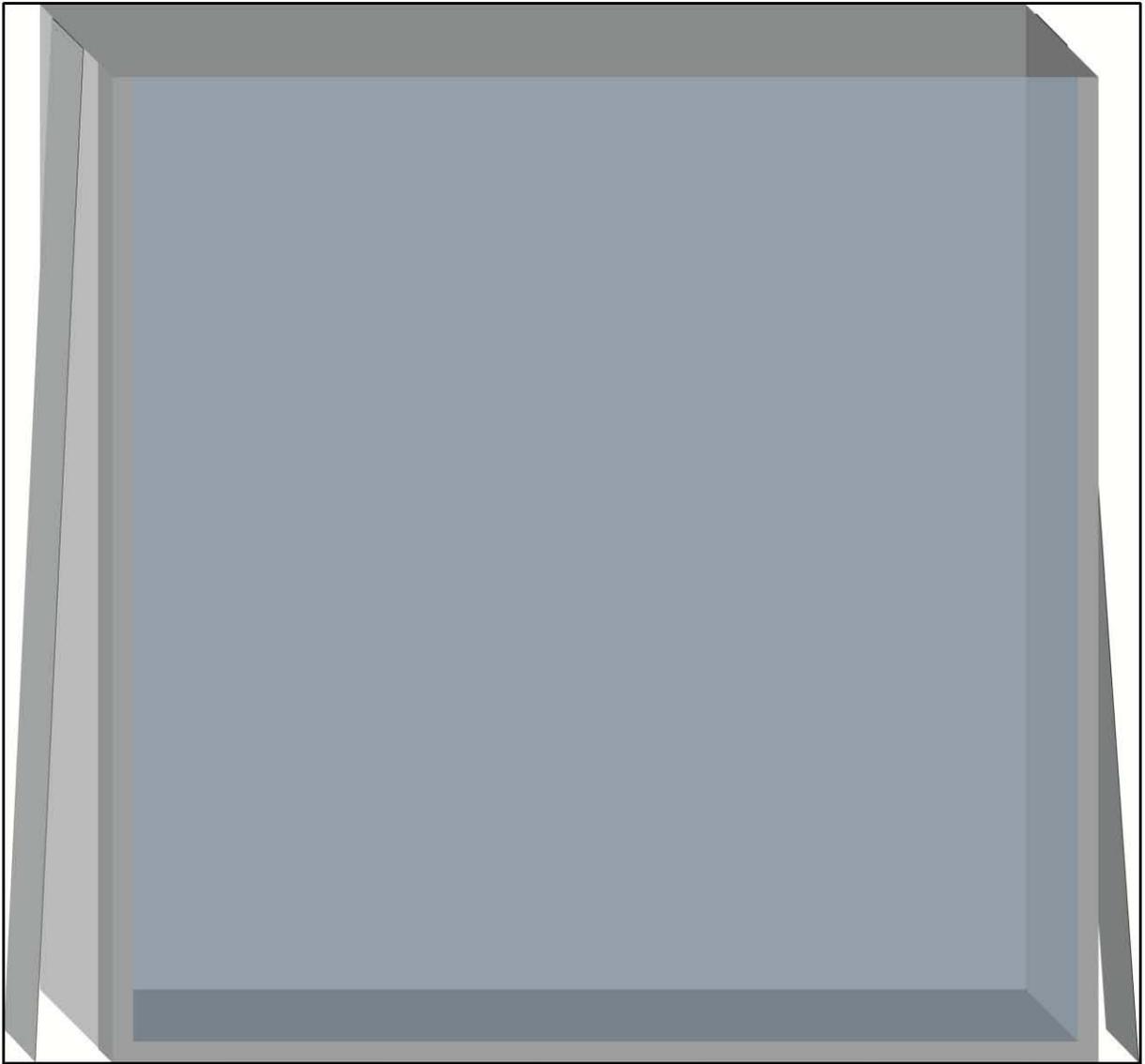


Figura 18: Rizotron terminado, con una cara de vidrio y otra de aluminio.

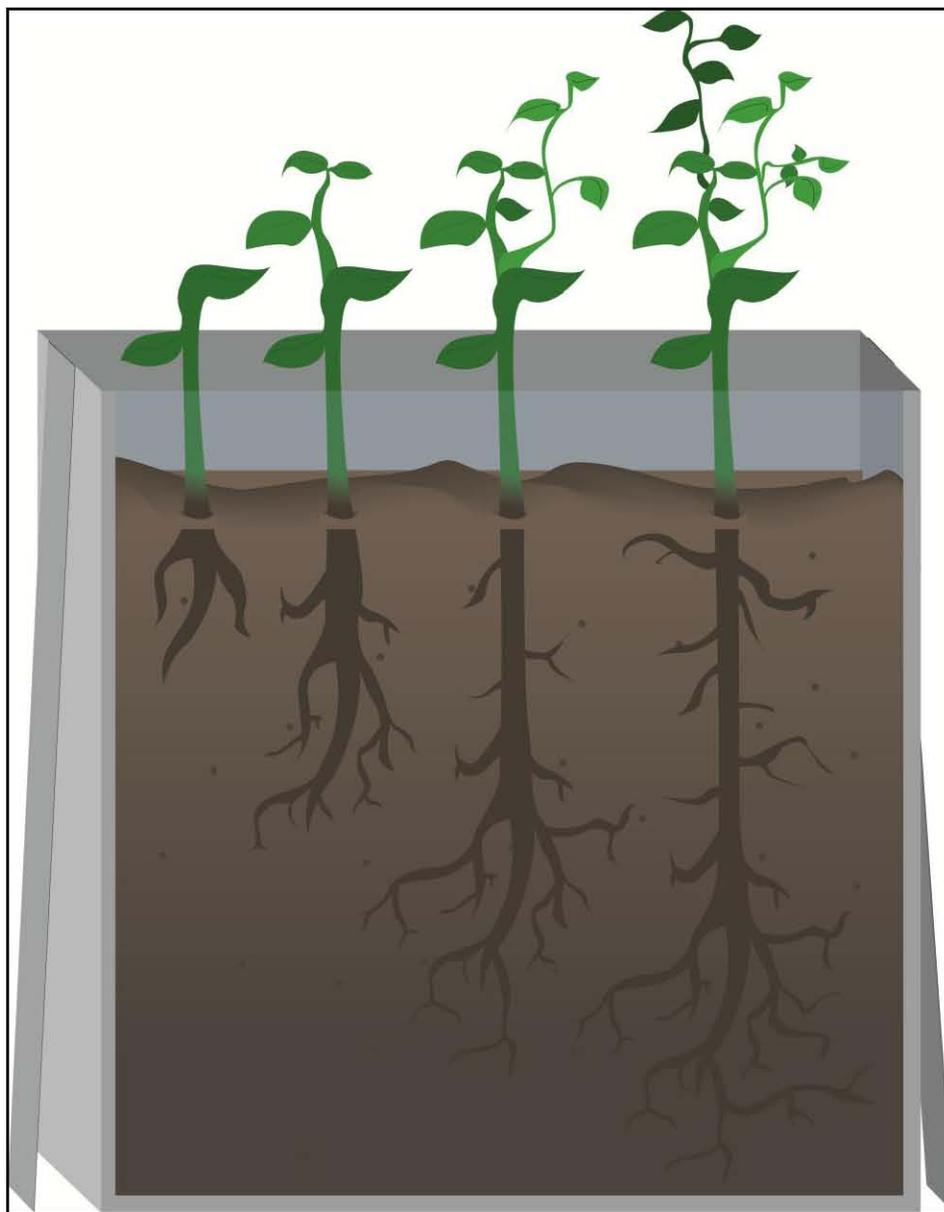


8.- Finalmente se llena de sustrato el interior y se colocan las plantas, cuidando que el rizotrópico este siempre en un ángulo inclinado con la cara de vidrio

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

dirigida al suelo, para permitir que la raíz se desarrolle cerca del vidrio y así poder visualizar su crecimiento (figura 19).

Figura 19: Rizotron terminado, ejemplo de visibilidad de raíz.



- 12.2 Registro de crecimiento
 - *Quercus crassipes*

Marzo

	Altura (cm)	Cobertura 1 (cm)	Cobertura 2 (cm)	Cobertura ² (cm ²)	Diámetro (mm)
	4.5	1	2	1.76715	3.81971
	3	1.5	1	1.2271875	3.183091
	5	3	2.5	5.9395875	3.81971
	2.5	1.5	1	1.2271875	3.501401
	3	2.5	1	2.4052875	3.81971
	3.5	1	1.5	1.2271875	3.501401
	4	3	2	4.90875	3.183091
	4	3.5	3.5	9.62115	2.228164
	2	1	2	1.76715	3.183091
	2.5	1.5	1	1.2271875	3.183091
	1.5	1	1	0.7854	3.81971
	3	1.5	2	2.4052875	3.501401
	3	2	1	1.76715	2.546473
	4.5	2.5	2.5	4.90875	3.501401
	5	1.5	2	2.4052875	2.864782
	4.5	2	3	4.90875	2.864782
	3	1.5	2	2.4052875	2.864782
	3.5	1.5	1.5	1.76715	3.183091
	3	2	1	1.76715	3.183091
	5	1.5	2.5	3.1416	2.864782
	4.5	3.5	2.5	7.0686	3.81971
	3	1.5	1	1.2271875	3.81971
	5	3	2.5	5.9395875	2.864782
	3.5	1.5	2.5	3.1416	3.183091
	2	1	1	0.7854	2.228164
	2	1	1.5	1.2271875	2.864782
	2	2	1	1.76715	2.864782
	2.5	1.5	1	1.2271875	3.183091
	3	0	0	0	0.3183091
	4.5	2	2.5	3.9760875	.381971
	5	1.5	4	5.9395875	4.138019
	4	2	2.5	3.9760875	3.501401
	3.5	1.5	2	2.4052875	2.546473
	3	1.5	1	1.2271875	3.183091
	2	2	1	1.76715	3.183091
	1	0.5	0.5	0.19635	2.864782
	2.5	0.5	0.5	0.19635	3.183091

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

	3	2	2.1	3.3006435	2.546473
	3.4	3.5	3	8.2957875	1.273237
	1.5	0	0	0	3.183091
	1.7	1.8	1.2	1.76715	1.273237
	2.4	3.2	2.7	6.8349435	1.591546
	1.8	3.5	3	8.2957875	1.909855
	1	2	2.4	3.801336	2.228164
	3.1	1.7	2	2.6880315	6.366183
	2.1	1.9	2	2.9864835	3.183091
	2.1	2	2.3	3.6305115	4.138019
	1.5	2.1	2.3	3.801336	4.774637
	1.9	3	2.7	6.3794115	2.864782
	2.1	0.7	0.5	0.282744	2.864782
	2	0.5	0.5	0.19635	3.81971
	2	1.3	1	1.0386915	5.729565
	1.4	1.5	1.7	2.010624	1.273237
	1.5	2	2	3.1416	2.546473
	2.1	2.1	2	3.3006435	2.228164
	2.1	3	2.6	6.157536	1.909855
	3	3.1	2.5	6.157536	1.909855
	3.1	2.1	1.5	2.544696	6.366183
	2.5	2.1	2.1	3.463614	4.456328
	3.1	1.6	1	1.327326	3.183091
Promedio	2.89	1.828333333	1.768333333	3.0175068	3.177786

Abril

	Altura (cm)	Cobertura 1 (cm)	Cobertura 2 (cm)	Cobertura ² (cm ²)	Diámetro (mm)
	2.5	1.5	1	1.2271875	3.81971
	2.5	2	1.5	2.4052875	3.501401
	3	1	4	4.90875	3.183091
	2.5	3	2	4.90875	3.81971
	5	3.5	2	5.9395875	3.81971
	5.5	3	4	9.62115	3.81971
	5	2.5	3	5.9395875	3.81971
	3.5	2.5	2	3.9760875	2.864782
	5	3.5	4	11.0446875	3.501401
	2.5	2	3.5	5.9395875	2.864782
	5	3.5	4	11.0446875	3.183091
	5	4	4.5	14.1862875	3.183091

	5	3	2.5	5.9395875	2.864782
	4.5	3	3	7.0686	3.183091
	3.5	2	3	4.90875	3.183091
	3.5	1.5	2	2.4052875	3.81971
	2	1	1.5	1.2271875	2.864782
	4.5	3	3.5	8.2957875	3.81971
	4	3.5	2	5.9395875	2.864782
	4.5	2	3	4.90875	2.864782
	3.5	4	2.5	8.2957875	3.81971
	3.5	2.5	5	11.0446875	3.501401
	3	1	2	1.76715	3.183091
	5	2	2	3.1416	3.501401
	5	2.5	4	8.2957875	3.501401
	3	1	1.5	1.2271875	2.864782
	5	3	5	12.5664	3.501401
	5	2	1.5	2.4052875	3.501401
	4	3	1.5	3.9760875	2.864782
	3.5	2	1	1.76715	3.501401
	3	0	0	0	3.81971
	3.5	2.5	3	5.9395875	3.183091
	3	1	1	0.7854	3.183091
	4.5	2.5	3	5.9395875	3.501401
	5	3.5	2	5.9395875	3.501401
	3.5	2	2.5	3.9760875	2.864782
	2.5	1	1	0.7854	4.456328
	2	0	0	0	2.864782
	2	1	1.5	1.2271875	3.501401
	4	1	1	0.7854	3.81971
	4	3	4	9.62115	381971
	4.5	3.5	3	8.2957875	4.138019
	3	2.5	2	3.9760875	3.501401
	3	1	1	0.7854	3.183091
	3	1	1	0.7854	3.81971
	1.5	0	0	0	3.183091
	2.5	0	0	0	3.501401
	2	1.5	2	2.4052875	2.864782
	2.5	2	2	3.1416	3.501401
	2.5	3	3.5	8.2957875	3.183091
	3.61	2.12	2.31	4.78014075	3.399542
	4.1	3	2.5	5.9395875	3.81971
	4.5	2.5	2	3.9760875	2.546473

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

	3.67	2.1	1.8	2.9864835	2.864782
	5.32	3.2	2.7	6.8349435	4.774637
	4.27	3.4	3	8.042496	4.774637
	2.4	1.8	1.5	2.1382515	5.729565
	4.5	2.7	2	4.3373715	2.864782
	3.1	1.8	1.5	2.1382515	3.183091
	3.7	2	1.5	2.4052875	3.183091
Promedio	3.661166667	2.177	2.271833333	4.709765638	3.451957

Mayo

	Altura (cm)	Cobertura 1 (cm)	Cobertura 2	Cobertura ² (cm ²)	Diámetro (mm)
	4.5	2.5	2	3.9760875	3.501401
	5	3	1.5	3.9760875	3.183091
	3.5	3	2.5	5.9395875	3.183091
	5	0	0	0	4.774637
	5	3	4.7	11.6415915	4.456328
	6	4	3.4	10.752126	4.138019
	4.7	3	2.1	5.1070635	3.81971
	4	3	3.4	8.042496	3.501401
	3.5	2	1.7	2.6880315	3.501401
	3.5	1	2.8	2.835294	3.183091
	5	3.7	3	8.8141515	3.183091
	5	2.5	4	8.2957875	3.81971
	4.5	2	1.5	2.4052875	3.81971
	6	4	3	9.62115	3.501401
	6.7	3.7	4.5	13.202574	3.81971
	6	2.8	5	11.945934	4.456328
	5.3	4.3	3.2	11.0446875	4.138019
	6	4.5	4	14.1862875	4.456328
	3.5	2.9	1.8	4.3373715	4.456328
	4.2	2.5	3.4	6.8349435	3.81971
	3.5	2.7	3.6	7.7931315	3.81971
	6	4.9	5.3	20.428254	3.81971
	6.6	0	0	0	4.138019
	5.6	2.4	4	8.042496	3.81971
	3.5	3.2	1.4	4.154766	4.138019
	4	2	3.1	5.1070635	3.81971
	3.5	2.7	1.3	3.1416	3.501401

	5	3	2.5	5.9395875	2.864782
	6	4	3.2	10.178784	2.864782
	4.5	1.9	3.4	5.5154715	3.501401
	7	5	2.6	11.341176	3.501401
	6.5	3	4.2	10.178784	3.81971
	5	2.3	1.8	3.3006435	3.183091
	4	0	0	0	3.501401
	3.5	3.4	2	5.725566	3.81971
	5	2.5	2.6	5.1070635	4.138019
	5	4	3	9.62115	4.138019
	4.5	2.3	3.6	6.8349435	4.138019
	3	1.7	2	2.6880315	3.501401
	5	2.3	4.2	8.2957875	3.501401
	6.5	5	4.3	16.9823115	4.138019
	4.5	3.4	2.4	6.605214	3.81971
	6	4.3	3.2	11.0446875	3.81971
	6.5	3.5	1.6	5.1070635	3.81971
	7	4	3.6	11.341176	4.456328
	7.5	4.5	3.8	13.5265515	4.774637
	6.5	3.6	4.3	12.2542035	3.81971
	4	6	3.4	17.349486	3.501401
	5.5	4.2	1.9	7.3061835	3.81971
	7	3.6	2.7	7.7931315	3.501401
	6.5	3.4	5	13.854456	3.501401
	5.5	3.5	2.8	7.7931315	3.81971
	6	4	2.4	8.042496	4.138019
	7	5	4.7	18.4745715	3.501401
	5.5	3.6	3.6	10.178784	3.183091
	6	5	4.3	16.9823115	3.81971
	4.5	2.3	3.7	7.0686	3.81971
	6	5	4	15.90435	3.81971
	7	0	0	0	3.81971
	6.5	3.1	2.5	6.157536	4.138019
Promedio	5.251666667	3.128333333	2.925	8.2134514	3.787879

Junio

Altura (cm)	Cobertura	Cobertura	Cobertura ²	Diámetro
-------------	-----------	-----------	------------------------	----------

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

	1 (cm)	2 (cm)	(cm ²)	(mm)	
	8	7.2	6.8	38.4846	5.4112554
	9.6	7	6.7	36.8529315	6.0478737
	8.3	7.4	8	46.566366	5.7295646
	7.5	3.6	4	11.341176	4.1380188
	6.7	6.4	6.4	32.169984	6.3661828
	10	0	0	0	5.7295646
	6.6	5.8	9	43.008504	6.3661828
	8.7	1.5	2	2.4052875	5.7295646
	9.2	5	4.9	19.2442635	8.912656
	6.7	5	5.4	21.237216	4.456328
	8.9	6.7	5	26.8783515	6.0478737
	6.3	7.5	6	35.7847875	3.8197097
	10.9	8.2	8.2	52.810296	6.3661828
	11.2	3.4	3.7	9.8980035	6.3661828
	11.4	8.4	7.2	47.783736	6.3661828
	10	2.2	3.3	5.9395875	6.0478737
	6.3	5.5	6.3	27.339774	3.8197097
	8.8	6	6.6	31.172526	4.456328
	8.3	6.5	6.5	33.18315	3.8197097
	5.3	4	3.1	9.8980035	3.8197097
	9.1	4.4	4.6	15.90435	6.3661828
	7	6.5	6.6	33.6956235	9.5492743
	8	5.7	5.7	25.517646	4.7746371
	5	4.1	3.2	10.4634915	3.1830914
	6.6	2.1	2.5	4.154766	5.7295646
	10.3	6.3	7.2	35.7847875	5.0929463
	6.1	4.5	4.6	16.2597435	4.7746371
	6.8	5.4	4.8	20.428254	6.3661828
	8.3	6.2	6.2	30.190776	6.684492
	8.6	7.2	7	39.592014	6.684492
	9.2	6.7	6.3	33.18315	6.3661828
	10.4	6	6.9	32.6746035	5.4112554
	8.5	7	4.6	26.420856	5.4112554
	6	2.5	6	14.1862875	4.456328
	6.5	4.8	5.7	21.6475875	4.7746371
	9	7.9	8.3	51.530094	5.7295646
	7.7	6.5	7	35.7847875	6.3661828
	8	6.5	7.8	40.1516115	6.0478737
	8.5	5.9	6.8	31.6692915	5.7295646
	9.5	7.8	8.3	50.8958835	5.7295646

	9	5	7.5	30.6796875	6.3661828
	10	8.6	5.9	41.2825875	6.0478737
	8	7.6	5.8	35.256606	6.0478737
	7.6	5.6	6.4	28.2744	6.0478737
	9	8.5	6.9	46.566366	6.0478737
	8.5	6	7.4	35.256606	5.7295646
	7	5.4	8	35.256606	6.0478737
	7.8	4.3	5.4	18.4745715	6.0478737
	9	6	5.6	26.420856	5.7295646
	5	3.6	4.2	11.945934	5.4112554
	7.5	5.2	4.8	19.635	5.0929463
	7.6	6.4	4.3	22.4801115	5.4112554
	7.8	6.5	5.2	26.8783515	5.7295646
	9.4	5.8	6.3	28.7476035	5.7295646
	6.5	4.2	5.3	17.7205875	4.456328
	8	5	6.4	25.517646	6.3661828
	7	6.3	3.8	20.0296635	6.0478737
	8.7	7.4	5.2	31.172526	5.7295646
	9	4	7	23.75835	5.4112554
	8.7	4	6	19.635	6.3661828
Promedio	8.148333333	5.61166667	5.77666667	27.45205348	5.6818182

Julio

	Altura (cm)	Cobertura1 (cm)	Cobertura2 (cm)	Cobertura ² (cm ²)	Diámetro (mm)
	10	4	5	15.90435	4.456328
	4.5	2.5	2	3.9760875	4.774637
	10	4	4	12.5664	4.774637
	8	0	0	0	4.774637
	8	4.5	4.5	15.90435	5.411255
	7	3	2	4.90875	6.366183
	9	8	7	44.17875	6.047874
	10	0	0	0	6.047874
	11.5	6	4.5	21.6475875	4.774637
	12	4.5	5	17.7205875	5.411255
	9	6.5	6	30.6796875	7.002801
	7.5	4	3.5	11.0446875	6.366183
	9	4.5	6	21.6475875	6.047874
	11	6.5	8	41.2825875	6.366183

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

	8	2.5	4	8.2957875	4.774637
	8	7	5	28.2744	5.729565
	9	2	2	3.1416	5.411255
	7	4	3	9.62115	5.729565
	8	5	5	19.635	6.047874
	10	5.5	5	21.6475875	6.366183
	9	7	5	28.2744	6.684492
	10	7	7	38.4846	7.002801
	10	5	7	28.2744	7.32111
	7.5	6	6	28.2744	6.684492
	11	8	6	38.4846	6.047874
	14	7	4.5	25.9672875	6.047874
	13	5	5.1	20.0296635	6.047874
	7.5	2	2.5	3.9760875	6.366183
	5.5	4	1	4.90875	5.411255
	11	5	1	7.0686	5.729565
	7	1	1	0.7854	6.047874
	10	4	2	7.0686	6.366183
	9	7	3	19.635	6.047874
	8	0	0	0	6.047874
	9	2	4	7.0686	5.729565
	7	0	0	0	6.047874
	10	9	7	50.2656	6.366183
	13	6	4	19.635	6.366183
	14	5	6.5	25.9672875	5.411255
	10	4	5	15.90435	5.092946
	8	7	7	38.4846	5.411255
	10	3	2.5	5.9395875	5.092946
	7	2	2	3.1416	5.729565
	10	4	4	12.5664	6.047874
	8	0	0	0	6.366183
	8	5	4	15.90435	4.774637
	7	2	1	1.76715	4.774637
	8	7.5	7	41.2825875	5.411255
	8	5	3	12.5664	6.047874
	10	5	5	19.635	6.366183
	9	4	3	9.62115	5.092946
	11	5	5.5	21.6475875	5.411255
	11	3	4	9.62115	6.684492
	12	5	4	15.90435	6.047874
	10	6	5	23.75835	6.366183

	7	0	0	0	6.047874
	11	5	5	19.635	6.047874
	9	5	1	7.0686	6.366183
	10	7	6	33.18315	6.684492
	10	6.5	3	17.7205875	6.684492
Promedio	9.26666667	4.41666667	3.85166667	16.8599527	5.883414

Agosto

Altura	Cobertura1	Cobertura 2	Cobertura ²	Diámetro
10	3	2	4.90875	7.32111
9	3	2	4.90875	6.047874
12	5	4	15.90435	6.366183
8	5	6	23.75835	5.411255
7	5	4	15.90435	5.729565
8	6	5	23.75835	5.411255
7	4	4	12.5664	5.729565
9	3	5	12.5664	6.047874
7	5	4	15.90435	6.047874
8	6	6	28.2744	5.729565
9	4	7	23.75835	6.366183
12	6	6	28.2744	6.366183
7	6	6	28.2744	5.729565
8	7	7	38.4846	5.411255
9	6	5	23.75835	5.729565
11	5	6	23.75835	6.684492
8	5	5	19.635	6.047874
7.5	5	5	19.635	5.729565
7	2	2.5	3.9760875	5.729565
11	5	4	15.90435	6.366183
8	2	3	4.90875	6.047874
9	3	4.5	11.0446875	6.366183
5	7	4	23.75835	3.183091
8	4	5	15.90435	5.092946
9	5.5	5.5	23.75835	6.047874
10	5	6	23.75835	7.32111
7	4.5	4	14.1862875	6.047874
12	2.5	2	3.9760875	6.366183
9	2	2	3.1416	4.774637

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

8	3	3	7.0686	5.411255
7	5.5	4.5	19.635	5.411255
7.5	6.5	6	30.6796875	6.366183
8.5	5.5	4	17.7205875	5.411255
7	3	4	9.62115	5.092946
7	0	0	0	6.047874
8	4.5	5.5	19.635	5.092946
8	0.5	0.5	0.19635	5.411255
7	2.5	2	3.9760875	4.774637
10	6.5	5	25.9672875	6.366183
10	4.5	4.5	15.90435	5.092946
10	3	3	7.0686	6.047874
8	4.5	4	14.1862875	8.594347
7.5	5	5	19.635	5.729565
12	4	5.5	17.7205875	6.366183
7	6	6.5	30.6796875	6.047874
8	5	4	15.90435	5.729565
10	6	5	23.75835	6.047874
9	7.5	8	47.1730875	5.092946
8	8.5	6	41.2825875	5.092946
10	7	5	28.2744	5.729565
7	4.5	6	21.6475875	6.366183
7.5	7	5	28.2744	5.729565
11	7	5	28.2744	6.047874
10	8	5	33.18315	6.366183
12	6	7	33.18315	5.729565
9	5	6	23.75835	3.81971
8	5	7	28.2744	5.411255
10	5	7	28.2744	6.047874
10	7	8	44.17875	6.366183
9.7	7	7.5	41.2825875	6.684492
8.72	4.858333333	4.766666667	20.24613938	5.846278

Septiembre

Altura (cm)	cobertura 1 (cm)	cobertura 2 8cm)	Cobertura ² (cm ²)	Diámetro (mm)
7.3	2.9	2.6	5.9395875	4.774637
6.9	5.4	5.4	22.902264	6.047874
10.7	6.8	6.8	36.316896	5.411255
8.2	5.5	5.4	23.3283435	5.092946
6.2	5.6	7.2	32.169984	5.092946
11	6.5	7.1	36.316896	6.684492
8.8	2.5	3.8	7.7931315	5.411255
9.2	6.8	7.2	38.4846	6.047874
8.5	3.2	4	10.178784	5.729565
5.5	5.2	4.5	18.4745715	3.81971
10.3	6.4	6.8	34.212024	4.774637
10	4.5	4.2	14.8617315	6.366183
8.7	7.5	7.5	44.17875	7.002801
9.4	7.1	5.3	30.190776	5.729565
6.2	4.1	3.2	10.4634915	4.138019
7.9	6.9	6.2	33.6956235	5.411255
9.1	3	2.8	6.605214	4.774637
7.9	5.6	5.1	22.4801115	6.047874
7	5.8	4.9	22.4801115	6.684492
7.6	0	0	0	6.047874
6	6.2	5.3	25.9672875	5.729565
7.3	7.2	6.1	34.7323515	7.002801
7.6	6.8	6.2	33.18315	7.32111
7.2	0	0	0	4.774637
8.1	6.9	6.1	33.18315	7.957729
9.5	4.4	4.1	14.1862875	5.729565
9.3	7.2	6.5	36.8529315	5.411255
7.1	6.2	6.9	33.6956235	6.366183
10.6	6.4	6.1	30.6796875	7.32111
10	5.8	4.4	20.428254	5.729565
12.1	4.8	6.5	25.0719315	5.729565
12.5	9.1	8.4	60.1321875	7.002801
10.2	5.2	1.9	9.8980035	6.047874
9.4	6	5.6	26.420856	5.411255
11	7.3	7	40.1516115	6.366183
8.5	0	0	0	4.774637
13	5	4	15.90435	6.047874
8.5	1.7	5.1	9.079224	5.729565
9.9	0	0	0	6.047874

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

	14	7.3	4.5	27.339774	5.729565
	9.5	4	3.2	10.178784	5.729565
	11	2.9	3.7	8.553006	4.774637
	9.5	5	7.5	30.6796875	7.32111
	10	7.3	8.1	46.566366	5.411255
	10.5	6.7	6.6	34.7323515	6.047874
	10.5	7	5.6	31.172526	5.092946
	12.87	4	3.2	10.178784	4.456328
	12	3.6	4.9	14.1862875	8.276038
	13.34	3.4	3.8	10.178784	5.729565
	8.7	8.4	6	40.715136	7.639419
	9.7	3.9	3.8	11.6415915	5.411255
	13	6.6	7.6	39.592014	6.366183
	10.12	6.5	6.7	34.212024	6.047874
	8	6.1	4.2	20.8307715	4.138019
	7.9	0	0	0	4.456328
	8.8	7	9	50.2656	4.456328
	9.8	7	8	44.17875	6.047874
	9.5	9.5	6.5	50.2656	6.047874
	16	8	7.5	47.1730875	6.366183
	9.5	6	9	44.17875	5.411255
Promedio	9.47383333	5.295	5.16	25.1243242	5.809142

Octubre

	Altura (cm)	Cobertura 1 (cm)	Cobertura 2 (cm)	Cobertura ² (cm ²)	Diámetro (mm)
	11	7.6	5	31.172526	6.366183
	10	6	5	23.75835	5.411255
	12	5	6	23.75835	6.366183
	11	7.5	6	35.7847875	6.366183
	9	6	4	19.635	6.684492
	9	6.4	4	21.237216	6.684492
	10	8.4	5	35.256606	6.047874
	8	5	5	19.635	6.047874
	11	7.5	6.5	38.4846	6.366183
	8	6	5	23.75835	3.183091
	10	6.8	5	27.339774	6.366183
	13	7.4	8	46.566366	6.684492
	9	6	5.5	25.9672875	6.684492

	7	0	0	0	5.729565
	8	5	5	19.635	6.047874
	9	6.5	4.5	23.75835	6.047874
	12	7.9	7	43.5916635	6.366183
	11	6	6.5	30.6796875	6.366183
	9	5.5	4	17.7205875	4.138019
	10	6.5	6	30.6796875	5.411255
	10	5	4.5	17.7205875	6.366183
	13	7	4.5	25.9672875	4.456328
	10	6.5	7	35.7847875	5.411255
	11	7.5	6.5	38.4846	6.684492
	9	6.5	5	25.9672875	5.729565
	9	6.7	3.5	20.428254	6.047874
	10	7.1	6	33.6956235	6.366183
	12	7.3	4.5	27.339774	6.684492
	12	8	5.5	35.7847875	6.684492
	11.5	7.5	5	30.6796875	6.684492
	10	6	10	50.2656	6.366183
	10	4.5	5.5	19.635	6.366183
	13	6.5	5	25.9672875	6.684492
	10	7	6	33.18315	6.366183
	8	6	4	19.635	4.774637
	10	7	6	33.18315	6.047874
	10	7.4	4	25.517646	6.047874
	9	6	7	33.18315	5.092946
	10	7.8	5.5	34.7323515	6.684492
	11	8	7	44.17875	6.684492
	12	7	6.5	35.7847875	7.002801
	15	7	7	38.4846	6.684492
	9	4.5	4	14.1862875	6.047874
	13	8.6	6	41.853966	6.684492
	11	7	8	44.17875	5.092946
	12	9	8	56.74515	5.729565
	10	7	6.5	35.7847875	6.047874
	9	9	6	44.17875	6.366183
	11	8	10	63.6174	5.411255
	7	9	8	56.74515	6.047874
	12	10	11	86.59035	6.047874
	9	8	7	44.17875	6.047874
	10	7	4.2	24.630144	6.366183
	8	6	5	23.75835	6.684492

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

	11	9	7	50.2656	7.002801
	5	4	3	9.62115	5.411255
	12	9	7	50.2656	6.047874
	8	7	9	50.2656	6.047874
	10	4.8	7.5	29.7057915	6.684492
	10.5	4.8	8	32.169984	7.002801
Promedio	10.1666667	6.733333333	5.895	33.046065	6.100925

○ ***Quercus candicans***

Marzo

	Altura (cm)	Cobertura 1 (cm)	Cobertura 2 (cm)	Cobertura ² (cm ²)	Diámetro (mm)
	28	30	20	490.875	5.0929463
	24	19	17	254.4696	3.5014006
	24	15	18	213.82515	4.7746371
	35	22	22	380.1336	6.684492
	25	14	17	188.69235	6.3661828
	27	16	21	268.80315	6.3661828
	25	12	22	226.9806	4.7746371
	26	18	15	213.82515	5.0929463
	25	20	18	283.5294	5.4112554
	27	18	15	213.82515	4.456328
	26	20	19	298.64835	5.7295646
	24	23	27	490.875	4.456328
	24	23	21	380.1336	9.8675834
	27	9	25	226.9806	9.8675834
	25	0	0	0	7.6394194
	26	18	17	240.52875	7.9577285
	25	9	13	95.0334	8.2760377
	24	19	21	314.16	4.456328
	27	21	17	283.5294	3.8197097
	25	23	18	330.06435	4.456328
	29	25	23	452.3904	6.3661828
	24	19	19	283.5294	5.4112554
	26	21	18	298.64835	5.0929463
	30	25	27	530.9304	5.4112554
	27	20	19	298.64835	7.0028011
	25	23	24	433.73715	6.3661828

	30	27	26	551.54715	5.0929463
	29	17	19	254.4696	5.0929463
	24	23	23	415.4766	4.7746371
	27	26	26	530.9304	5.0929463
	28	25	23	452.3904	5.0929463
	29	25	24	471.43635	4.456328
	28	19	21	314.16	7.3211103
	30	29	26	593.95875	7.3211103
	26	22	21	363.05115	4.7746371
	26	18	21	298.64835	4.456328
	27	24	19	363.05115	6.684492
	28	25	23	452.3904	7.9577285
	25	7	8	44.17875	4.456328
	24	16	17	213.82515	6.3661828
	25	23	23	415.4766	6.684492
	28	23	24	433.73715	7.6394194
	26	19	21	314.16	6.684492
	32	27	25	530.9304	6.3661828
	25	23	20	363.05115	6.3661828
	23	20	20	314.16	5.0929463
	29	22	30	530.9304	3.5014006
	27	22	21	363.05115	5.4112554
	26	24	23	433.73715	3.8197097
	27	26	19	397.60875	3.1830914
	26	7	12	70.88235	3.8197097
	28	8	6	38.4846	4.7746371
	27	7.5	7	41.2825875	7.3211103
	25.5	9.7	8	61.5144915	6.684492
	29	19	15	226.9806	7.6394194
	31	10	9	70.88235	6.3661828
	30	17.5	15	207.394688	5.7295646
	28	29	15	380.1336	6.3661828
	29	15.7	25	325.251812	5.4112554
	30.4	23	22	397.60875	6.0478737
Promedio	26.8816667	19.34	19.1666667	315.492824	5.8091418

Abril

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

Altura (cm)	Cobertura 1 (cm)	Cobertura 2 (cm)	Cobertura ² (cm ²)	Diámetro (mm)
24	30	21	510.70635	4.7746371
29	27	21	452.3904	5.0929463
28	19	21	314.16	4.7746371
35.9	30	29	683.49435	6.3661828
27	17	15	201.0624	7.9577285
26	0	0	0	6.684492
28	25	27	530.9304	5.7295646
29	26	27	551.54715	5.4112554
26	25	24	471.43635	5.4112554
28	26	25	510.70635	5.7295646
31	29	28	637.94115	5.7295646
28	26	23	471.43635	6.0478737
24	19	15	226.9806	9.5492743
22	0	0	0	9.8675834
25	19	21	314.16	7.6394194
22.8	16	17	213.82515	5.7295646
26	23	24	433.73715	6.0478737
23	21	24	397.60875	6.0478737
21	19	17	254.4696	6.0478737
25	21	23	380.1336	6.0478737
30	27	29	615.7536	6.3661828
25	0	0	0	5.4112554
25	10	16	132.7326	5.4112554
25	21	17	283.5294	6.3661828
27	25	28	551.54715	6.3661828
28	24	25	471.43635	6.3661828
31	21	29	490.875	5.7295646
26	20	24	380.1336	5.0929463
26.5	21	28	471.43635	5.7295646
26	19	17	254.4696	5.7295646
29	25	27	530.9304	5.7295646
26	24	23	433.73715	4.7746371
27	21	27	452.3904	6.3661828
30	29	26	593.95875	6.3661828
22	24	20	380.1336	5.4112554
22.5	21	26	433.73715	5.0929463
25	19	23	346.3614	6.3661828
32	25	26	510.70635	6.3661828
30	29	25	572.5566	6.0478737
26	23	22	397.60875	6.684492

	29	21	25	415.4766	5.4112554
	27	20	24	380.1336	6.684492
	27	0	0	0	6.3661828
	32	27	26	551.54715	5.0929463
	26	19	18	268.80315	5.7295646
	29	10	14	113.0976	4.7746371
	31	12	11	103.86915	4.456328
	31	19	20	298.64835	5.0929463
	33	9	7	50.2656	4.456328
	29	8	12	78.54	4.1380188
	30	14	16	176.715	5.0929463
	31	15	14	165.13035	5.7295646
	29	14.3	13	146.337692	4.1380188
	30.5	13.2	12.3	127.676588	5.7295646
	32	12.4	11	107.513406	7.3211103
	33.2	14	14	153.9384	6.684492
	30	10	12	95.0334	5.7295646
	31	9	8.5	60.1321875	4.456328
	28.5	11.5	11	99.4021875	5.4112554
	29.7	12	12	113.0976	5.0929463
Promedio	27.7766667	18.6066667	19.0133333	322.768639	5.8674985

Mayo

	Altura (cm)	Cobertura1 (cm)	Cobertura 2 (cm)	Cobertura ² (cm ²)	Diámetro (mm)
	30	30	21	510.70635	4.7746371
	25	27	28	593.95875	5.0929463
	25	19	12	188.69235	4.7746371
	35.9	33	28	730.61835	6.3661828
	29	19	24	363.05115	7.9577285
	23	21	16	268.80315	6.684492
	25	17	23	314.16	5.7295646
	27	22	25	433.73715	5.4112554
	29	28	25	551.54715	5.4112554
	31	28	30	660.5214	5.7295646
	30	31	28	683.49435	5.7295646
	28	26	30	615.7536	6.0478737
	27	25	22	433.73715	9.5492743
	24	20	21	330.06435	9.8675834

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

	25	16	19	240.52875	7.6394194
	24	20	19	298.64835	5.7295646
	27	0	0	0	6.0478737
	24	12	6	63.6174	6.0478737
	26	19	24	363.05115	6.0478737
	28	20	21	330.06435	6.0478737
	30	19	24	363.05115	6.3661828
	25	18	17	240.52875	5.4112554
	24	23	20	363.05115	5.4112554
	27	25	23	452.3904	6.3661828
	27	22	24	415.4766	6.3661828
	24	20	21	330.06435	6.3661828
	25	25	22	433.73715	5.7295646
	27	25	28	551.54715	5.0929463
	28	0	0	0	5.7295646
	26	24	21	397.60875	5.7295646
	32	28	29	637.94115	5.0929463
	31	30	27	637.94115	4.7746371
	29.8	22	23	397.60875	6.684492
	30	22	28	490.875	6.3661828
	27.6	19	24	363.05115	4.456328
	29.5	15	17	201.0624	4.456328
	30	26	27	551.54715	6.3661828
	32	23	27	490.875	6.3661828
	29	25	22	433.73715	6.0478737
	26	17	19	254.4696	6.684492
	25	23	20	363.05115	6.0478737
	29	17	19	254.4696	6.684492
	28	20	21	330.06435	6.3661828
	32	30	27	637.94115	5.0929463
	26.4	23	24	433.73715	5.7295646
	24	20	21	330.06435	5.4112554
	29	19	17	254.4696	4.456328
	30	25	22	433.73715	5.0929463
	24	0	0	0	4.456328
	27	8	12	78.54	5.7295646
	25	14	16	176.715	5.0929463
	32	13	14	143.13915	5.0929463
	25.5	18	20	283.5294	4.7746371
	36	27	28	593.95875	4.1380188
	31	24	23	433.73715	6.0478737

	35	28	29	637.94115	5.0929463
	31.5	27	26	551.54715	6.3661828
	29	25	23	452.3904	6.3661828
	28	17	14	188.69235	6.684492
	31	28	26	572.5566	5.4112554
Promedio	28.02	21.1166667	21.1166667	385.52668	5.8781088

Junio

Altura 8cm)	Cobertura 1 (cm)	Cobertura 2 (cm)	Cobertura ² (cm ²)	Diámetro (mm)
34	37	26	779.31315	6.3661828
23	11	12	103.86915	3.5014006
27	19	17	254.4696	5.7295646
43	36	29.5	842.3905875	8.2760377
29	34	20	572.5566	6.3661828
28	30	26	615.7536	7.0028011
32	34	34	907.9224	6.0478737
33	36	22	660.5214	5.0929463
32	18	25	363.05115	5.4112554
20	17.1	17.1	229.658814	4.456328
41	40	36	1134.1176	5.7295646
19	12	11	103.86915	4.456328
27	44	30	1075.2126	11.14082
32	27	22	471.43635	10.8225108
29	37	22	683.49435	7.6394194
37	19	25.5	388.8220875	7.9577285
36	46	31	1164.15915	8.2760377
18	16	17	213.82515	4.456328
23	19.4	24	369.837006	3.8197097
24	33	27	706.86	4.456328
33	49	37	1452.2046	8.5943468
30	21	23	380.1336	6.3661828
25	15	10	122.71875	4.7746371
25	24	16	314.16	5.0929463
33	23.5	26	481.1065875	6.3661828
35	37	23	706.86	7.3211103
24	16.5	29.5	415.4766	5.0929463
35	30	23	551.54715	5.0929463
41	42	24	855.3006	4.7746371

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

	35	21.8	18	311.026254	5.4112554
	39	34	31	829.57875	4.1380188
	25	19	18	268.80315	3.8197097
	30	54	44	1885.7454	6.684492
	28	48	38	1452.2046	6.684492
	29	37	20	637.94115	5.7295646
	21	21	17	283.5294	4.456328
	20	36	26	754.7694	6.684492
	29	23	19	346.3614	7.9577285
	27	33	29	754.7694	4.456328
	37	34	40	1075.2126	7.6394194
	22	30	21	510.70635	3.1830914
	27	21	24	397.60875	7.0028011
	37	30	33	779.31315	7.3211103
	37	50	30	1256.64	7.3211103
	20	6	14	78.54	7.9577285
	23	14	15	165.13035	5.0929463
	12	13	13	132.7326	4.7746371
	31	19	21	314.16	3.1830914
	41	32	26	660.5214	3.1830914
	40	31	29	706.86	4.456328
	49	30	36	855.3006	3.1830914
	41	29.5	27	626.7982875	6.684492
	40	30	31	730.61835	5.4112554
	42	27	25	530.9304	5.7295646
	45	22.5	19	338.1637875	7.3211103
	32	33	34	881.41515	5.0929463
	47	35	30	829.57875	4.456328
	35	42	36	1194.5934	5.7295646
	30	40	33	1046.34915	6.684492
	34.7	41	39	1256.64	6.3661828
Promedio	31.22833333	29.33833333	25.36	646.886496	5.9046346

Julio

Altura (cm)	Cobertura 1 (cm)	Cobertura 2 (cm)	Cobertura ² (cm ²)	Diámetro (mm)
36	40	25	829.57875	6.684492
25	10	17	143.13915	3.5014006
27	18	19	268.80315	5.7295646
45	34	20	572.5566	8.5943468
31	39	19	660.5214	6.684492
28	33	21	572.5566	7.0028011
33	35	27	754.7694	6.3661828
33	38	18	615.7536	5.0929463
34	19	18	268.80315	5.4112554
19	19	19	283.5294	5.4112554
44	32	32	804.2496	6.0478737
22	18	18	254.4696	4.456328
27	56	22	1194.5934	8.912656
35	36	16	530.9304	10.1858925
31	17	16	213.82515	6.684492
40	42	23	829.57875	7.6394194
38	24	26	490.875	8.5943468
22	34	19	551.54715	4.456328
31	39	32	989.80035	5.4112554
26	37	26	779.31315	4.7746371
45	50	25	1104.46875	8.912656
39	27	18	397.60875	7.0028011
28	18	16	226.9806	5.0929463
27	28	13	330.06435	5.7295646
41	33	20	551.54715	6.684492
37	26	20	415.4766	7.3211103
27	19	18	268.80315	5.4112554
38	24	20	380.1336	5.7295646
40	29	21	490.875	5.7295646
37	20	14	226.9806	5.4112554
41	33	27	706.86	4.1380188
30	17	16	213.82515	4.1380188
31	45	36	1288.25235	7.0028011
59	34	32	855.3006	7.0028011
33	35	21	615.7536	5.7295646
27	21	19	314.16	4.7746371
32	26	23	471.43635	7.0028011
27	12	20	201.0624	8.2760377
35	18	25	363.05115	5.0929463

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

	49	24	40	804.2496	7.9577285
	28	16	32	452.3904	3.5014006
	29	14	27	330.06435	7.6394194
	47	14	23	268.80315	7.3211103
	46	32	28	706.86	8.2760377
	21	19	17	254.4696	7.6394194
	37	16	10	132.7326	8.912656
	19	16	14	176.715	5.0929463
	36	23	16	298.64835	3.5014006
	44	32	26	660.5214	4.1380188
	70	21	23	380.1336	4.7746371
	54	32	29	730.61835	5.4112554
	43	45	35	1256.64	7.3211103
	41	21	24	397.60875	5.7295646
	42	16	20	254.4696	6.684492
	50	20	23	363.05115	7.6394194
	40	34	28	754.7694	5.4112554
	50	37	24	730.61835	5.7295646
	60	36	30	855.3006	6.0478737
	50	21	23	380.1336	6.684492
	43	32	30	754.7694	5.7295646
Promedio	36.6666667	27.6	22.65	532.923353	6.2494695

Agosto

	Altura (cm)	Cobertura 1 (cm)	Cobertura 2 (cm)	Cobertura ² (cm ²)	Diámetro (mm)
	36	28	27	593.95875	6.684492
	28	17	15	201.0624	3.5014006
	31	21	22	363.05115	5.7295646
	45	30	25	593.95875	8.5943468
	31	26	23	471.43635	6.684492
	28	26	21	433.73715	7.0028011
	33	28	27	593.95875	6.3661828
	33	29	19	452.3904	5.0929463
	34	19	18	268.80315	5.4112554
	23	19	15	226.9806	5.4112554
	44	30	28	660.5214	6.0478737
	22	17	21	283.5294	4.456328
	27	22	21	363.05115	8.912656

	35	25	23	452.3904	10.1858925
	31	17	16	213.82515	6.684492
	40	30	28	660.5214	7.6394194
	38	25	26	510.70635	8.5943468
	22	19	16	240.52875	4.456328
	31	26	23	471.43635	5.4112554
	26	24	23	433.73715	4.7746371
	45	34	27	730.61835	8.912656
	39	27	18	397.60875	7.0028011
	28	18	16	226.9806	5.0929463
	27	23	13	254.4696	5.7295646
	41	30	24	572.5566	6.684492
	37	34	26	706.86	7.3211103
	27	19	18	268.80315	5.4112554
	38	20	17	268.80315	5.7295646
	40	32	28	706.86	5.7295646
	37	31	28	683.49435	5.4112554
	41	26	27	551.54715	4.1380188
	30	23	24	433.73715	4.1380188
	31	25	21	415.4766	7.0028011
	59	34	32	855.3006	7.0028011
	33	23	25	452.3904	5.7295646
	27	24	19	363.05115	4.7746371
	32	26	23	471.43635	7.0028011
	27	19	24	363.05115	8.2760377
	35	27	25	530.9304	5.0929463
	49	28	34	754.7694	7.9577285
	28	19	25	380.1336	3.5014006
	29	21	22	363.05115	7.6394194
	47	30	29	683.49435	7.3211103
	46	32	28	706.86	8.2760377
	21	19	15	226.9806	7.6394194
	37	16	19	240.52875	8.912656
	23	0	0	0	5.0929463
	36	23	28	510.70635	3.5014006
	44	33	25	660.5214	4.1380188
	70	34	39	1046.34915	4.7746371
	54	32	29	730.61835	5.4112554
	43	45	35	1256.64	7.3211103
	41	21	24	397.60875	5.7295646
	42	16	20	254.4696	6.684492

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

	50	34	23	637.94115	7.6394194
	43	32	29	730.61835	5.4112554
	54	37	25	754.7694	5.7295646
	60	36	30	855.3006	6.0478737
	51	33	28	730.61835	6.684492
	43	32	30	754.7694	5.7295646
Promedio	37.05	25.7666667	23.48333333	507.005153	6.2494695

Septiembre

	Altura (cm)	Cobertura 1 (cm)	Cobertura 2 (cm)	Cobertura ² (cm ²)	Diámetro (mm)
	36	31	18	471.43635	6.3661828
	34	21	13	226.9806	5.4112554
	66	31	38	934.82235	5.7295646
	33	18	12	176.715	8.2760377
	32	30	28	660.5214	6.3661828
	35	23	23	415.4766	7.0028011
	29	39	27	855.3006	6.0478737
	33	23	31	572.5566	5.4112554
	35	29	23	530.9304	5.4112554
	39	26	23	471.43635	4.456328
	40	44	32	1134.1176	5.7295646
	28	18	16	226.9806	5.7295646
	29	24	20	380.1336	9.5492743
	36	24	26	490.875	10.8225108
	28	21	12	213.82515	7.6394194
	32	44	32	1134.1176	7.9577285
	37	31	24	593.95875	8.2760377
	45	23	25	452.3904	4.456328
	29	18	30	452.3904	3.8197097
	33	40	22	754.7694	4.456328
	31	22	25	433.73715	8.5943468
	30	16	36	530.9304	6.684492
	58	25	29	572.5566	4.7746371
	42	35	29	804.2496	6.0478737
	28	36	30	855.3006	6.3661828
	29	32	26	660.5214	7.3211103
	38	22	27	471.43635	5.7295646
	39	28	20	452.3904	5.4112554

	56	48	18	855.3006	4.7746371
	29	18	17	240.52875	5.4112554
	45	59	32	1625.97435	4.1380188
	37	30	29	683.49435	4.7746371
	40	38	30	907.9224	6.684492
	31	15	20	240.52875	6.684492
	40	30	30	706.86	5.7295646
	34	20	22	346.3614	7.3211103
	50	27	28	593.95875	6.684492
	55	40	29	934.82235	7.9577285
	35	30	20	490.875	4.456328
	40	29	44	1046.34915	7.6394194
	40	26	42	907.9224	5.7295646
	44	25	36	730.61835	7.0028011
	32	17	19	254.4696	7.3211103
	34	57	29	1452.2046	7.3211103
	32	29	34	779.31315	6.0478737
	29	22	31	551.54715	5.7295646
	27	13	13	132.7326	6.0478737
	29	27	27	572.5566	7.3211103
	27	16	14	176.715	4.7746371
	29	17	14	188.69235	6.3661828
	37	10	18	153.9384	4.456328
	39	11	8	70.88235	6.3661828
	47	30	38	907.9224	6.3661828
	34	34	37	989.80035	5.7295646
	32	18	30	452.3904	6.684492
	45	33	31	804.2496	6.3661828
	62	40	32	1017.8784	7.3211103
	31	25	29	572.5566	6.0478737
	24	27	27	572.5566	5.7295646
	45	25	25	490.875	6.0478737
	69	40	26	855.3006	6.3661828
	40	19	18	268.80315	6.3661828
	35	32	35	881.41515	6.0478737
Promedio	37.4444444	27.7936508	25.8571429	609.351967	6.2802899

Octubre

Características físicoquímicas y biológicas de biosólidos: potenciales mejoradores de sustratos forestales

Altura (cm)	Cobertura 1 (cm)	Cobertura 2 (cm)	Cobertura ² (cm ²)	Diámetro (mm)
38	28	15	363.05115	6.684492
27	15	19	226.9806	5.7295646
55	24	23	433.73715	6.0478737
45	26	27	551.54715	8.5943468
43	31	32	779.31315	6.684492
27	28	34	754.7694	7.3211103
28	43	36	1225.42035	6.3661828
35	27	31	660.5214	5.7295646
30	28	23	510.70635	5.7295646
45	28	26	572.5566	4.7746371
45	35	32	881.41515	6.0478737
28	29	23	530.9304	5.7295646
27	25	25	490.875	9.8675834
42	28	32	706.86	11.14082
29	30	26	615.7536	7.9577285
38	27	29	615.7536	8.2760377
44	32	33	829.57875	8.5943468
49	28	25	551.54715	5.4112554
50	25	28	551.54715	4.1380188
52	32	27	683.49435	4.456328
43	25	28	551.54715	8.912656
32	34	30	804.2496	7.0028011
57	35	30	829.57875	8.2760377
45	29	29	660.5214	6.3661828
28	33	36	934.82235	6.684492
29	36	29	829.57875	7.6394194
40	32	33	829.57875	6.0478737
31	20	34	572.5566	8.912656
58	36	27	779.31315	4.7746371
29	23	20	363.05115	5.4112554
50	30	28	660.5214	4.1380188
33	28	29	637.94115	4.7746371
40	38	34	1017.8784	6.684492
28	18	20	283.5294	6.684492
45	29	34	779.31315	5.7295646
25	27	25	530.9304	6.3661828
53	32	26	660.5214	6.684492
48	27	35	754.7694	7.9577285
39	32	28	706.86	4.456328

	42	35	39	1075.2126	8.5943468
	50	35	48	1352.65515	3.1830914
	49	30	38	907.9224	7.0028011
	32	29	25	572.5566	7.3211103
	35	32	30	754.7694	7.3211103
	27	26	28	572.5566	5.0929463
	30	28	27	593.95875	5.7295646
	29	20	19	298.64835	5.4112554
	36	18	23	330.06435	6.3661828
	28	16	23	298.64835	4.7746371
	25	15	18	213.82515	5.0929463
	27	19	29	452.3904	4.456328
	26	18	23	330.06435	6.3661828
	28	32	30	754.7694	6.3661828
	36	26	28	572.5566	5.7295646
	35	24	27	510.70635	6.0478737
	45	38	32	962.115	6.3661828
	59	37	38	1104.46875	7.3211103
	45	36	25	730.61835	5.7295646
	38	16	18	226.9806	5.7295646
	40	34	28	754.7694	4.7746371
	70	39	45	1385.4456	6.3661828
	45	23	26	471.43635	6.3661828
	40	23	16	298.64835	6.0478737
Promedio	38.8412698	28.2857143	28.3174603	654.749333	6.3863929