

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Crecimiento de una Plantación de *Pinus cembroides* Zucc. Utilizando Sustrato
Mejorado con Biosólidos en Saltillo, Coahuila

Por:

CRISTIAN DONEY LÓPEZ GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento de una Plantación de *Pinus cembroides* Zucc. Utilizando Sustrato
Mejorado con Biosólidos en Saltillo, Coahuila

Por:

CRISTIAN DONEY LÓPEZ GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

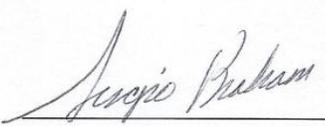
Aprobada por el Comité de Asesoría



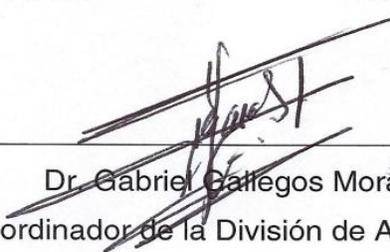
MC. José Armando Nájera Castro
Asesor Principal



MC. Jorge David Flores Flores
Coasesor



Ing Sergio Braham Sabag
Coasesor



Dr. Gabriel Callegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2016

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido culminar una meta más en mi vida.

A mis padres **Bellaner López López** y **Rolendi González Mateo**, por su amor y por una vida de esfuerzos y sacrificios los cuales han permitido estar donde estoy, además por inculcarme valores y por todos esos consejos los cuales me llevaron por el camino correcto en la vida, este logro también es suyo.

A mi hermano **Bellaner López González** por su apoyo y confianza en los momentos difíciles, por siempre levantarme el ánimo y sobre todo además de ser mi hermano eres mi amigo.

A mi esposa **Yessica Enríquez Alvarado** por su amor incondicional, por festejar mis triunfos y por estar ahí en los momentos difíciles, sobre todo por no soltar mi mano para superar cualquier problema que se nos presenta.

A mi hijo **Iker Dionei López Enríquez** por ser ese motor que me impulsa día a día a superarme como persona y profesionalmente, gracias a ti estamos aprendiendo a ser padres, lo cual lo haremos con responsabilidad e incansablemente para que seas una buena persona.

A mis **abuelos Cilinia, Antonio, Ildegardo, Neri** por todo ese amor y por sus sabios consejos.

A **MIS TÍOS**: leo, Maricarmen, Margarito, emmy, Javier, Adulfo, Maela, Marbe,. Espiridion, Enrique, Erlain, Nemias, Yuri; Flori, Daybelis, Laura, Deyfi, por todo su apoyo moral y económico en todo este tiempo.

A MIS PRIMOS Romairo, Darli, iraymi, Javi, Enrique, Hania, Toni, Brizedia, Neri, Erlain, Monse, Fani, Ashlin, Heymi, Allison, Beiry, Yordi, Yeison, por siempre apoyarme y sacarme una sonrisa.

AGRADECIMIENTOS

A mi “**Alma Terra Mater**” por abrirme las puertas para ser parte de tu gran historia así también por brindarme el espacio y las facilidades para desarrollarme profesionalmente.

Al **M.C. José Armando Nájera Castro** por brindarme sus conocimientos dentro y fuera del aula como pocos, así como su inmenso apoyo y paciencia para culminar este trabajo.

Al **M.C. Jorge David Flores Flores** por la aportación de su experiencia para realizar correcciones en la redacción de la presente investigación, así mismo por sus consejos.

Al **Ing. Sergio Braham Sabag** por compartir la experiencia y conocimientos para realizar correcciones en la redacción de la presente investigación.

A MIS AMIGOS Gustavo Mérida, Jonathan Trujillo,.Eliud Escobedo, Limber de León, Manuel de león, Ady Monzón, Alex Toledo, Pedro Mérida, Rigo Vázquez, Adilene Bonilla, Anahi Martínez por brindarme su apoyo y consejos en el transcurso de la carrera

A LA FAMILIA ENRÍQUEZ ALVARADO, Sr Juan Antonio, Sra. rosa, Tony, Rosi, Fabi, por siempre brindarme su apoyo.

Índice de contenido	Pagina
Índice de tablas	iv
Índice de figuras	v
RESUMEN	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Caracterización de <i>Pinus cembroides</i> Zucc.	4
2.1.1 Taxonomía.....	4
2.1.2 Características de la especie.....	4
2.1.3 Distribución	5
2.1.4 importancia de la especie.....	5
2.1.5 Factores de deterioro del <i>Pinus cembroides</i> Zucc.....	6
2.2 Plantaciones forestales	6
2.2.1 Diseños de plantaciones	7
2.3 Fertilizantes	8

2.3.1 Definición de Fertilizante	8
2.3.2 Clasificación de los fertilizantes	8
2.4 Biosólidos.....	9
2.4.1 Generalidades de los biosólidos	9
2.4.2 Características de los lodos residuales.....	10
2.4.3 Disposición del lodo	11
2.4.4 Legislación sobre biosólidos	11
2.4.5 Aplicación de los lodos al suelo	11
2.5. Trabajos afines.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1 Descripción del área de estudio	14
3.1.1 Localización geográfica	14
3.2 Características físicas y biológicas del área de estudio	15
Clima.....	15
Hidrología.....	15
Geología.....	15
Edafología.....	15
Vegetación y uso del suelo:	16
3.2 Establecimiento de la plantación.....	17
3.2.1 Preparación de la planta.....	17

3.2.3 Preparación del terreno	17
3.2.4 Plantación	17
3.4 Descripción de los tratamientos	18
3.5 Labores culturales	19
3.6 Variables evaluadas	20
3.7 Diseño experimental.....	21
3.8 Procesamiento de datos de campo	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1 Supervivencia	22
4.2 Crecimiento en altura	24
4.3 Crecimiento en diámetro basal	28
4.4 Crecimiento en diámetro de copa	32
V. CONCLUSIONES	36
VI. RECOMENDACIONES.....	37
VII. LITERATURA CITADA.....	38
VIII. APÉNDICE	42

Índice de tablas

Página

Tabla 1. Descripción de la dosis de cada tratamiento.	19
Tabla 2. Descripción de variables evaluadas.	20
Tabla 3. Porcentaje de sobrevivencia por tratamiento.	23
Tabla 4. Medias de crecimiento en altura para el primer periodo de crecimiento..	25
Tabla 5. Medias de crecimiento en altura en el segundo período de crecimiento.	26
Tabla 6. Medias de crecimiento total en altura.	26
Tabla 7. Crecimiento promedio en altura para cada período y total.	26
Tabla 8. Medias de crecimiento en diámetro basal en el primer período.	29
Tabla 9. Medias de crecimiento en diámetro basal en segundo período.	30
Tabla 10. Medias de crecimiento en diámetro basal en el período total.....	30
Tabla 11. Medias de crecimiento porcentual en diámetro basal.....	31
Tabla 12. Medias de crecimiento en diámetro de copa.	33
Tabla 13. Medias de crecimiento porcentual en diámetro de copa.	34

Índice de figuras

	Página
Figura 1 ubicación del área de estudio.....	14
Figura 2. Trazo de la parcela experimental.	18
Figura 3. Mezcla de biosólidos y tierra.	19
Figura 4. Medición de variables.....	20
Figura 5. Supervivencia final para cada tratamiento.	23
Figura 6. Comparación de supervivencia para cada tratamiento en cada evaluación.	24
Figura 7. Crecimiento final para cada tratamiento.....	27
Figura 8. Alturas promedio para cada tratamiento.	28
Figura 9. Crecimiento en diámetro basal por periodo y total.	31
Figura 10. Diámetro basal promedio en cada periodo.....	32
Figura 11. Medias de crecimiento en diámetro de copa.....	34
Figura 12. Diámetro de copa promedio en cada tratamiento y cada periodo.	35

RESUMEN

El presente trabajo se realizó sobre unaplantación de *Pinus cembroides* sujeta a la aplicación de lodos orgánicos o biosólidos en el Ejido San Juan de la Vaquería, municipio, de Saltillo Coahuilala plantación se realizó 22 de junio del 2015,y en esta fecha se realizo la primera evaluación, 29 de enero la segunda evaluación y 13 de mayo de 2016la tercera evaluación, se trabajó bajo un diseño,completamente al azar se realizaron tres tratamientos con tres repeticiones : T1(25% biosólidos y 75%suelo), T2 (50 % de biosólidos y 50% de suelo) y T3 (testigo). Los parámetros evaluados fueron: sobrevivencia, crecimiento en altura, crecimiento en diámetro basal y para diámetro de copa

Se obtuvo un porcentaje de sobrevivencia, en total de 74.07%, siendo el T2 (50% biosólidos 50% suelo) el de mejor resultado con 88.88%de sobrevivencia, así también para diámetro basal con (1.14 mm), en altura sobresalió el T1 con (8.34 cm) también para diámetro de copa con (6.58 cm.), Mientras que el T3 (testigo) quedo por debajo en todas las variables evaluadas.

Correo electronico; Cristian Dionney Lopez Gonzalez, leo_batipibe7@hotmail.com

Palabras clave: Plantación, *Pinus cembroides*, biosólidos

I. INTRODUCCIÓN

Todas las plantas tratadoras de aguas residuales, en el proceso que le dan al agua, generan un sub-producto al cuales se le conoce como lodo o biosólidos; este es un lodo de color oscuro, que contiene una alta cantidad de materia orgánica y nutrientes, el cual puede ser utilizado como abono en suelos deteriorados o simplemente como mejoradores del suelo (Jurado, 2004).

En México la mayor parte de los lodos generados son descargados a rellenos sanitarios o bien son confinados, sin aprovechar ninguna de esas características de mejoradores de suelo o abono, la causa de esta problemática se debe a la falta de recursos para llevar a cabo el tratamiento de los lodos, aunque en la actualidad ya se cuenta con la norma NOM-004-SEMARNAT-2002, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en lodos para su proyección y disposición (SEMARNAT, 2002).

Según Flores y Flores(2005), las características de los lodos pueden agruparse en tres categorías: físicas, químicas y biológicas. La característica física más importantes es el contenido de sólidos y materia orgánica, mientras que el contenido de sólidos afecta el método de aplicación y crecimiento de las plantas, y el contenido de materia orgánica puede llegar a afectar la disponibilidad y acumulación de nutrientes, mientras que las características químicas afectan al crecimiento de las plantas y las más importantes son el pH y las sales solubles. Las características biológicas son los patógenos encontrados en los biosólidos, aunque existen poblaciones microbianas que ayudan a la descomposición de la materia orgánica.

Para facilitar su manejo y evitar posibles problemas con el olor, con los agentes patógenos y el contenido de compuestos tóxicos, los lodos deben ser

tratados. Para realizar el tratamiento de los lodos existen diversos métodos como la estabilización alcalina, la digestión anaeróbica y aeróbica o el composteo (Castro y Ruiz, 2006).

La aplicación de los biosólidos al suelo se realiza con el objetivo de conseguir un mejoramiento en los nutrientes del suelo, ya que cuentan con altas concentraciones de elementos nutritivos como: nitrógeno, fósforo y materia orgánica; esto puede solucionar dos problemáticas, por una parte se encuentra una buena utilidad para los lodos residuales y por otra, se puede obtener un buen abono a un precio muy bajo, aunque cabe mencionar que para el aprovechamiento de los antes mencionados biosólidos, deben ser declarados no peligrosos para el ambiente con base en el análisis CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infeccioso) de la Ley general de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) (Jurado, 2004).

Existen diversas formas de aplicar los biosólidos al terreno, una de ellas puede ser de forma líquida, en la cual no es necesario realizar procesos de deshidratación, y el transporte del líquido puede realizarse por medio de bombeo. Las concentraciones comunes de esta aplicación van de 1-10%, otra forma de los biosólidos, es el lodo deshidratado el cual puede aplicarse con equipo similar al usado para la aplicación del estiércol de animal (Martínez, 1998).

La aplicación de lodos a terrenos agrícolas que estén inundados, congelados o cubiertos por nieve es restringida, ya que la humedad del suelo es un factor de suma importancia que afecta el período de la aplicación, puesto que la circulación sobre suelos húmedos durante o inmediatamente de precipitaciones pesadas pueden resultar en una compactación en el suelo, haciendo difícil la producción del cultivo, además de reducir su producción (Martínez, 1998).

En nuestro país, los piñoneros se localizan en zonas áridas y semiáridas, principalmente del norte del país, donde tienen una importancia ecológica estratégica en el mantenimiento del régimen hidrológico de las cuencas y la sobrevivencia de numerosas especies de fauna (Caballero y Ávila, 1989).

Por lo anterior se planteó realizar el presente trabajo para determinar el efecto de la aplicación de biosólidos al suelo, sobre el crecimiento y la sobrevivencia en una plantación de *Pinus cembroides*.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de los biosólidos sobre el crecimiento de las plantas utilizadas en el estudio.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de los biosólidos sobre el crecimiento en diámetro basal, altura y sobrevivencia en la plantación de *Pinus cembroides*
- Comparar dos dosis de biosólidos sobre el crecimiento de las plantas

Hipótesis

HO: No existen diferencias en el crecimiento, ni en la sobrevivencia con la utilización de sustrato mejorado con biosólidos en una plantación de *Pinus cembroides*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Caracterización de *Pinus cembroides* Zucc.

2.1.1 Taxonomía

Clasificación taxonómica (Martínez, 1948)

Reino: Vegetal

División: Phynophyta

Subdivisión: Gimnospermas

Clase: Coniferópsida

Orden: Coniferales

Familia: Pinaceae

Género: *Pinus*

Especie: *cembroides*Zucc.

2.1.2 Características de la especie

Generalmente se le conoce como pino piñonero, es un árbol de 5 a 15 metros, el tronco suele ser corto y el ramaje ralo, sobre todo en terrenos muy secos, es de copa redondeada o piramidal, la corteza es agrietada y dividida en placas cortas e irregulares, las hojas se encuentran en grupos de tres pero varios fascículos tienen dos y a veces tres y en ocasiones hasta cinco y miden de 2.5 a 7 cm. Los conos son globosos, de cinco a seis cm de diámetro y se presentan aislados o en grupos hasta de cinco, son caedizos. Las semillas son sin alas y de una forma subcilíndricas de unos 10 mm de largo, sonde color oscuro, y comestibles, llamadas comúnmentepiñones (Martínez,1948).

2.1.3 Distribución

En México es la especie de más amplia distribución, este grupo de piñoneros, ya que se extiende por casi todo el norte y centro de la República Mexicana, formando bosques más o menos definidos y caracterizados por el tamaño reducido de las hojas (Rzendowski, 1978). Su área de vegetación en la sierra madre Occidental se encuentra en los estados de Sonora, Chihuahua, Durango y Aguascalientes. En la sierra madre oriental su distribución se ubica en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas e Hidalgo. También se localiza en los Estados de Baja California y Baja California Sur. En el altiplano mexicano se localiza en los estados de Zacatecas y San Luis Potosí. También se localiza en Eje Neo volcánico Transversal en los estados de Puebla, Tlaxcala, Querétaro y Jalisco (Martínez, 1948).

2.1.4 importancia de la especie

El *Pinus cembroides* Zucc, tiene gran importancia debido a que es un recurso del cual el hombre obtiene muchos beneficios, como son construcciones rústicas, combustible, postes para cercas, artesanías, así también la recolección de semillas como fuente de alimento. Los bosques de piñoneros en el sur de Coahuila y áreas aledañas son un elemento ecológico de suma importancia como hábitat de la fauna silvestre e influye marcadamente en el microclima que caracteriza a esta región, considerando además que el árbol tiene la facultad de crecer y desarrollarse en diferentes tipos de suelos y condiciones ecológicas que para otras especies resultan sumamente difíciles de soportar y sobrevivir (Passini, 1985).

El *Pinus cembroides* Zucc, posee características muy ventajosas en cuanto a supervivencia y características fenotípicas que lo hacen deseable para llevar a cabo diferentes labores de reforestación en tierras áridas y semiáridas. En las ciudades se elige como árbol ornamental y como árbol de navidad (Passini, 1985).

2.1.5 Factores de deterioro del *Pinus cembroides* Zucc.

Los recursos forestales son afectados por una serie de factores que interfieren en el deterioro parcial o total, de los cuales pueden mencionarse (Bocanegra, 1992) los siguientes:

- Desmonte de suelos forestales para uso agrícola
- Los incendios forestales
- Explotación irracional
- Incidencia de plagas y enfermedades

Los factores de mayor importancia son las plagas y enfermedades, las cuales atacan los conos, semillas; también algunos atacan los brotes y yemas de crecimiento, teniendo así un gran impacto directamente en la regeneración natural, crecimiento y desarrollo del arbolado.

2.2 plantaciones forestales

Se define como un rodal o cultivo forestal creado artificialmente, ya sea por siembra o plantación. Con esto entendemos que el hombre interviene deliberadamente como un acto de conciencia para crear esa plantación (Capo, 2001).

En nuestro país al igual que en muchos otros, las plantaciones forestales son una necesidad con diversos propósitos, las cuales involucran una serie de acontecimientos y esto conlleva desde la definición de la plantación, precisión de

objetivos, conocimiento ecológico del área así como la elección correcta de la especie (Madrigal, 1978).

Es importante mencionar que en la actualidad muchas industrias y organizaciones ligadas a la actividad forestal, están estableciendo o planean establecer plantaciones para satisfacer parte de sus necesidades con respecto a la materia prima (Martínez, 2006).

Para que la plantación sea exitosa depende de diferentes factores, si la especie es compatible con el área elegida para realizar la plantación, de la preparación del terreno, así como los cuidados que se realicen después de la plantación (Navarro y Martínez, 1996).

2.2.1 diseños de plantaciones

Es importante considerar que la distancia entre planta y planta dependerá del espaciamiento que la especie demande al ser adulta, por eso se debe adecuar el diseño de plantación y los más comunes son los siguientes:

Marco real

En este diseño las plantas se colocan formando cuadros o rectángulos. Se recomienda utilizarlo en terrenos planos o con pendientes menores a 20 por ciento. En el caso de reforestaciones con fines productivos (plantaciones forestales comerciales), se recomienda utilizar este diseño por el manejo que se le puede dar a la plantación (deshierbes, riegos, fertilización, otros) (CONAFOR, 2010)

Tres bolillo

En este diseño las plantas se colocan formando triángulo equiláteros (lados iguales). La distancia entre planta y planta dependerá del espaciamiento que la

especie demande al ser adulta. Este arreglo se deberá utilizar en terrenos planos. Las líneas de plantación deberán de seguir las curvas de nivel, con este diseño se logra minimizar el arrastre del suelo y a su vez aprovechar los escurrimientos(CONAFOR, 2010)

2.3 Fertilizantes

2.3.1 Definición de Fertilizante

Para que un material que contiene alguno o algunos de los elementos esenciales sea capaz de proporcionarlos a las planta,a través de las raíces o del follaje y recibir así el calificativo de fertilizante, se requiere que tales elementos se encuentren en una forma química susceptible de ser absorbida, es decir, en forma disponible(Salgado y Núñez, 2010).

2.3.2 Clasificación de los fertilizantes

Existen dos grandes grupos de fertilizantes: los orgánicos y los inorgánicos; entre los orgánicos tenemos los que son de origen animal, como estiércol, el cual ha sido empleado desde épocas remotas, y los de origen vegetal, como la composta y las leguminosas.

Mientras que los fertilizantes químicos son sustancia que contiene uno o más de los nutrientes en forma concentrada y fácilmente solubles en agua, esto para lograr un óptimo crecimiento de las plantas(Salgado y Núñez, 2010).

2.4 Biosólidos

2.4.1 Generalidades de los biosólidos

Todas las plantas tratadoras de aguas residuales en el proceso que le dan al agua generan un sub-producto al cuales se le conoce como lodo o biosólidos, este como lo mencionamos anteriormente es un lodo de color oscuro, que contiene una alta cantidad de materia orgánica y nutrientes, el cual puede ser utilizado como abono en suelos deteriorados o simplemente como mejoradores del suelo (Jurado, 2004).

Santiago (2000), menciona que la calidad del lodo depende, fundamentalmente, de cuatro grupos de contaminantes principales:

Metales:

Principalmente zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cromo (Cr). Su potencial de acumulación en los tejidos humanos suscita preocupaciones, tanto medioambientales como sanitarias.

Nutrientes importantes en las plantas:

Nitrógeno y fósforo. Su peligrosidad radica en su potencial de eutrofización para las aguas subterráneas y superficiales. Sin embargo, se pueden considerar como fertilizantes valiosos y el principal valor para la agricultura, de los lodos industriales, reside en su alto contenido en materia orgánica y por lo tanto de elementos esenciales para las plantas.

Contaminantes orgánicos:

Plaguicidas, disolventes industriales, colorantes, plastificantes, agentes tensos activos y muchas otras moléculas orgánicas complejas, generalmente con poca solubilidad en agua y elevada capacidad de absorción, tienden a acumularse en los lodos. Todos ellos son motivo de preocupación por sus efectos potenciales

sobre el medio ambiente y, en particular, sobre la salud humana. Una característica específica de éstos, es su potencial de biodegradación que puede ocurrir después de esparcir los lodos en la tierra o durante el composteo.

Agentes patógeno:

Los agentes patógenos que se han encontrado en los lodos son las bacterias como la salmonella, los virus, sobre todo enterovirus, los protozoos, los trematodos, los cestodos y los nematodos. Como resultado, para que cualquier vertido de los lodos sea seguro se precisa la eliminación, o al menos una inactivación suficiente, de estos agentes patógenos.

La cantidad de lodos generados por un sistema de tratamiento es variable dependiendo de diversos parámetros, entre ellos si el sistema de tratamiento biológico involucra aeróbicos o anaeróbicos. La generación de sólidos finales en un proceso aeróbico puede llegar a ser el doble que en un proceso anaeróbico (Cortes, 2003).

2.4.2 Características de los lodos residuales

La composición de los lodos residuales depende de las características del influente del agua residual que entra a las plantas de tratamiento de aguas residuales y de los procesos de tratamiento utilizados, ya que entre más industrializada sea una ciudad, tendrá mayores posibilidades de contener metales pesados en mayor proporción, y esto se convierte en un grave problema para los suelos agrícolas o donde se requiera utilizar los lodos.

Los tratamientos para aguas industriales, los programas de prevención de contaminantes y el proceso de tratamiento avanzado que se aplican a las aguas residuales y lodos, con el objetivo de reducir los niveles de contaminantes del

lodo final que se obtienen de las plantas de tratamiento y su composición varía en cada planta de tratamiento (Pissani,2002).

2.4.3 Disposición del lodo

Los métodos de disposición del lodo más usados en la actualidad son: confinamiento en relleno sanitario, incineración y aplicación al suelo, éste último ha ido incrementando interés en los últimos años por su accesibilidad y factibilidad en comparación con los otros métodos de disposición (Barrios, 2009).

2.4.4 Legislación sobre biosólidos

En lo referente a la legislación, en el país actualmente se cuenta con la NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.- Lodos y biosólidos, la cual establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos o biosólidos, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

2.4.5 Aplicación de los lodos al suelo

El método de aplicación de lodo al suelo ofrece diferentes alternativas o prácticas de aplicación: 1) Aplicación del lodo a terrenos agrícolas; 2) Aplicación de lodo a terrenos forestales; 3) Recuperación de terrenos marginales y 4) Aplicación de lodo a sitios de contacto público, jardines, etc. Cada una de las prácticas tiene ventajas y desventajas en términos de la calidad y cantidad del lodo que puede utilizarse y de los requerimientos para el sitio de aplicación.

2.5. Trabajos afines

Se han realizado estudios en la planta del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en el cual las variables como: área foliar, altura de la planta, diámetro del tallo y peso seco por órganos y total de las plántulas, respondieron positivamente a la aplicación de biosólidos, en un período relativamente corto de apenas 15 días después de la germinación de las semillas (Cabrera y Rodríguez, 2008).

Uribe (2002), reportó que en la región agrícola de Delicias, Chihuahua, se observaron incrementos en rendimiento de forraje verde con la aplicación de biosólidos que variaron entre 11 y 18% en comparación al testigo fertilizado y 27 a 35% en comparación al testigo absoluto. Se concluyó, que en maíz forrajero la dosis más adecuada de biosólidos digeridos anaeróbicamente, desde el punto de vista agronómico y económico resultó ser $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de biosólidos en base seca.

Zamora (1999), realizó un trabajo adicionado lodos residuales de una planta de tratamiento urbano, en el cultivo de maíz, y menciona incrementos de un 35 por ciento en rendimiento con respecto a la fertilización química convencional, atribuyendo dichos resultados a los nutrimentos básicos de N, P, y K que contenían los lodos.

En el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el km 8 de la carretera Ojuelos-Lagos de Moreno, en el municipio de Ojuelos, Jalisco, se aplicaron biosólidos en forma superficial en parcelas de 1 m^2 , en un pastizal semiárido, en junio de 2002, en dosis de 0 (testigo) 15, 30, 45, 60, 75 y $90 \text{ hg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en base seca. Se midió la humedad volumétrica (HVS), durante el verano de 2002, y algunos nutrimentos del suelo, en agosto y noviembre de 2002 y julio de 2003. Se determinó la producción de forraje en 2002 y 2003. La HVS fue mayor con 45 a $90 \text{ hg} \cdot \text{ha}^{-1}$ que en el testigo en todas las fechas, excepto el 2 y el 13 de agosto. El valor más alto de HVS se observó el

19 de julio, con $30 \pm 2\%$ con 75 hg ha^{-1} y $18.7 \pm 1\%$ en el testigo. Los biosólidos no afectaron los contenidos de materia orgánica y potasio del suelo. Sin embargo, el pH del suelo disminuyó de 6.3 ± 0.1 , en el testigo, a 5.3 ± 0.02 , con 90 hg ha^{-1} , en noviembre 2002. Los tratamientos incrementaron la disponibilidad de N (de $7 \pm 1 \text{ mg kg}^{-1}$ en el testigo, hasta $169 \pm 15 \text{ mg kg}^{-1}$ con 90 hgha^{-1} , en agosto de 2002) y de P en el suelo (de 5 ± 0.6 en el testigo hasta $55 \pm 6 \text{ mg kg}^{-1}$ con 75 hg ha^{-1} , en agosto de 2002). La producción de forraje de zacates se incrementó hasta 550% con 60 hg ha^{-1} , en 2002, y hasta en 650% con 90 hg ha^{-1} , en 2003. Los biosólidos pueden utilizarse para incrementar los nutrientes del suelo y la producción forrajera de los pastizales semiáridos en México (Jurado, 2007).

En Jalisco, México se realizaron pruebas en una plantación de *Pinus douglasiana* durante catorce meses desde el establecimiento, usando diferentes cantidades de biosólidos, las cuales fueron 30 a 100 g/árbol, con lo que se encontró un porcentaje de sobrevivencia mayor de un 20.9%, y se registró un incremento en la altura del tallo y del diámetro de 17.8 y 15.5 %, respectivamente (Salcedo *et al.*, 2006).

Por otra parte Raúl 1993, en un estudio realizado en la producción de alfalfa en el campo experimental de NIFAP Chihuahua se encontró que con la aplicación de biosólidos, la producción de forraje seco se logró incrementar de un 17 a 31% en comparación a la fertilización química, la dosis de biosólidos fue de 13 t ha^{-1} en base seca, las concentraciones de metales pesados al suelo y en tejido de la planta estuvieron muy por debajo de las reportadas como críticas

Se ha demostrado en distintos experimentos que la aplicación aumenta el rendimiento en el cultivo y logra que el follaje se de de un color más verde aunque se ha comprobado que aumenta el pH en un 1% y se considera que el 30% de nitrógeno se mineralice en el primer año (Jurado, 2004).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Localización geográfica

La plantación sujeta a la aplicación de lodos orgánicos o biosólidos se estableció en el Ejido San Juan de la Vaquería, municipio de Saltillo, Coahuila, a una altitud de 1840 metros sobre el nivel del mar y se encuentra entre las coordenadas geográficas 25°15'11" latitud norte y 101°13'05" longitud oeste (Figura 1)

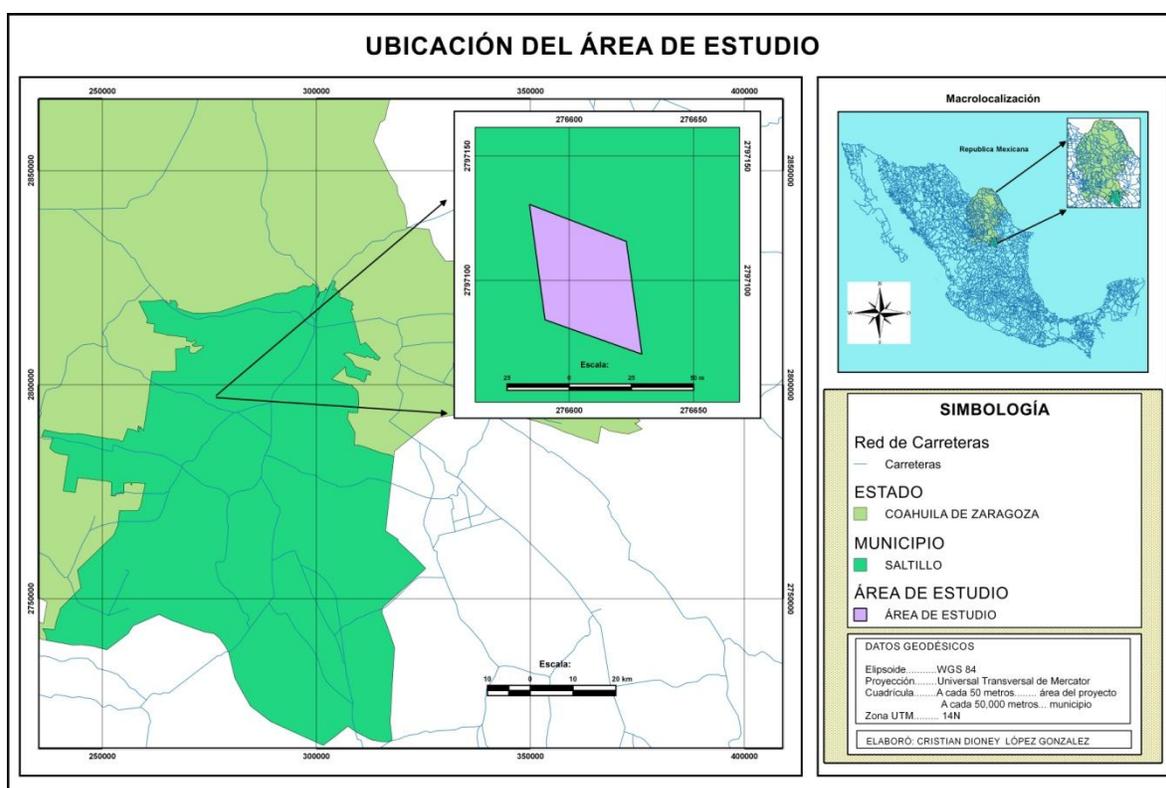


Figura 1 ubicación del área de estudio.

3.2 Características físicas y biológicas del área de estudio

Clima

El clima es de tipo (BS1 Kw) semiseco, con verano cálido y lluvias de verano. La temperatura media anual oscila entre 12 °C y 18 °C., con temperaturas extremas de -3 °C y 38 °C. Durante el período comprendido entre los meses de mayo a octubre, la precipitación total oscila entre los 325 y 400 mm (INEGI 1983).

Hidrología

El área de estudio se ubica en la Región Hidrológica 24 Bravo-Conchos, en la cuenca B"Rio Bravo San Juan, subcuenca "e" La Casita-El recreo. El patrón de drenaje de la microcuenca es de tipo dendrítico formado principalmente por escurrimientos efímeros de primer orden, es decir, que éstos se mantienen secos casi todo el año y presentan caudal solo después de un evento de precipitación (INEGI 1983).

Geología

El material geológico predominante en el área, data desde la era Mesozoica hasta el cuaternario. La era Mesozoica se caracteriza por tener rocas sedimentarias marinas y continentales de los periodos Triásico, Jurásico y Cretácico, como las de tipo caliza, lutitas, areniscas, conglomerados y granito; además, este periodo se caracteriza por la formación de montañas plegadas (INEGI 1983).

Edafología

Los suelos se caracterizan por una profundidad menor de 10 cm, domina el suelo tipo Rendzina, suelos también de poca profundidad característicos de

formaciones de caliza en donde la vegetación dominante es de matorrales, por lo que pueden presentar una capa de hojarasca rica en humus y muy fértil (INEGI 1983).

Vegetación y uso del suelo:

El área donde se realizó la plantación presenta condiciones climáticas bastante uniformes, por lo cual la distribución de los tipos de vegetación está dada fundamentalmente por las condiciones edáficas, además de las variaciones topográficas. Las principales asociaciones vegetales en el área se caracterizan por su forma de vida tipo arbustivo de porte bajo, en sitios con mayor humedad y suelos profundos, son de mayor altura (INEGI 1983).

La vegetación de la región pertenece a los tipos matorral subinerme, chaparral, izotal y mezquital, con especies predominantes, mezquite (*Prosopis glandulosa*), gatuño (*Mimosa biuncifera*), palo blanco (*Celtis laevigata*), mimbre (*Chilopsis linearis*), jazmín (*Jasminum sp.*), correoso o lantrisqueño (*Rhus microfila*), gobernadora (*Larrea tridentata*). Los pastos predominante son: zacate banderita (*Bouteloua curtipendula*), zacate tres barbas (*Aristida glauca*). (Gallegos, 2010)

El área es dedicada a las actividades agrícolas de temporada y en muy poca proporción de riego, y otra parte a la ganadería (Martínez, 2008).

Fauna:

La constituyen principalmente águila (*Buteo sp.*), gavián (*Falco sp.*), codorniz escamosa (*Callipepla squamata*), huilota (*Zenaida macroura*), coyote (*Canis latrans*), conejo serrano (*Sylvilagus floridanus*), liebre (*Lepus sp.*), cuervo (*Corvus corax*), tecolote (*Bubo virginianus*), víbora de cascabel (*Crotalus sp.*) y ratón (*Peromyscus sp.*). (Gallegos, 2010).

3.2 Establecimiento de la plantación

3.2.1 Preparación de la planta

Se obtuvieron 180 plantas de *Pinus cembroides* del invernadero del Departamento Forestal de la UAAAN, las plantas contaban con tres años de edad y estaban en contenedores de polietileno, las plantas fueron seleccionadas, las que tuvieran mejor altura y diámetro además que no sufrieran clorosis en las hojas, esto es clave porque desde ahí se puede influir en el porcentaje de sobrevivencia.

3.2.3 Preparación del terreno

A finales del mes de mayo con ayuda de cintas métricas se realizó el trazado del terreno, se delimitaron nueve parcelas experimentales de 16 metros de ancho por 20 metros de largo, se distribuyeron 20 cepas de 30 cm de diámetro y 30 cm de profundidad por parcela experimental.

3.2.4 Plantación

Se realizó la plantación con espaciamiento de 4 metros entre plantas y 4 metros entre líneas de plantación, en cada sitio antes delimitado. La plantación se hizo el 22 de junio del 2015; cabe mencionar que ese día se realizó la medición de las variables de las seis plantas del centro del sitio, que fueron las que sirvieron para el análisis estadístico.

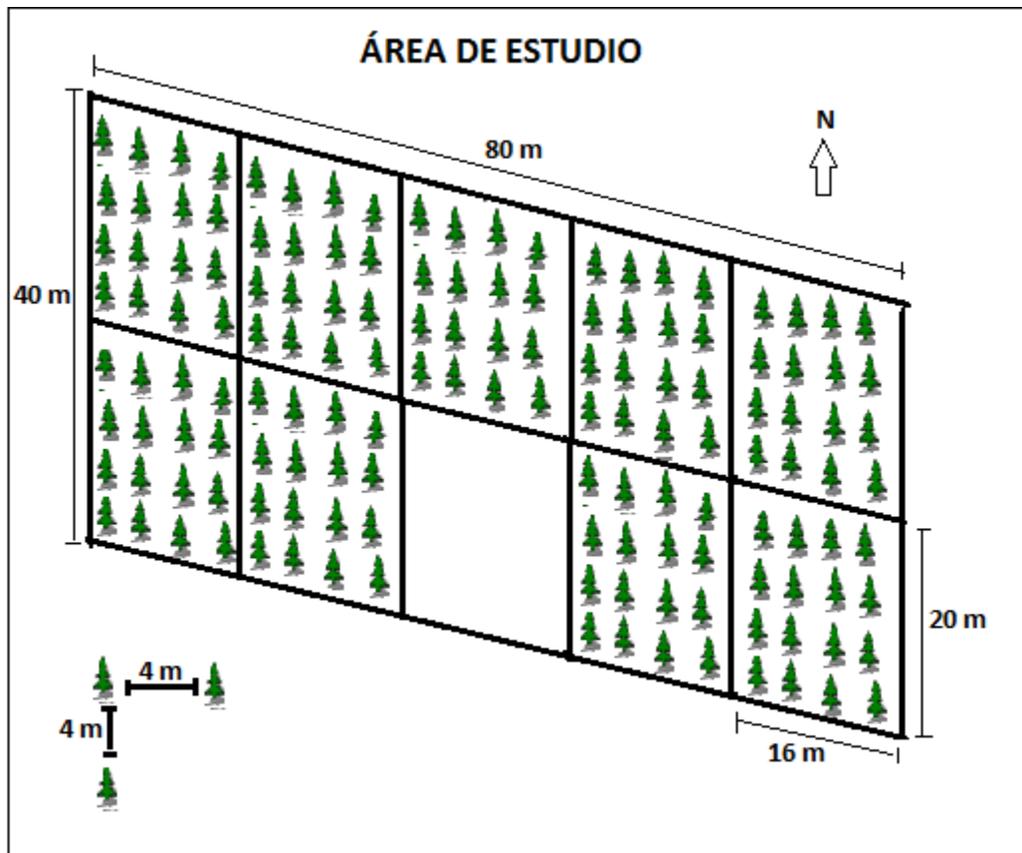


Figura2. Trazo de la parcela experimental.

3.4 Descripción de los tratamientos

Los biosólidos provienen de una planta tratadora de aguas residuales de una industria cervecera ubicada en Nava, Coahuila. Los biosólidos estuvieron colocados y expuestos a la intemperie por 12 meses, y posteriormente se desmoronaron y cribaron antes de realizar las mezclas con el suelo, para formar el sustrato de los tratamientos, para su posterior aplicación al suelo al realizar la plantación de *Pinus cembroides*.

Tabla 1. Descripción de la dosis de cada tratamiento.

Tratamiento	Dosis (l / cepa)		Dosis (%)	
	Suelo	Biosólidos	Suelo	Biosólidos
1	12.5	4.5	75	25
2	8.5	8.5	50	50
3 (testigo)	17	0	100	0



Figura 3. Mezcla de biosólidos y tierra.

3.5 Labores culturales

Las labores culturales que se realizaron en el presente trabajo consistieron en apertura de cajetes, así también se aplicaron 10 litros de agua por planta como riego de auxilio, esto se realizó con fecha del 29 de enero y 15 de marzo de 2016.

3.6 Variables evaluadas

Las variables evaluadas en la presente investigación fueron: Supervivencia, Crecimiento en altura, crecimiento en diámetro de copa y crecimiento en diámetro basal. En la Tabla 2 y figura 4 se especifica el instrumento que se utilizó para realizar la medición de cada variable.

Tabla 2. Descripción de variables evaluadas.

VARIABLES EVALUADAS	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
Supervivencia	%	--
Crecimiento en altura	cm	Longímetro
Crecimiento en diámetro basal	mm	Vernier digital
Crecimiento en diámetro de copa	cm	Longímetro

Las fechas de evaluación fueron las siguientes: 29 de enero y 13 de mayo de 2016.



Figura 4. Medición de variables.

3.7 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos y tres repeticiones, el modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

Para:

$i = 1, 2, 3, \dots, t$

$j = 1, 2, 3, \dots, n$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento i

E_{ij} = Error aleatorio

3.8 Procesamiento de datos de campo

Con los datos obtenidos en campo se elaboró una base de datos en el programa EXCEL y a partir de ésta se realizaron Análisis de Varianza (ANVA), y prueba de comparación de mediana de Tukey, a fin de determinar si existían diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados; para esto se utilizó el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación se presentan por separado para cada una de las variables evaluada.

4.1 sobrevivencia

De acuerdo con el análisis de los datos de sobrevivencia en cada unidad experimental, se obtuvo como resultado el porcentaje de sobrevivencia en cada tratamiento evaluado.

En la primera evaluación con fecha 29 de enero de 2016 se registró una sobrevivencia general de la plantación del 81.48 %, y por tratamiento evaluado sobresalió el T2 (50 % de biosólidos con 50 % de tierra), con 100 % de sobrevivencia. El T1 presentó un desempeño regular en esta variable y el tratamiento testigo (T3) tuvo el menor valor de sobrevivencia, cuyo porcentaje es inaceptable ya que resultó inferior al 70 %, que es el mínimo aceptable para la mayoría de las plantaciones forestales.

En cuanto a la segunda evaluación se registró un decremento en los tres tratamientos, obteniéndose una sobrevivencia total de 74.07 %, siendo el de mejor respuesta el T2 con una sobrevivencia final de 88.88%, también el T1 resulto con mejor respuesta en comparación con el testigo (72.22 y 61.11 % respectivamente) (Tabla 3 y Figura 5).

El resultado de la sobrevivencia general de la presente investigación estuvo 12 % por debajo de lo obtenido en una plantación de *Pinus douglasiana* en Jalisco, en la cual se incorporaron biosólidos y se obtuvo un 86 % de

sobrevivencia(Salcedo *et al.*, 2006), aunque si se analizan los tratamientos por separados nos daremos cuenta que el T2 es similar a lo obtenido en *Pinus douglasiana*, donde se logró un incremento del 20.9 %; con esto se deduce que con la incorporación de biosólidos se puede incrementar la sobrevivencia de las plantas hasta en un 27.8%adicional, en sitios como los de la presente investigación, caracterizados por escasa precipitación anual (Figura 6).

Tabla 3. Porcentaje de sobrevivencia por tratamiento.

Tratamiento	Sobrevivencia 1ª evaluación (%)	Sobrevivencia 2ª evaluación (%)
T1	72.22	72.22
T2	100	88.88
T3	66.67	61.11

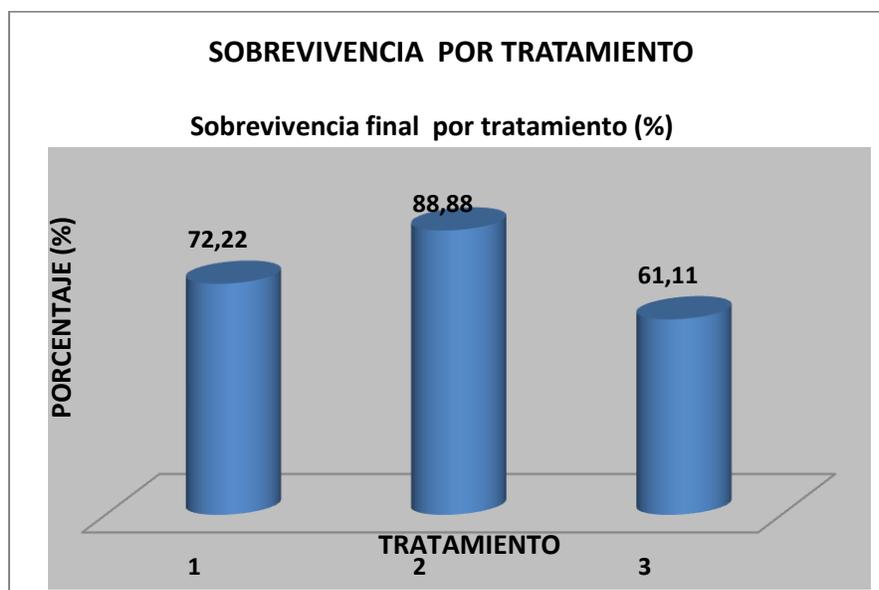


Figura 5. Sobrevivencia final para cada tratamiento.

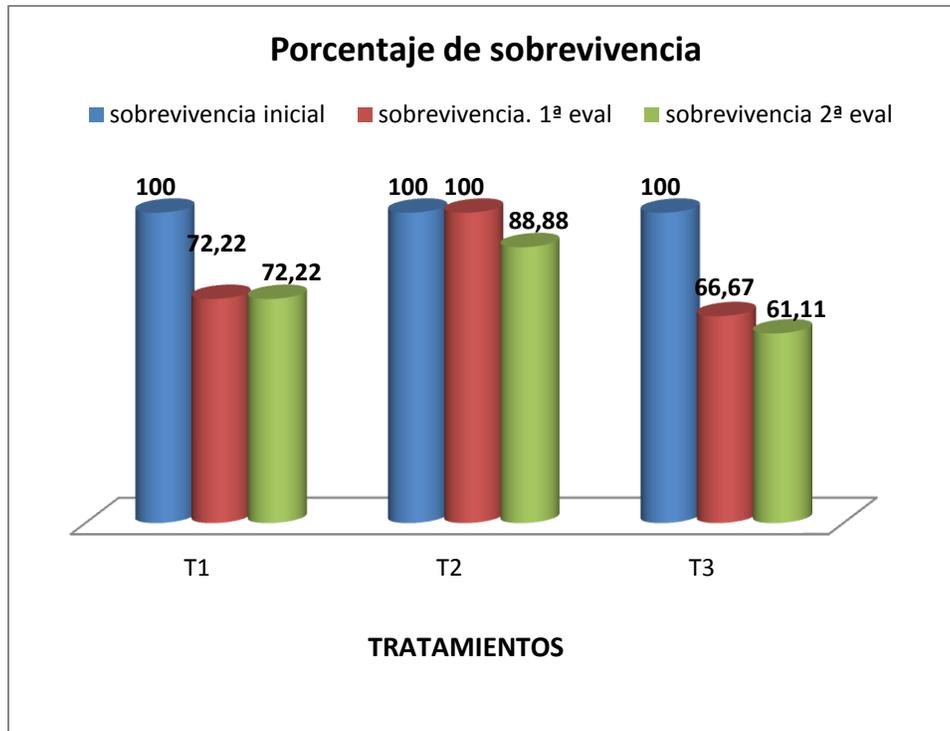


Figura 6. Comparación de sobrevivencia para cada tratamiento en cada evaluación.

4.2 Crecimiento en altura

Con relación al crecimiento en altura al primer período de crecimiento, en el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey, se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos ($Pr>F=0.0016$). En este período el tratamiento 1 presentó el mayor valor de crecimiento, y es diferente estadísticamente a los tratamientos 2 y 3, y estos últimos son iguales entre sí como puede observarse en las medias de crecimiento (Tabla 4). El tratamiento testigo (T3) presentó el valor más bajo de los tres, y el crecimiento del T1 fue mayor en un 286 % con relación al del testigo.

Para el segundo período se volvieron a encontrar diferencias significativas entre tratamientos ($Pr>F=0.0245$), el tratamiento 1 siguió siendo el de mayor

crecimiento, siendo diferente estadísticamente al tratamiento 3, y este último es igual que el tratamiento 2 (Tabla 5.).

En el análisis del crecimiento total se encontró que si existen diferencias estadísticas entre tratamientos ($P > F = 0.0243$) (Apéndice A), además, se hizo notar el orden de los tratamientos el cual es el mismo que en las anteriores mediciones, siendo el T1 el de mayor crecimiento y el testigo el que menos creció; este último es igual que el T2. En lo que corresponde al crecimiento medio final sigue siendo el T1 el de mejor crecimiento (8.34 cm.) (Tablas 6 y 7 y Figura.7). Los resultados obtenidos en este estudio no son tan diferentes en comparación con el trabajo de Domínguez *et al.* (2001) en una plantación de *Pinus cembroides* en Iturbide Nuevo León, en el cual el primer año se obtuvo un crecimiento medio de 11 cm, en comparación al mejor tratamiento de la presente investigación donde obtuvo un crecimiento equivalente al 75.81% en comparación a lo encontrado por Domínguez *et al.* La diferencia se puede atribuir a la precipitación con respecto al lugar de la plantación, ya que en Iturbide se presenta una precipitación media anual de 580 mm., mientras que en el lugar donde se realizó el presente trabajo oscila entre 325-400 mm anuales.

Tabla 4. Medias de crecimiento en altura para el primer periodo de crecimiento.

Tratamiento	N	Media (cm)	Agrupación Tukeyo
1	3	2.51	A
2	3	1.14	B
3	3	0.65	B

*Con 79.63 % de sobrevivencia

Los valores agrupados por una misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí, a un nivel de probabilidad del 5%.

Tabla 5. Medias de crecimiento en altura en el segundo período de crecimiento*.

Tratamiento	N	Media (cm)	Agrupación Tukey
1	3	6.32	A
2	3	5.55	B A
3	3	3.55	B A

*74.07% de sobrevivencia

Los valores agrupados por una misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí, a un nivel de probabilidad del 5%.

Tabla 6. Medias de crecimiento total en altura.*

Tratamiento	N	Media (cm)	Agrupación Tukey
1	3	8.34	A
2	3	6.7	B
3	3	4.2	B

*74.07% de sobrevivencia

Los valores agrupados por una misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí, a un nivel de probabilidad del 5%.

Tabla 7. Crecimiento promedio en altura para cada período y total.

Tratamiento	Crecimiento.promedio 1 ^{er} período (cm)	Crecimiento promedio 2 ^o período (cm)	Crecimientopromedio total (cm)
T1	2.51	6.32	8.34
T2	1.14	5.55	6.7
T3	0.65	3.55	4.2

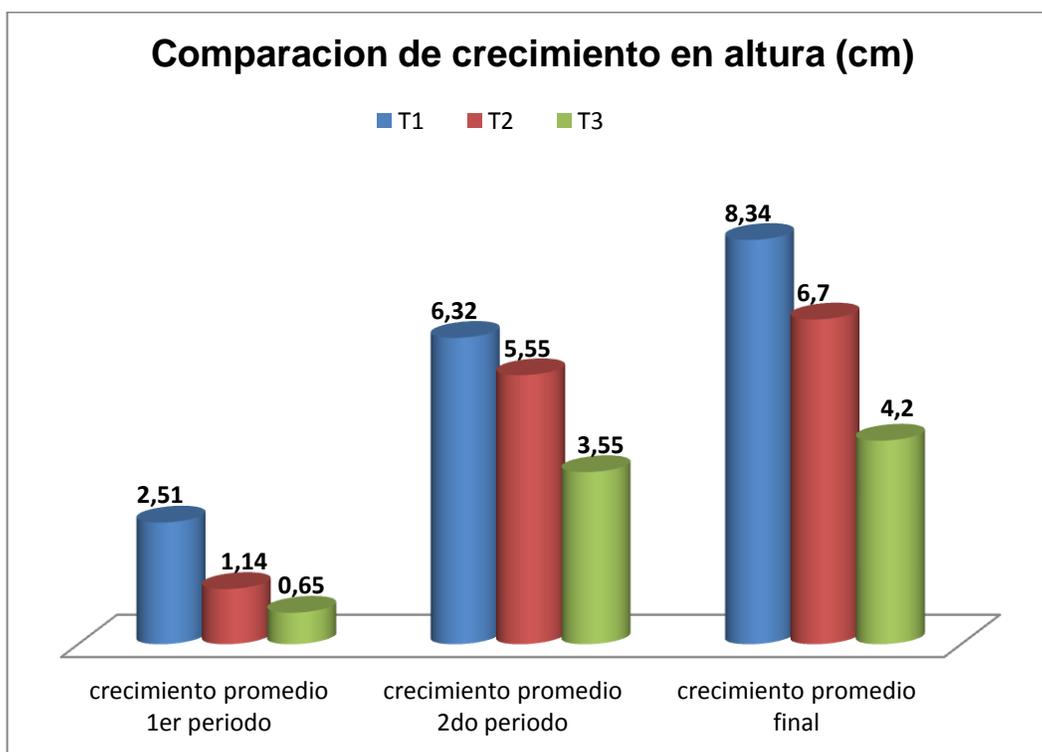


Figura 7. Crecimiento final para cada tratamiento.

En la Figura 8 se muestran las alturas promedio para cada tratamiento, en el transcurso de los tres períodos de evaluación donde se observa que el mayor crecimiento se obtuvo en el segundo período de evaluación.

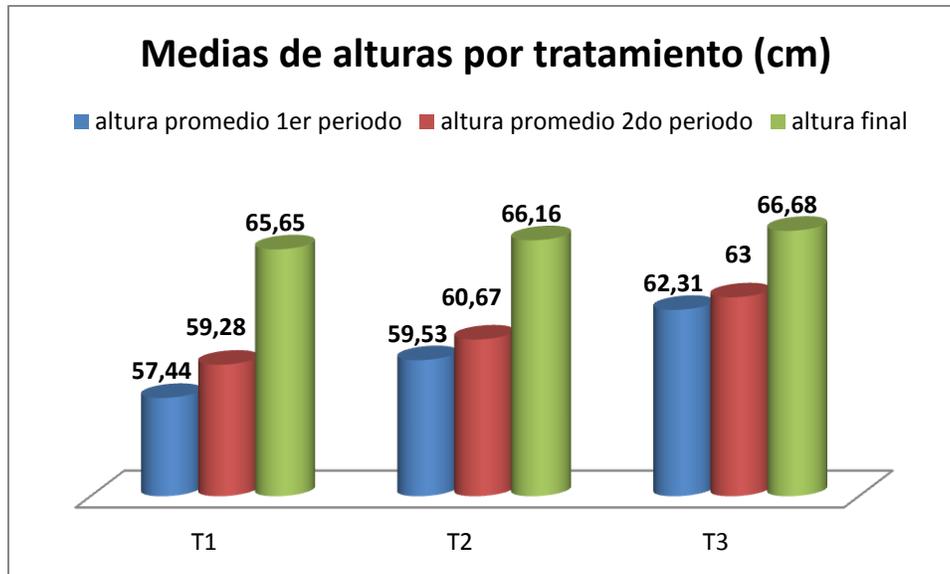


Figura 8. Alturas promedio para cada tratamiento.

4.3 Crecimiento en diámetro basal

De acuerdo al análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey para el crecimiento en milímetros y para el crecimiento porcentual de la variable de diámetro basal, en el primer período se encontró que existe diferencias estadísticas significativa entre los tratamientos ($Pr>F=0.0010$) (Apéndice C y Apéndice D). En este período sobresalió el T2 por encima de T1 y T3 siendo estos iguales estadísticamente entre si y diferentes a T2; como se observa en las medias de crecimiento, el T2 obtuvo un crecimiento de 114.81 % mayor con respecto al T3, el cual fue el de crecimiento más bajo (Tabla 8).

En el segundo período de evaluación, de acuerdo al análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey no se encontró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($Pr>F= 0.3572$), tampoco sucedió para el crecimiento porcentual ($Pr>F=0.3614$) (Tablas 9 y 11).

En el crecimiento en diámetro basal para el período total, tampoco se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos ($Pr>F=0.0866$), sin

embargo durante los 11 meses transcurridos desde la plantación, el T2 fue el que obtuvo mayor crecimiento con 1.14 mm, mientras que el T3 fue el de menor crecimiento de los tres tratamientos. En el crecimiento en porcentual se encontró que el T2 fue el de mayor crecimiento (7.61 %) (Tabla 10 y 11 y Figura.9).

En comparación con el trabajo de Mendoza (2004), quien realizó una plantación de *Pinus cembroides* Zucc. en Buenavista, Saltillo, y con la aplicación de fertilizantes químicos más riego, en un lapso de 15 meses obtuvo un crecimiento de (4.19 mm.) es muy diferente al resultado que se obtuvo en el presente estudio, puesto que el mejor tratamiento logró un crecimiento de 1.14 mm, corresponde al 29.40 % de la media del trabajo en comparación, la variación entre resultados se puede deber a que los biosólidos del presente trabajo estuvieron expuestos a la intemperie durante un año y pudieron perder algunos de los nutrientes con los que contaba, además, la plantación hecha por Mendoza estuvo sujeta a riegos como tratamiento.

Tabla 8. Medias de crecimiento en diámetro basal en el primer período*.

Tratamiento	Media (mm)	N	Agrupación Tukey *
2	0.58	3	A
1	0.33	3	B
3	0.27	3	B

*Con 79.63 % de sobrevivencia

Los valores agrupados por una misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí, a un nivel de probabilidad del 5%.

Tabla 9. Medias de crecimiento en diámetro basal en segundo período.*

Tratamiento	Media (mm)	N	Agrupación Tukey *
2	0.68	3	A
1	0.6	3	A
3	0.52	3	A

* Con 74.07% de sobrevivencia

Los valores agrupados por una misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí, a un nivel de probabilidad del 5%.

Tabla 10. Medias de crecimiento en diámetro basal en el período total.*

Tratamiento	Media (mm)	N	Agrupación Tukey
2	1.14	3	A
1	0.93	3	A
3	0.81	3	A

* Con 74.07% de sobrevivencia

Los valores agrupados por una misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí, a un nivel de probabilidad del 5%.

Tabla 11. Medias de crecimiento porcentual en diámetro basal.

Período	Tratamiento	Media (%)	N	Agrupación Tukey	
*Segundo período	2	7.61	3		A
	1	6.57	3		A
	3	5.64	3		A
*Período total	2	13.44	3		A
	1	10.47	3	B	A
	3	9.03	3	B	A

* Con 74.07% de sobrevivencia

Los valores agrupados por una misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí, a un nivel de probabilidad del 5%.

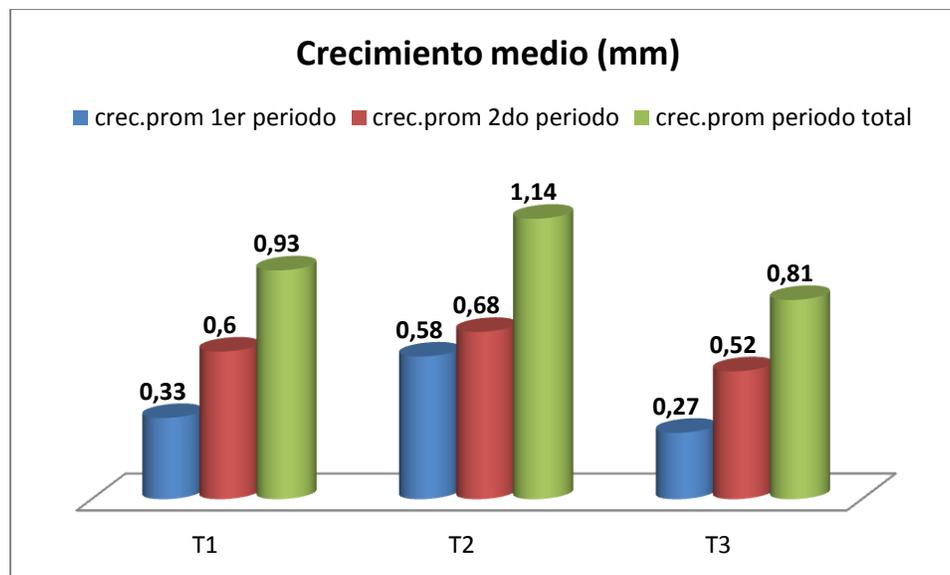


Figura 9. Crecimiento en diámetro basal por periodo y total.

En la Figura 10 se muestran los diámetros basales promedios para cada tratamiento, en el transcurso de los tres períodos de evaluación, en la que se observa que el mayor crecimiento se obtuvo en el segundo período de evaluación.

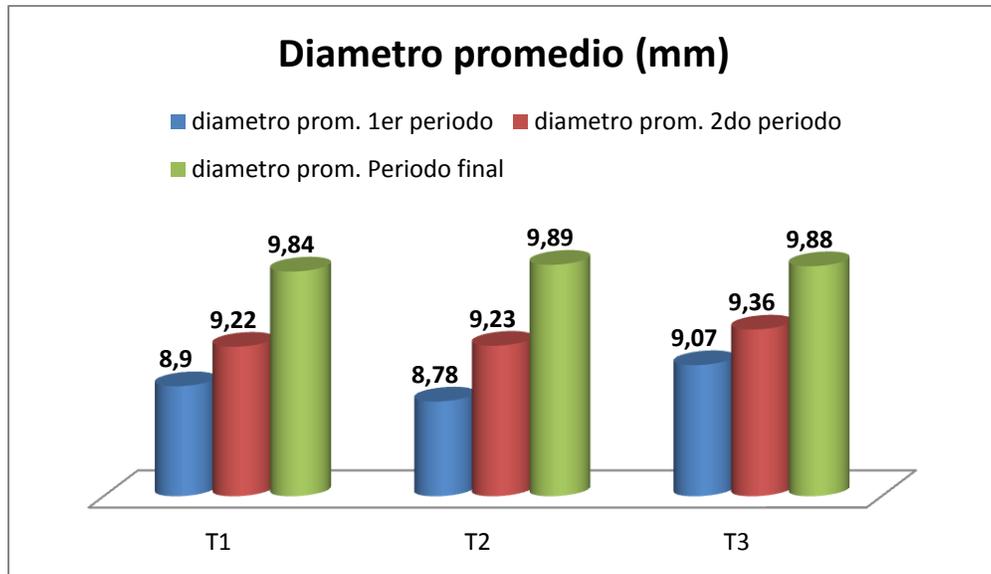


Figura 10. Diámetro basal promedio en cada periodo.

4.4 crecimiento en diámetro de copa

En la variable crecimiento en diámetro de copa, el análisis de varianza, no arrojó diferencias significativas entre los tratamientos en el primer y segundo período, ni en el período total ($Pr > F = 0.6055, 0.8290$ y 0.8482 , respectivamente) (Apéndice E y Apéndice F), mientras que la prueba de medias de Tukey tampoco mostró diferencias estadísticas entre tratamientos (Tabla 12), sin embargo, para el primer período de evaluación el T2 fue el que obtuvo mayor crecimiento (4.12 cm) y por su parte el T3 fue el de menor crecimiento de en los tres períodos.

Para el segundo período de evaluación cambió el orden de los tratamientos puesto que el T1 con (3.21 cm) quedó por muy poca diferencia encima del T3, mientras que el T2 fue el de menor crecimiento, aun que para el crecimiento porcentual (Tabla 13 y Figura 11) el T3 sobresalió con 18.04 %.

En el período total, el T2 fue el que obtuvo mayor crecimiento, siendo mayor al T3 en 17.7 %, el cual fue el más bajo. En comparación con el trabajo realizado

por Mendoza (2004) quien aplicó fertilizantes químicos en una plantación de *Pinus cembroides* en Buenavista Saltillo, el crecimiento en diámetro de copa de la presente investigación equivale al 65.86 % de la media obtenido en dicho trabajo, esto es aceptable para esta variable, sin embargo es necesario hacer más pruebas con diferentes dosis de biosólidos.

Tabla 12. Medias de crecimiento en diámetro de copa.

Período	Tratamiento	Media (cm.)	N	Agrupación Tukey
*Primer período	2	4.12	3	A
	1	3.35	3	A
	3	2.9	3	A
**Segundo período	1	3.21	3	A
	3	3.05	3	A
	2	2.26	3	A
**Tercer período	1	6.58	3	A
	2	6.36	3	A
	3	5.59	3	A

*Con 79.63% de sobrevivencia

** Con 74.07% de sobrevivencia

Los valores agrupados por una misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí, a un nivel de probabilidad del 5%.

Tabla 13. Medias de crecimiento porcentual en diámetro de copa.

Período	Tratamiento	Media (%)	N	Agrupación Tukey
*Segundo período	3	18.04	3	A
	1	16.28	3	A
	2	13.1	3	A
*Período total	1	41.96	3	A
	2	37.41	3	A
	3	33.68	3	A

*Con 74.07% de sobrevivencia

. Los valores agrupados por una misma letra no son estadísticamente diferentes entre sí, a un nivel de probabilidad del 5%.

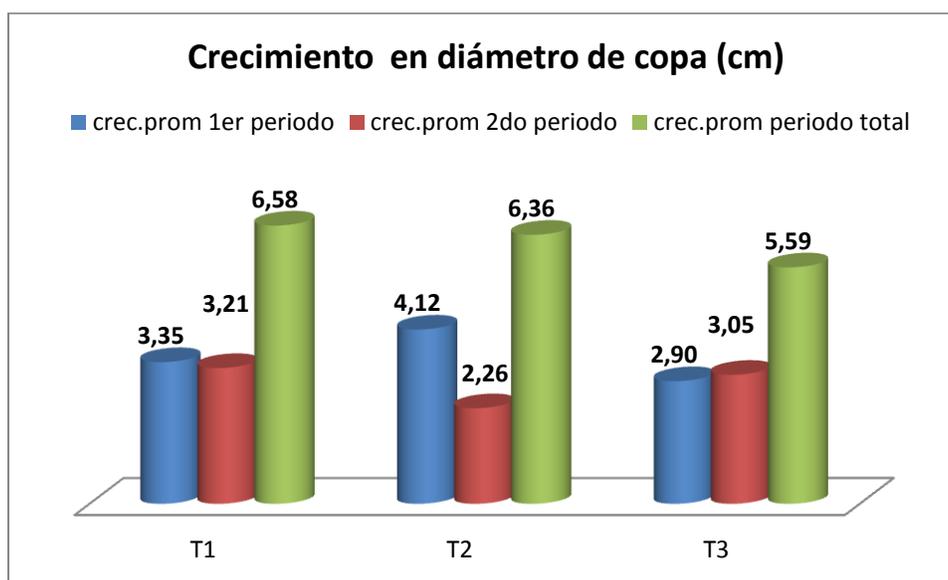


Figura 11. Medias de crecimiento en diámetro de copa.

En la Figura 12 se muestran los diámetros de copa promedio de cada tratamiento, obtenidos en el transcurso de los tres períodos de evaluación; se observa que el mayor crecimiento se obtuvo en el segundo período de evaluación.

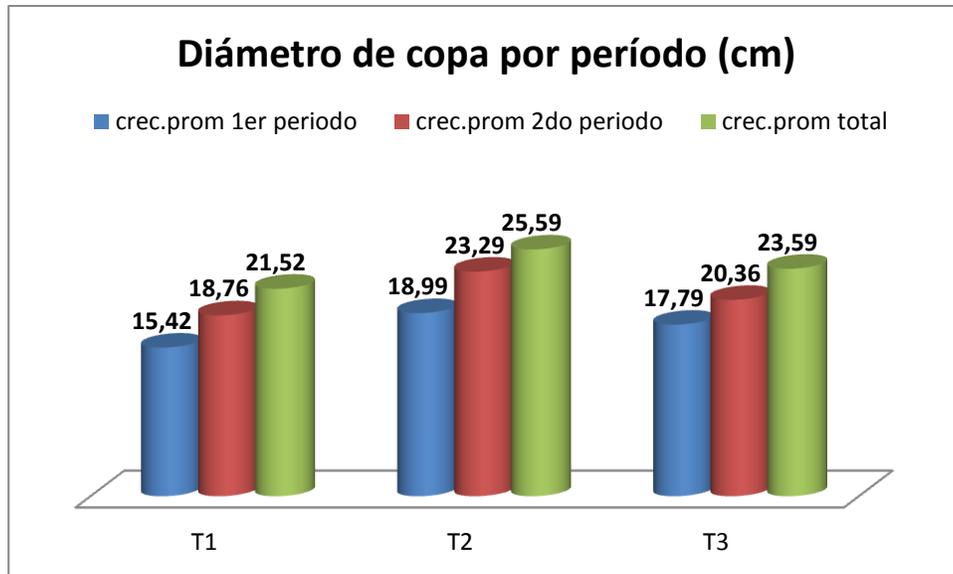


Figura 12. Diámetro de copa promedio en cada tratamiento y cada periodo.

V. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos y a los análisis estadísticos practicados en la presente investigación se concluye lo siguiente:

- Se rechaza la hipótesis nula (H_0) al haber encontrado diferencias estadísticas entre tratamientos.
- Se obtuvo un porcentaje de sobrevivencia total de 74.07%, lo cual es aceptable ya que está por encima del mínimo aceptable, el cual es 70 % en la mayoría de las plantaciones, siendo el T2 (50% biosólidos y 50% suelo) el de mejor resultado con 88.88% de sobrevivencia.
- Para el resto de las variables evaluadas, los tratamientos alternaron su rendimiento, el T1 (25% biosólidos y 75% suelo) sobresalió en las variables de altura y diámetro de copa con 8.34 y 6.58cm, respectivamente. Mientras que el T2 fue el de mayor crecimiento en diámetro basal con 1.14 mm. el T3 (testigo) quedó con los valores más bajos en todas las variables evaluadas.

VL. RECOMENDACIONES

Derivado a las experiencias obtenidas durante el desarrollo del trabajo se recomienda lo siguiente:

- Se recomienda el uso de los biosólidos en plantaciones de *Pinus cembroides* Zucc. Si se desea aumentar la sobrevivencia y el crecimiento en general de las plantas se sugiere su aplicación en la mezcla del sustrato de plantación en proporción entre el 25 y el 50% del volumen total.
- Se recomienda aumentar el período de evaluación a más de un ciclo de crecimiento.
- Probar diversas dosis de biosólidos y suelo para ver en que variable se obtiene mejores resultados.
- Probar el efecto de los biosólidos con especies de importancia económica regional, a fin de crear una nueva técnica que permita usarse con seguridad y eficacia, para beneficio de los productores y empresas forestales y al mismo tiempo darle un buen uso a los biosólidos.

VI. LITERATURA CITADA

- Barrios P., J. 2009. Aspectos generales del manejo de lodos. Curso sobre Manejo y Aprovechamiento de Lodos Provenientes de Plantas de Tratamiento. México, D.F., diciembre de 2009.
- Bocanegra A., I. 1992. El piñonero en el Estado de Coahuila, México. Monografía. UAAAN.
- Caballero D., M. y Ávila R. R. 1989. Importancia actual y potencial de los pinos piñoneros en México. Memorias 3^{er} simposio nacional sobre pinos piñoneros. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Cabrera R., I. 2008. Utilización agraria de los biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Centro Universitario de Guantánamo. Carretera de Guantánamo a Santiago de Cuba.
- Capó A., M. A. 2001. Establecimientos de Plantaciones Forestales: los Ingredientes del Éxito. Primera Edición, Ed. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 200P.
- Castro R., J. 2006. Estudio preliminar de aplicación de biosólidos en suelos para el control de erosión y estabilización de taludes. Universidad de los Andes, Colombia.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. Prácticas de Reforestación. Manual Básico. Comisión Nacional Forestal. Primera edición. Jalisco, México. Noviembre de 2010
- Domínguez C., P., Návar C., J. y J. Loera. 2001. Comparación del Rendimiento de Pinos en la Reforestación de Sitios Marginales en Nuevo León. Artículo de investigación. *Madera y Bosques* 7(1), 2001:27-35.

- Flores T., F., Flores, P.L. 2005. Los biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la ciudad de Aguascalientes: características y uso. Investigación y ciencia. Universidad Autónoma de Aguascalientes, México.
- Gallegos A., P. (2010). Plantación de *Pinus cembroides* Zucc. con Tres Tipos de Plantas y Cuatro Estructuras de Preparación del Terreno, en Saltillo, Coahuila. Tesis de licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. Junio de 2010.
- Jurado G., P., Arredondo T., Flores E., Olalde V. y J. Frías. (2007). Efecto de los Biosólidos sobre la Humedad y los Nutrientes de Suelos y la Producción de Forraje en Pastizales Semiáridos. *TERRA Latinoamericana*, vol. 25. Núm. 2, abril-junio, 2007. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1983. Síntesis Geográfica de Coahuila. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Mexico, D.F. Marzo de 1983.
- Jurado G., P., Luna L. y H. Barretero. 2004. Aprovechamiento de Biosólidos como Abonos Orgánicos en Pastizales Áridos y Semiáridos. *Téc. Pecu. Méx.* 42: 379-395.
- Martínez B., O. 2008. Propuesta de acciones para la elaboración del plan de manejo integral de la microcuenca, San Juan de la Vaquería, Saltillo, Coahuila.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. 2da edición. México, D.F.
- Martínez R., E. 1998. Estudio para determinar el uso de los lodos residuales sobre los suelos agrícolas de cuatro municipios de Nuevo León. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo.

- Mendoza M., J. 2004. Evaluación de Una Plantación de Dos Especies de *Pinus* para Árboles de Navidad, bajo Régimen de Fertilización en Saltillo, Coahuila.. Tesis de licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Navarro C., R. y Martínez S., A. 1996. Supervivencia y crecimiento de encina (*Quercus ilex*) utilizando seis tipos de tubos en invernadero. Actas del I congreso forestal Hispano-luso, II Congreso Forestal Español. Mesa 3, p.437-442
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). NOM-004-SEMARNAT-2004. Protección ambiental para lodos y biosólidos, especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. México, D.F.
- Ortiz H., L.; Gutiérrez R., M. y E. Sánchez. (1995). Propuesta de Manejo de los Lodos Residuales de la Planta de Tratamiento de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca, Estado de Morelos, México. Rev. Int. Contam. Ambient. 11 (2): 105-115.
- Passini M., F. 1985. Les forêts de *Pinus cembroides* Zucc. de la Sierra de Urica, Réserve de la Biosphère "La Michilía" (État de Durango, Mexique). Bulletin of Ecology 16:161–168.
- Pissani J., F. 2002. Tratamiento y aprovechamiento agrícola de aguas residuales. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N.L.
- Raúl, H. 1993. Uso de biosólidos para incrementar la productividad en alfalfa. Campo experimental, INIFAP. Delicias, Chihuahua.
- Rzendowski J., 1978. La Vegetación de México. Primera edición impresa, México

Salgado G., S. y Núñez E., R. 2010. Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. Colegio de postgraduados. Mundi-prensa.Mexico.

Santiago, E. 2000. Tratamiento de Aguas Residuales. Especialización en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Saltillo.

Uribe M., H., Chávez S., N. y M. Espino. (2001). Los Biosólidos como Mejoradores de Suelos Agrícolas y Avances de su Evaluación en la Región de las Delicias. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Delicias. Folleto para productores, Núm. 7. 16 p.

Zamora, F., SalcedoE. y A. Aguayo. 1999. Efecto de la aplicación de lodos residuales como abono orgánico en el cultivo de maíz. Memoria del VIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería y IV Congreso Latinoamericano de Biotecnología y Bioingeniería. Huatulco, Oaxaca, México.

VII. APÉNDICE

Apéndice A. Análisis de varianza para la variable altura

Primer período

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	5.56	2.78	22.79	0.0016
Error	6	0.73	0.12		
Total corregido	8	6.30			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.410	63.367	28.867	45.555

Segundo período

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	12.29	6.14	7.33	0.0245
Error	6	5.03	0.83		
Total corregido	8	17.32			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.70	17.80	0.91	5.14

Período total

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	26.00	13.00	7.35	0.0243
Error	6	10.61	1.76		
Total corregido	8	36.62			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.71	20.71	1.32	6.41

Apéndice B. ANVA para crecimiento porcentual en altura

Segundo período

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	37.48	18.74	7.71	0.0220
Error	6	14.58	2.43		
Total corregido	8	52.07			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.71	18.13	1.55	8.59

Período total

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	88.86	44.43	8.18	0.0193
Error	6	32.59	5.43		
Total corregido	8	121.46			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.73	21.13	2.33	11.02

Apéndice C. ANVA para crecimiento en diámetro basal

Primer período

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	0.15	0.07	26.58	0.0010
Error	6	0.01	0.0029		
Total corregido	8	0.17			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.89	13.71	0.05	0.39

Segundo período

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	0.04	0.02	1.23	0.3572
Error	6	0.09	0.01		
Total corregido	8	0.13			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.29	21.20	0.12	0.60

Período total

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	0.16	0.08	3.78	0.0866
Error	6	0.12	0.02		
Total corregido	8	0.29			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.55	15.21	0.14	0.96

Apéndice D. ANVA para crecimiento porcentual en diámetro basal

Segundo período

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	5.83	2.91	1.21	0.3614
Error	6	14.44	2.40		
Total corregido	8	20.27			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.28	23.48	1.55	6.60

Período total

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	30.42	15.21	5.41	0.0454
Error	6	16.88	2.81		
Total corregido	8	47.30			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.64	15.26	1.67	10.98

Apéndice E. ANVA para crecimiento en diámetro de copa

Primer período

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	2.31	1.15	0.55	0.6055
Error	6	12.69	2.11		
Total corregido	8	15.01			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.15	42.03	1.45	3.46

Segundo período

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	1.15	0.77	0.19	0.8290
Error	6	23.89	3.98		
Total corregido	8	25.43			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.06	70.14	1.99	2.84

Período total

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	1.52	0.76	0.17	0.8482
Error	6	26.97	4.49		
Total corregido	8	28.49			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.05	34.37	2.12	6.16

Apéndice F. ANVA para crecimiento porcentual en diámetro de copa

Segundo período

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	37.70	18.85	0.14	0.8693
Error	6	789.04	131.50		
Total corregido	8	826.75			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.04	72.52	11.46	15.81

Período total

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	2	103.17	51.58	0.49	0.6341
Error	6	629.18	104.86		
Total corregido	8	732.35			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.14	27.17	10.24	37.68