

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Sobrevivencia y Crecimiento en una Plantación de *Pinus greggii* Engelm. Establecida con Compostas de Biosólidos y Estiércol, en Saltillo, Coahuila

Por:

RIGOBERTO OTONIEL VÁZQUEZ MORALES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Sobrevivencia y Crecimiento en una Plantación de *Pinus greggii* Engelm. Establecida
con Compostas de Biosólidos y Estiércol, en Saltillo, Coahuila

Por:

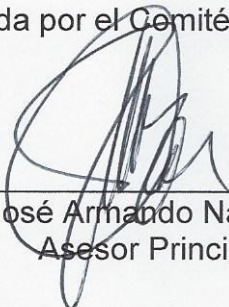
RIGOBERTO OTONIEL VÁZQUEZ MORALES

TESIS

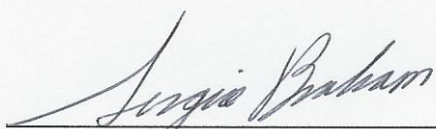
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría:



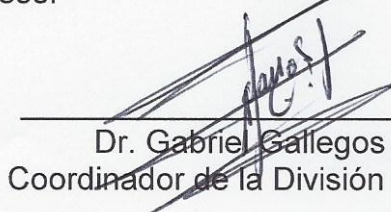
M.C. José Armando Nájera Castro
Asesor Principal



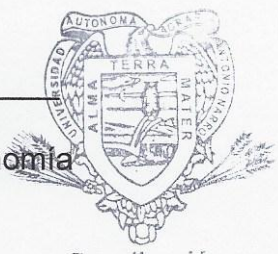
Ing. Sergio Braham Sabag
Coasesor



M.C. Jorge David Flores Flores
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2016

DEDICATORIA

A mi padre **Eligio Vázquez Solís** y hermano **Pedro Antonio Vázquez Morales**. Que Dios los tenga en su santa gloria. Siempre me impulsaron a superarme profesionalmente, pero por cuestiones de la vida se nos adelantaron en el camino y ya no están con nosotros para contemplar este logro tan anhelado para ellos también.

A mi querida y amada madre **Jesús María Morales Roblero**. Por darme la vida, por sembrar en mí principios y valores que me han permitido estar hasta aquí, por esa fe inmensa que le tiene a Dios que le permitieron apoyarme en todo el transcurso como estudiante. Para usted madre linda, con mucho cariño y amor este logro no solo mío sino suyo también.

A mis hermanos: **Carmelino, Nery, Mérida, Marleny, Brenda y Mayra**. Por sus consejos que nunca dejaron que decayera en los momentos críticos y por esa inversión que hicieron en mí a pesar de todas las dificultades, les dedico el fruto de su confianza y apoyo.

A mis cuñados: **Doris, Jorge, Luis, Bernardo y Alfredo**. Por no dejarme solo en el transcurso como estudiante, por esos apoyos económicos cada vez que emprendía el viaje a la universidad.

Con mucho aprecio a todos mis sobrinos, desde **Carlitos** hasta **Merary** más los próximos por venir, que este logro les sea de ejemplo para superarse y creer que todo es posible con dedicación y esfuerzo.

Al primo **Marín Galindo Vázquez Roblero**. Por esa convivencia que tuvimos durante nuestros primeros 18 años, lo cual ha permitido una hermandad infinita y por el aporte que realizó para la impresión de la presente.

Al pastor **Fausto Morales Roblero** e **IAFCJ**. Por las innumerables oraciones a Dios pidiendo salud, seguridad y sabiduría para mi persona.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** primeramente, por haberme concedido la vida, por no dejarme solo y permitirme lograr uno de mis grandes sueños.

A mi “**Alma Terra Mater**” a esa privilegiada universidad, por brindarme el espacio y las facilidades para desarrollarme profesionalmente.

Al **Departamento Forestal** por esa incomparable formación académica, lo cual lo hace única en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

A todos los **Docentes** que me impartieron clases y aportaron de sus conocimientos durante los cinco años de estancia en la UAAAN.

Al **M.C. José Armando Nájera Castro** por proporcionarme sus infalibles conocimientos dentro y fuera del aula, así como su inmenso apoyo en todo el transcurso de la presente investigación.

Al **M.C. Jorge David Flores Flores** por su entrega profesional, por aquellos inolvidables consejos con los que nos invitaba a tener una vida sana y de mucha felicidad, por supuesto también agradecerle por la aportación de críticas para la redacción de la presente investigación.

Al **Ing. Sergio Braham Sabag** por aportar de sus experiencias y conocimientos del ámbito forestal que sin duda alguna serán necesarios en mi desempeño profesional, por facilitar la donación de las plantas *Pinus greggii* utilizadas en el experimento y también agradecerle por la asesoría en la redacción de la presente.

A **Cristian, Addy y Anaí** por formar conmigo un equipo de trabajo que nos permitió a cada quien la obtención de la tesis.

Agradezco grandemente a las siguientes personas: **Julio Antonio, Keny, Martin, José Alberto, Gary, Eliud Evaristo, Iván, Miguel Ángel y Jonathan.** Por su colaboración en campo lo cual contribuyó a que se lograra la presente investigación.

A todos los compañeros de la carrera de Ingeniero Forestal generación 2011-2016, por todas esas convivencias dentro y fuera del aula.

A **Jesús, María C., Aná y María S.** por sus incomparable amistad durante la carrera, por estar conmigo en los momentos de felicidad y tristeza.

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
ÍNDICE GENERAL _____	i
ÍNDICE DE TABLAS _____	v
ÍNDICE DE FIGURAS _____	vi
RESUMEN _____	viii
I. INTRODUCCIÓN _____	1
1.1. Objetivos _____	2
1.2. Hipótesis _____	2
1.3. Justificación _____	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA _____	4
2.1. Características generales de <i>Pinus greggii</i> _____	4
2.1.1. Descripción de la especie _____	4
2.1.2. Localización geográfica _____	5
2.1.3. Descripción de su medio ambiente _____	6
2.1.4. Importancia _____	6
2.2. Plantaciones forestales _____	7
2.2.1. Definición _____	7
2.2.2. Importancia _____	7
2.2.3. Tipos de plantaciones _____	8
2.2.4. Diseños de Plantaciones _____	9
2.3. Biosólidos _____	10
2.3.1. Definición _____	10
2.3.2. Características físicas, químicas y microbiológicas _____	11
2.3.3. Beneficios al suelo _____	12
2.3.4. Limitaciones de su uso _____	13
2.3.5. Regulación de su uso _____	14
2.4. Compostaje _____	16
2.4.1. Definición _____	16

2.4.2. Beneficios al suelo _____	17
2.4.3. Procesos de compostaje _____	18
2.4.3.1. Materiales _____	18
2.4.3.2. Mezclado _____	19
2.4.3.3. Estabilización de temperatura _____	20
2.4.3.4. Maduración de composta _____	21
2.4.3.5. Producto final _____	21
2.4.4. Factores que influyen en el proceso de compostaje _____	22
2.4.4.1. Tamaño del material _____	22
2.4.4.2. Temperatura _____	23
2.4.4.3. Humedad _____	23
2.4.4.4. Aireación y Oxígeno _____	24
2.5. Fertilidad de suelos _____	25
2.5.1. Definición e importancia _____	25
2.5.2. Tipos de fertilizantes _____	26
2.5.2.1. Fertilización química _____	26
2.5.2.2. Fertilización Orgánica _____	26
2.5.3. Propiedades del suelo _____	27
2.5.3.1. Propiedades físicas _____	27
2.5.3.2. Propiedades químicas _____	28
2.5.3.3. Propiedades Biológicas _____	29
2.5.4. Factores que influyen en la fertilidad de suelos _____	29
2.6. Trabajos a fines _____	30
2.6.1. Uso de biosólidos en el ámbito agrícola y forestal _____	30
2.6.2. Evaluación de sobrevivencia en plantaciones de <i>P. greggii</i> _____	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS _____	33
3.1. Localización del área de estudio _____	33
3.2. Características físicas y biológicas del área de estudio _____	34
3.2.1. Clima _____	34
3.2.2. Hidrología _____	34

3.2.3. Suelo _____	34
3.2.4. Vegetación _____	34
3.2.5. Fauna _____	35
3.3. Generalidades de la plantación _____	35
3.4. Tratamiento aplicados _____	36
3.5. Diseño experimental _____	38
3.6. Análisis de datos _____	38
3.7. Obtención del sustrato y actividades involucradas _____	38
3.7.1. Mezclado _____	39
3.7.2. Monitoreo de temperatura y humedad _____	39
3.8. Preparación del sitio y establecimiento de la plantación _____	40
3.8.1. Delimitación de sitios _____	40
3.8.2. Apertura de cepas _____	41
3.8.3. Mezcla de sustrato _____	41
3.8.4. Plantación _____	42
3.8.5. Riegos de auxilio _____	43
3.9. Variables evaluadas _____	44
3.10. Levantamiento de datos _____	45
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____	46
4.1. Supervivencia _____	46
4.2. Crecimiento en altura _____	59
4.3. Crecimiento en diámetro de copa _____	52
4.4. Crecimiento en diámetro basal _____	56
4.5. Discusión general de variables de crecimiento _____	59
V. CONCLUSIONES _____	62
5.1. Supervivencia _____	62
5.2. Crecimiento _____	62
VI. RECOMENDACIONES _____	64
VII. LITERATURA CITADA _____	65
VIII. APÉNDICE _____	75

Apéndice A. Análisis de varianza para sobrevivencia _____	75
Apéndice B. Análisis de varianza para crecimiento en altura (cm) _____	76
Apéndice C. Análisis de varianza para crecimiento en altura (%)_____	77
Apéndice D. Análisis de varianza para crecimiento en diámetro de copa (cm) _____	78
Apéndice E. Análisis de varianza para crecimiento en diámetro de copa (%) _____	79
Apéndice F. Análisis de varianza para crecimiento en diámetro basal (mm) _	80
Apéndice G. Análisis de varianza para crecimiento en diámetro basal (%) ___	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos. _____	15
Tabla 2. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos. _____	15
Tabla 3. Aprovechamiento de biosólidos. _____	16
Tabla 4. Relación C/N en materiales usados en compostas. _____	19
Tabla 5. Distribución de diferentes poros en suelos de tres clases texturales. _____	28
Tabla 6. Tratamientos aplicados. _____	36
Tabla 7. Compostas elaboradas. _____	39
Tabla 8. Prueba de comparación de medias de Duncan para sobrevivencia. _____	47
Tabla 9. Prueba de comparación de medias de Duncan para crecimiento en altura. _____	50
Tabla 10. Prueba de comparación de Duncan para crecimiento porcentual en altura. _____	50
Tabla 11. Prueba de comparación de medias de Duncan para crecimiento en diámetro de copa. _____	53
Tabla 12. Prueba de comparación de Duncan para crecimiento porcentual en diámetro de copa. _____	54
Tabla 13. Prueba de comparación de medias de Duncan para crecimiento en diámetro basal. _____	57
Tabla 14. Prueba de comparación de medias de Duncan para crecimiento porcentual en diámetro basal. _____	57
Tabla 15. Tratamientos con mayores y menores crecimientos totales. _____	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A) árbol, B) ramas, ramillas y hojas, C) corteza, D) semilla y alas y E) conos de <i>Pinus greggii</i> . _____	5
Figura 2. Diseños de plantaciones: A) Marco real, B) Tres bolillo y C) Curvas a nivel. _____	9
Figura 3. Etapas de temperatura en el proceso de compostaje. _____	21
Figura 4. Crecimiento en diámetro basal en un pino con la aplicación de biosólidos. _____	31
Figura 5. Mortalidad de la plantación establecida con dos espaciamientos. _____	31
Figura 6. Supervivencia de las especies a través del tiempo de observación. _____	32
Figura 7. Localización del área de estudio. _____	33
Figura 8. Croquis de la parcela experimental. _____	35
Figura 9. Tratamiento en cada unidad experimental. _____	37
Figura 10. Distribución de tratamientos en el área experimental. _____	37
Figura 11. Producto final del proceso de compostaje. _____	40
Figura 12. Delimitación de unidades experimentales. _____	40
Figura 13. Tamaño y forma de cepas. _____	41
Figura 14. Mezcla de suelo-composta. _____	42
Figura 15. Pasos seguidos en la actividad de plantación. _____	43
Figura 16. Aplicación de riego de auxilio. _____	44
Figura 17. Mediciones: A) altura, B) diámetro basal y C) diámetro de copa. _____	45
Figura 18. Comparación de supervivencia de cada período. _____	48
Figura 19. Crecimiento porcentual de altura en los dos períodos. _____	51
Figura 20. Comparación de alturas obtenidas en cada evaluación. _____	52

Figura 21. Comparación de crecimientos en porcentaje en diámetro de copa en dos períodos. _____	54
Figura 22. Comparación de diámetros de copa obtenidos en cada evaluación. ____	55
Figura 23. Comparación de crecimientos en porcentaje de diámetro basal de dos períodos. _____	58
Figura 24. Comparación de diámetros basal obtenido en cada una de las evaluaciones. _____	59

RESUMEN

El experimento se realizó en el ejido San Juan de la Vaquería, Saltillo, Coahuila para evaluar la sobrevivencia y el crecimiento de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. con la aplicación de composta elaborada con biosólidos y estiércol. Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones, cuatro tratamientos con dosis diferentes de dos tipos de composta, y el último tratamiento fue testigo. Se establecieron 15 unidades experimentales de 100 m² con 20 plantas cada una. Se hicieron 3 evaluaciones en un período de 11 meses. Las variables fueron sobrevivencia y crecimiento en altura, diámetro de copa y diámetro basal. Se practicaron análisis de varianza ($\alpha=0.05$), y pruebas de medias de Duncan.

Se encontró que en los períodos de evaluación existen diferencias importantes entre tratamientos. El T2 (60% suelo y 40% de la composta relación 1:1) mostró el mayor porcentaje de sobrevivencia (77.78%) y mayor aumento en diámetro de copa (13.39 cm), equivalente a 47.09% de su diámetro inicial. El tratamiento 4 (60% suelo y 40% de la composta relación 3:1) fue el que mostró mayor efectividad en crecimiento de altura y diámetro basal (11.41 cm y 4.150 mm, respectivamente), en porcentual la altura incrementó 12.71% y el diámetro basal 43.8% de sus medidas iniciales.

Los resultados sugieren que al utilizar un sustrato mejorado con 40% de composta elaborada a partes iguales de biosólidos y estiércol se podría lograr mayor sobrevivencia y crecimiento de diámetro de copa; el mismo porcentaje de compostas elaborada con dos veces mayor cantidad de biosólidos que estiércol, facilitaría el crecimiento en altura y diámetro basal de plantaciones de *Pinus greggii* en sitios de escasa precipitación pluvial, como el de la presente investigación.

Palabras clave: Plantación, *Pinus greggii*, biosólidos y composta.

Correo electrónico; Rigoberto Otoniel Vazquez Morales, rovm-azul@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

Pinus greggii se considera importante por su plasticidad genética para adaptarse en suelos pobres, erosionados, con poca profundidad y materia orgánica (Salazar, 2003), por lo cual se ha recomendado su uso en programas de protección, recuperación de cuencas hidrológicas y áreas degradadas, debido a que muestra adaptación al igual que rápido crecimiento en terrenos con tales condiciones (Curiel, 2005). A parte de esto tiene gran potencial para usarse en programas de mejoramiento genético y plantaciones comerciales, dado que presenta floración precoz, producción de abundante semilla a temprana edad y rápido crecimiento (INIFAP, 2003).

Se han realizado múltiples investigaciones en cuanto a dicha especie con el fin de obtener resultados que proporcionen de alguna manera u otra beneficios ambientales, económicos y sociales (Vega, 2013). Como es el caso del presente estudio que pretende determinar el desarrollo de *Pinus greggii*, con la aplicación de compostas elaboradas con biosólidos y estiércol de ganado.

De esta manera contribuyendo en la búsqueda de alternativas de solución en disposiciones finales de lodos residuales. Puesto que los riesgos o desventajas que presentan estos lodos van desde el mal olor, fuente y diseminación de posibles enfermedades, presencia de elementos tóxicos como los metales pesados que pueden causar daño en plantas, animales y el hombre, sino se dan las disposiciones finales adecuadas. Por otro lado los biosólidos contienen un alto contenido de materia orgánica (M.O) y nutrimentos para las plantas como N y P; que permiten obtener beneficios de su aplicación en la agronomía (López, 2010)

Puesto lo anterior se pretende en esta investigación determinar la factibilidad de utilización de compostas a base de biosólidos como abonos orgánicos para suelos agrícolas y forestales mediante su aplicación en una plantación de *Pinus greggii* efectuada en el ejido San Juan de la Vaquería, del municipio de Saltillo, Coahuila,

evaluando su sobrevivencia y crecimiento en altura, diámetro de copa y diámetro basal.

1.1. Objetivos

General

Evaluar el efecto de la aplicación de composta a base de biosólidos y estiércol en la sobrevivencia y crecimiento de una plantación de *Pinus greggii* Engelm.

Específicos.

- 1- Determinar el efecto en la sobrevivencia de la plantación.
- 2- Determinar el efecto sobre el crecimiento en altura, diámetro de copa y diámetro basal.

1.2. Hipótesis

Nula (Ho.): No existen diferencias entre tratamientos en la sobrevivencia, ni el crecimiento en altura, diámetro de copa y diámetro basal en una plantación de *Pinus greggii*.

Alterna (Ha.): Al menos un tratamiento es diferente en la sobrevivencia, y el crecimiento en altura, diámetro de copa y diámetro basal.

1.3. Justificación

Tener mayores estudios, que ayuden a conservar y usar con mayor eficiencia la especie mexicana *Pinus greggii*, así como proporcionar alternativas para la restauración y/o conservación de los ecosistemas donde ésta se adapte, es la justificación sustancial de la presente investigación.

En particular ha llamado la atención *Pinus greggii*, para ser estudiado en la presente investigación, porque ha quedado claro que la producción de madera, la captura de carbono, la recuperación de ecosistemas forestales erosionados o deteriorados de alguna otra forma pueden ser tareas más fáciles si se usa dicha especie, esto por su adaptación a condiciones limitantes de humedad y fertilidad así como a extremos de temperatura y su rápido crecimiento en áreas marginales.

Por otro lado, se incluye en la presente investigación el uso de biosólidos provenientes de una planta tratadora de aguas residuales industrial. Contribuyendo así con alternativas para la transformación del lodo biológico, pues se sabe, sus componentes son ricos en carbono y nutrientes como N y P, elementos esenciales para las plantas, que pueden ser aprovechados y reciclados mediante el proceso de compostaje para mejorar el suelo, ya que representan riesgos ambientales si no son manejados adecuadamente provocando problemas como plagas, patógenos, y malos olores que causan daño a la salud pública.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características generales de *Pinus greggii*

2.1.1. Descripción de la especie

Pinus greggii es conocido con los nombres comunes siguientes: pino prieto en Coahuila, pino ocote en Hidalgo. También en los estados del norte se le conoce con el nombre de pino garabatillo y en las poblaciones del centro del país se le conoce como ocote u ocote chino (García, 2005).

Pertenece a la familia: *Pinaceae*, genero: *Pinus* y especie: *greggii* Engelm. Fue descrito por el Dr. George Engelmann en el año 1868, denominándolo en honor de Josiah Gregg (Saenz *et al.*, 2011).

A continuación se hace una descripción general y la Figura. 2 muestra las partes de la especie de *Pinus greggii* de acuerdo a CONAFOR (2007).

Fuste: Recto y de copa amplia de 20 a 25 metros de alto y en raras ocasiones hasta de 35 metros.

Corteza: Gruesa en el tronco, escamosa, con plagas alargadas y fisuras longitudinales, de color café oscuro por dentro y gris oscuro por fuera.

Ramillas: Frecuentemente con yemas (principales) multimodales, lisas, con pequeños levantamientos en las bases de las acículas (de los fascículos), de color café-amarillento a café-grisáceo; con fascículos extendidos hacia adelante, persistiendo hasta por cuatro años.

Acículas: De color verde oscuro, en fascículos de tres, de nueve a 13 centímetros y en algunas ocasiones desde siete hasta 15 centímetros de longitud; y de uno a 1.2 milímetros de ancho, rectas y rígidas.

Conos: Se presentan desde que los árboles son muy jóvenes, en verticilos de tres a ocho o más y en algunas ocasiones desde uno. Casi sésiles, persistentes, estrechamente ovoidales hasta oblongos cuando están cerrados, con la base oblicua, de 8 a 13 centímetros de ancho cuando están abiertos; pueden durar de cuatro a ocho años maduros y cerrados en el árbol.

Escamas del cono: De 80 a 120, permaneciendo cerrados, apófisis plana o ligeramente levantada de color café-amarillento con umbo gris deprimido o plano.



Figura 1. A) árbol, B) ramas, ramillas y hojas, C) corteza, D) semilla y alas y E) conos de *Pinus greggii*.

2.1.2. Localización geográfica

Pinus greggii se distribuye de forma natural sobre la Sierra Madre Oriental, en los extremos del Sureste de Coahuila, sur de Nuevo León, Sureste de San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo y el Norte de Puebla (García 2005) entre los paralelos 20° 00´ a 25° 40´ de latitud Norte y meridianos 97° 40´ a 101° 20´ de longitud Oeste; además se reporta en pequeños grupos en Veracruz (Saenz *et al.*, 2011). Su rango altitudinal va desde los 1300 a 2300 metros sobre el nivel del mar (CONAFOR, 2007).

2.1.3. Descripción de su medio ambiente

En los lugares de su distribución la precipitación varía de 600 a 900 mm y en algunas localidades es de 1000-1500 mm con régimen de lluvias en verano; la estación seca puede ser de 3-5 meses, la temperatura promedio del mes más frío es de 5-10°C, con una temperatura media anual de 10-15°C (García, 1996).

Curiel (2005) explica que esta especie se desarrolla en suelos delgados, calizos, pedregosos, de textura migajón areno-arcilloso, de color café rojizo, normalmente pobres en materia orgánica, con pH casi neutro, aunque al norte es más frecuente encontrarlos en suelos ligeramente alcalinos (pH 7-8) Para las poblaciones del norte del país, los suelos son del tipo litosol, característicos por presentarse en las superficies donde existen afloramiento de roca madre, son someros y desde luego son muy pedregosos con una profundidad menor a 10 cm, distribuidos en los taludes y cumbres; por sus características antes mencionadas tiene un alto riesgo de erosionarse tanto por factores bióticos y abióticos (García, 1996).

La vegetación presente en donde se distribuye esta especie corresponde a bosques de pino, y pino-encino (Rzedowski, 1978). Forma asociaciones con *Pinus leiophylla*, *P. teocote*, *P. montezumae*, *P. arizonica* var. *stormiae*, *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*, *P. patula*, *P. rudis*, *Abies vejari* y *Liquidambar styraciflua* (Salazar, 2003).

2.1.4. Importancia

Es una especie que ha logrado importancia a nivel nacional e internacional en países como Brasil, Chile, Colombia, México, Nueva Zelanda, el Sur de África y Zimbabwe (Dvorak *et al.*, 2000). Actualmente se considera importante por su plasticidad genética para adaptarse en suelos pobres, erosionados, con poca profundidad y materia orgánica (Salazar, 2003), por lo cual se ha recomendado su uso en programas de protección, recuperación de cuencas hidrológicas y áreas degradadas, debido a que muestra adaptación al igual que rápido crecimiento en terrenos con tales condiciones (Curiel, 2005). Ha demostrado tolerancia a sequía así como

resistencia a ciertas plagas y enfermedades forestales; además tiene gran potencial para usarse en programas de mejoramiento genético, dado que presenta floración precoz, producción de abundante semilla a temprana edad y rápido crecimiento (INIFAP, 2003).

2.2. Plantaciones forestales

2.2.1. Definición

Una plantación se define como un conjunto de árboles o plantas cultivadas (Cabrera, 2003); acción de plantar (latín: *plantationem*). Por su parte, la palabra forestal es todo lo relativo a bosques (italiano: *forestales*; latín medieval *forestis*).

Según la FAO (2002), las plantaciones forestales se definen como aquellas formaciones forestales sembradas en el contexto de un proceso de forestación o reforestación. Estas pueden ser especies introducidas o indígenas.

De su parte Moliendo (2002), argumenta que las plantaciones forestales pueden tener roles importantes: producción de madera; mejoramiento del suelo y aceleración de la sucesión en bosques secundarios o sencillamente de estética.

2.2.2. Importancia

México tiene un excelente potencial biológico, físico y climático que le permiten tener una diversidad de recursos maderables (García, 2005), ejemplo de ello es ser el número uno en cuanto a mayor número del género de *Pinus* (Salazar, 2003). Dicho potencial le favorece también para los establecimientos de plantaciones forestales (García, 2005).

Pero en los últimos años México enfrenta el dilema de explotar sus recursos naturales existentes, pero también se ve obligado a conservarlos. Para enfrentar esta problemática, se considera a las plantaciones forestales comerciales como el instrumento que contribuirá, por un lado, al abastecimiento de la creciente demanda nacional, en cuanto a productos forestales se refiere; por otro lado, generará

beneficios ambientales, económicos y sociales (Vega, 2013). Haciendo énfasis en cuestiones ambientales y confirmando lo anterior una de las alternativas para contrarrestar el problema de la deforestación es el establecimiento de plantaciones forestales (Capó, 2001).

2.2.3. Tipos de plantaciones

Las plantaciones actualmente se establecen con la finalidad del doble propósito: Productor-Protector, cumpliendo con muchas de las funciones de los bosques naturales. Si las plantaciones forestales se planifican correctamente, pueden ayudar a estabilizar y mejorar el medio ambiente (Guerrero *et al.*, 1998), buscando así el bienestar de la sociedad. A continuación se menciona los tipos de plantación que de alguna manera se contribuye a lo anterior mencionado.

Plantaciones forestales comerciales: Una plantación forestal comercial es el establecimiento y manejo de especies forestales en terrenos de uso agropecuario o terrenos que han perdido su vegetación forestal natural, con el objeto de producir materias primas maderables y no maderables, para su industrialización y/o comercialización (CONAFOR, 2010).

Plantaciones forestales de restauración y recuperación: Estos tipos de plantaciones tienen como objetivo principal la recuperación de áreas degradadas, las cuales han sufrido pérdidas de algunos de sus componentes, por lo tanto hay pérdida en su biodiversidad (García, 2002)

Plantaciones forestales de recreación: Son aquellas plantaciones urbanas en unidades deportivas, parques y jardines, vialidades, unidades habitacionales, entre otras. Reforestación suburbana en carreteras, zonas turísticas, zonas arqueológicas, con fines estéticos y/o turísticos (García, 2002).

2.2.4. Diseños de plantaciones

A continuación se describe y en la Figura 2 ilustra los diseños más comunes de las plantaciones forestales.

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 Las plantas se colocan formando triángulos 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 con pendientes mayores a 20 por ciento, aunque también se puede utilizar en terrenos planos. Las líneas de plantación deberán seguir las curvas de nivel. Con este tipo de diseño se logra minimizar el arrastre de suelo y a su vez aprovechar los escurrimientos (CONAFOR, 2010).

Plantaciones en curvas de Nivel: Es un sistema utilizado en pendientes pronunciadas. La distribución de las plantas debe ser en tresbolillo para favorecer el efecto positivo del control de la erosión, pero siempre siguiendo el sentido de las curvas de nivel. Para el trazado de las curvas se nivel se puede utilizar el nivel A (FONAM-Perú, 2007).

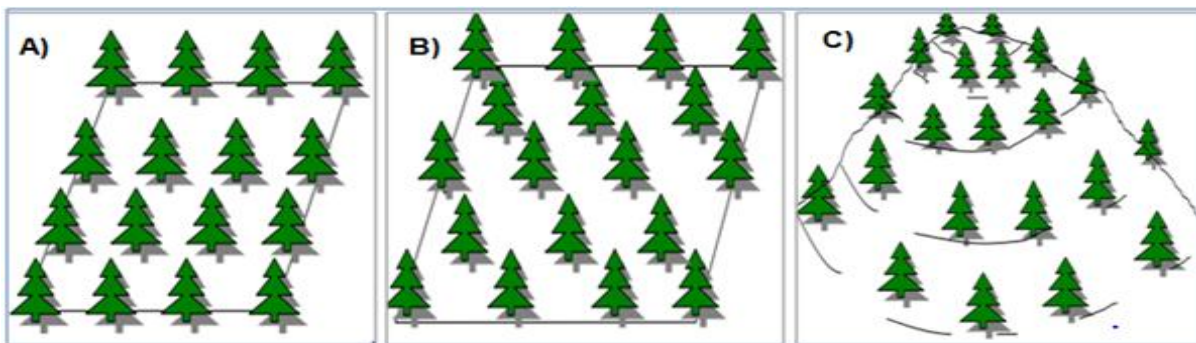


Figura 2. Diseños de plantaciones: A) Marco real, B) Tres bolillo y C) Curvas a nivel.

2.3. Biosólidos

2.3.1. Definición

En las definiciones de muchos autores declaran al biosólido como un material rico en materia orgánica proveniente del tratamiento de aguas residuales.

Jurado *et al.* (2004), mencionan que las plantas tratadoras de aguas residuales (PTAR) generan un subproducto conocido como “biosólidos” en México o como “sewagesludge” o “biosolids” en otros países, que es un material semisólido, oscuro con alto contenido de materia orgánica y nutrientes, que ha sido del resultado de un proceso de estabilización. La estabilización se realiza para reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores. Gracias a este proceso, el biosólido tiene aptitud para utilización agrícola y forestal, y para la recuperación de suelos degradados (Dáguer, 2003).

U.S.E.P.A. (2000), da a conocer que los biosólidos son principalmente materiales orgánicos producidos durante el tratamiento de aguas residuales, los cuales pueden ser utilizados en diversos usos beneficiosos. Uribe *et al.* (2001), mencionan que son materiales orgánicos ricos en nutrimentos, derivados del tratamiento de las aguas negras residuales, los cuales han sido estabilizados, cumpliendo con un proceso de formación específico y un estricto criterio de calidad y por lo tanto son adecuados para su aplicación al suelo. El término biosólidos proviene del método más común que se utiliza para su obtención, el cual consiste en el procesamiento biológico (digestión aeróbica y anaeróbica) de los sólidos de las aguas negras o residuales. Son materiales orgánicos, son un recurso que puede ser usado como abono orgánico suplementario que permite la mejora de suelo y una mayor producción en cultivos a un costo reducido en comparación de otros abonos.

También son muchos los autores que le dan a los biosólidos el sinónimo de lodos. Ortiz *et al.* (1995), dan a conocer que se les llaman “lodos residuales” a los residuos sólidos remanentes del proceso de tratamiento de aguas de desecho, que están compuestos por materia orgánica residual no descompuesta, microorganismos,

compuestos no biodegradables que se han removido durante el tratamiento. Pueden estar presentes en sus formas originales o haber sufrido transformaciones durante el proceso.

Los lodos o biosólidos son subproductos líquidos, sólidos o semisólidos generados durante el tratamiento de aguas residuales, esto de acuerdo a Paz *et al.*, (2007). Para concluir con la presente definición, la NOM-004-SEMARNAT-2004, define a los biosólidos como aquellos 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, puede ser susceptibles de aprovechamiento.

2.3.2. Características físicas, químicas y microbiológicas

Mediante estudios se ha comprobado que los biosólidos tienen un potencial agronómico para ser usado como abono orgánico, ya que sus características físicas-químicas lo permiten.

El color de los lodos varía entre el pardo y el gris y su color es a menudo desagradable, puesto que se trata de productos fácilmente fermentables y existe un inicio de descomposición. Los principales parámetros son: contenido de materia volátil, contenido de agua intersticial, viscosidad, carga específica, resistencia específica, compresibilidad y poder calórico (Robledo, 2012).

Existen varios beneficios para los productores a través de la aplicación de biosólidos en sus tierras, como la mejora física (capacidad de retención de agua), química (reducción de la aplicación de fertilizante) y propiedades biológicas del suelo las cuales incrementan la población microbiana (Ozores y Méndez, 2010). Obreza y Ozores (1999), declaran que los biosólidos tienen un pH alcalino cercano al neutro, una relación de carbono:nitrógeno (C/N) menor de 10 y un contenido de 1 a 5% de N y fosfato (P_2O_5).

Dáguer (2003), publica un estudio realizado en cuatro grandes PTAR en Colombia, las cuales fueron: El Salitre, San Fernando, Cañaveralejo y Río Frío. Se hicieron

análisis físicos y químicos donde demostraron que los biosólidos tuvieron un rango de pH de 6.05-7.9, un 57.5 de humedad en promedio, presentan concentraciones típicas de nitrógeno y fósforo que muestran su alto potencial de aprovechamiento en actividades agrícolas y no agrícolas (recuperación de suelos, actividades forestales, cobertura de rellenos).

En los análisis de los biosólidos provenientes de una PTAR en Colombia señalaron la presencia de *Ascaris lumbricoides* viables en las 12 muestras analizadas. En algunas muestras, se observaron huevos de *Toxocara* spp. viables en cantidad baja y se reportaron huevos de *Hymenolepis diminuta* en todas las muestras procesadas (Bedoya *et al.*, 2013). En ese mismo estudio, en cuanto a metales pesados mostraron una gran variabilidad con valores máximos de 894,6 ppm, 11,17 ppm, 94,6 ppm y 398,2 ppm para Cr, Cd, Pb y Ni respectivamente.

2.3.3. Beneficios al suelo

Los autores son claros en mencionar que sin duda alguna existe beneficios de la aplicación de biosólidos en los suelos. Varios estudios han evidenciado que la aplicación de los biosólidos favorece las características físico-químicas del suelo y la producción agrícola (Bedoya *et al.*, 2013).

A corto plazo, la adición de lodos residuales puede mejorar la productividad del suelo cultivable, ya que por su alto contenido de materia orgánica que ayuda a retener agua en el suelo y con ello una mejora en la estructura de la misma. La incorporación de biosólidos a los suelos también facilita la disponibilidad, suministro inmediato y transporte de nutrientes necesario para el crecimiento y desarrollo de las plantas, principalmente N y P. A largo plazo el lodo entrega nutrientes de forma lenta pero continua y mejora las propiedades físicas del suelo, tales como la estructura, permeabilidad y poder de amortiguamiento (Robledo, 2012).

Chicón (2000), propone el aprovechamiento de los lodos como mejoradores de suelos, ya que, además de proporcionar nutrientes, facilitan el transporte de los

mismos, incrementan la retención de agua y mejoran el suelo cultivable. Por tanto, al uso estrictamente agrícola hay que sumar la posibilidad de que se les pueda utilizar para regenerar suelos estériles. La norma NOM-004-SEMARNAT-2002 declara un beneficio el uso de los biosólidos como abonos, mejoradores o acondicionadores de los suelos por su alto contenido de materia orgánica y nutriente.

En un estudio realizado en parcelas de cultivo de chile pimienta (*Capsicum annuum*) se obtuvo que el pH del suelo, la prueba de fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, manganeso, hierro y cobre fueron mayores en las parcelas con aplicación de biosólidos que la parcela testigo, la concentración de materia orgánica en el suelo fue tres veces mayor (Ozores y Méndez, 2010).

Potisek *et al.* (2010), observaron en un experimento que al aplicar biosólidos en suelos de estructuras alterada, observó el incremento de la materia orgánica en el estrato superficial del suelo, el contenido de nitratos y fósforo aprovechable en el suelo hasta una profundidad de 35 cm, mientras que el potasio no aumentó significativamente con la aplicación de biosólidos. La concentración de micronutrientes se incrementó en todo el perfil de suelo con la aplicación de biosólidos.

2.3.4. Limitaciones de su uso

Los riesgos o desventajas que presentan los lodos residuales van desde el mal olor, fuente y diseminación de posibles enfermedades, presencia de elementos tóxicos como los metales pesados que pueden causar daño en plantas, animales y el hombre.

El uso de los residuos tales como los lodos o biosólidos no está exento de riesgos, debido principalmente a su contenido de metales pesados. La concentración y la disponibilidad de metales pesados es probablemente el principal factor que se debe tener en cuenta cuando los biosólidos son aplicados al suelo como abonos o mejoradores del suelo (Robledo, 2012).

Chicón (2000), menciona que el aporte importante de los lodos al suelo de forma continua y reiterada durante largos períodos de tiempo, favorece la acumulación de metales pesados en el mismo, por lo que podría alcanzar niveles de contaminación suficientemente elevados. Se denomina metales pesados a los elementos que químicamente tienen una densidad igual o superior a 5 g cm^{-3} cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Los metales pesados son, principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Zn, Sb y Bi (Hernández, 2004).

Los lodos residuales, sin importar su origen contienen metales pesados, claro que su concentración varía, aun así éstos son una fuente de contaminación significativa en México. Los agentes y las vías de contaminación por metales pesados en las aguas residuales de origen urbano son igualmente diversos, destacando los vertidos ilegales a la red de alcantarillado de aceites lubricantes usados con altos contenidos de plomo, pilas botón con elevados niveles de níquel, cadmio o mercurio procedentes del ámbito doméstico, la corrosión de tuberías y depósitos metálicos y, sobre todo, los procesos industriales (Chicón, 2000). Las industrias son las que presentan mayores emisiones de metales pesados, entre los que se encuentran el Cd, Pb, Fe, Hg, Mn, Cr y Ni (Cervantes y Moreno, 1999).

2.3.5. Regulación de su uso

En México y muchos países la utilidad de biosólidos tiene diferentes restricciones, su uso en la agricultura está estrictamente regulado debido a su contenido de organismos patógenos y elementos potencialmente tóxicos, esto con el fin de asegurar el bienestar de los suelos, agua, animales y personas.

Por lo tanto, en México se ha creado la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 establece límites máximos permisibles para metales pesados, patógenos y parásitos en lodos residuales y biosólidos. Clasifica los biosólidos en tipo: excelente y bueno (Tabla 1), en función de su contenido de metales pesados.

Tabla 1. Límites máximos permisibles para metales pesados en 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	197	120
cobre	134	121
Plomo	202	210
Mercurio	24	20
Níquel	43	53
Zinc	3	11

Se clasifican en clase: A, B y C (Tabla 2) en función de sus contenidos de patógenos y parásitos. En base a lo anterior se establecen los límites máximos permisibles de su utilidad.

Tabla 2. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación (coliformes fecales nmp [*] /g en base seca)	Patógenos (<i>Salmonella spp.</i> nmp/g en base seca)	Parásitos (Huevos de helmintos/g en base seca)
A	Menor de 1000	Menor 3	Menor de 1 ^{**}
B	Menor de 1000	Menor 3	Menor de 10
C	Menor de 2000000	Menor de 300	Menor de 35

^{*}Número más probable. ^{**}Huevos de helmintos viables.

La misma norma NOM-004-SEMARNAT-2002 establece que el aprovechamiento de los biosólidos está en función del tipo (según el contenido de metales pesados) y clase (según el contenido de patógenos y parásitos) (Tabla 3) y con un contenido de humedad de hasta el 85%.

Tabla 3. Aprovechamiento de biosólidos.

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

2.4. Compostaje

2.4.1. Definición

Son muchos los autores que coinciden en que el compostaje es un proceso termofílico y actividad microbiológica en la unión o agrupamiento de materiales orgánicos.

El compostaje es un proceso biológico termofílico en donde la materia orgánica es descompuesta por una gran cantidad de microorganismos. Bacterias, hongos, protozoos, ácaros, miriápodos, entre otros organismos aeróbicos, digieren los compuestos orgánicos transformándolos en otros más simples (Valenzuela, 2008).

Moreno (2004), declara que el compostaje es un proceso aeróbico, biológico, termofílico de degradación y de estabilización de la materia orgánica bajo condiciones controladas. Durante el proceso los sustratos más lábiles de la materia orgánica (azúcares, aminoácidos, lípidos y celulosa) son descompuestos, bajo condiciones controladas, en menor tiempo por bacterias, hongos y actinomicetos mesófilos tolerantes a temperaturas medias. La proporción de esos microorganismos varía según el sustrato. Posteriormente, se lleva a cabo la descomposición de los materiales más recalcitrantes (hemicelulosa y lignina).

Como se puede apreciar las definiciones anteriores describen específicamente al compostaje, otros autores hacen énfasis en el producto final o resultado de dicho proceso, es decir; a la composta o compost, tales como Soliva y Huerta (2004), que lo definen como materia orgánica que ha sido estabilizada hasta transformarse en un producto parecido a las sustancias húmicas del suelo, que está libre de patógenos y de semillas de malas hierbas, que no atrae insectos o vectores, que puede ser manejada y almacenada sin ocasionar molestias y que es beneficiosa para el suelo y el crecimiento de las plantas.

Soliva y López (2004), describen a la composta como la descomposición biológica y estabilización de substratos orgánicos en las condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termófilas, resultado de una generación de energía calorífica de origen biológico, de la que se obtiene un producto final suficientemente estable para el almacenamiento y la utilización en los suelos sin impactos negativos sobre el entorno.

Torres (2005), por su parte hace lo mismo donde define a la composta como un abono orgánico que se forma por la degradación microbiana de materiales acomodadas en capas y sometidas a un proceso de descomposición; los microorganismos que llevan a cabo la descomposición o mineralización de los materiales ocurren de manera natural en el ambiente, así mismo menciona que es un tipo de abono económico y fácil de implementar.

2.4.2. Beneficios de su uso

Los impactos positivos que tiene el uso de compostas son sin duda alguna muy notables y de los cuales son demostrados por estudios y/o investigaciones. Soliva y Huerta (2004), menciona que el uso de este abono orgánico permite el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, regular la humedad, peso y volumen y con ello la producción de cultivo de calidad.

Torres (2005), coincide también con los beneficios e importancia del uso de compostas ya que da a conocer que estas mejora la sanidad y el crecimiento de las plantas, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; es fuente importante de nutrimentos para las plantas, aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo y la capacidad de intercambio de cationes en el mismo, es una fuente de alimentos para los microorganismos benéficos y amortigua los cambios de pH en el suelo.

2.4.3. Proceso de compostaje

2.4.3.1. Materiales

Torres (2005,) indica que una composta requiere de desechos orgánicos que no son tan difíciles de obtener, que por su origen se clasifican en:

Domésticos; son materiales residuales de la preparación de comidas (partes de frutas, verduras y cascara de huevo, entre otros); de jardín: incluye restos de cultivos de las huertas, flores muertas, tallos pastos y hojarascas; subproductos agrícolas: las más utilizadas son los residuos de cosechas de prácticamente de todo cultivo; desechos de ganado: los estiércoles principalmente, ya que son excelentes para el compostaje porque contienen un alto porcentaje de nutrimentos; forestales: los restos de los árboles, hojarascas, estos materiales contienen grandes cantidades de celulosas y lignina que se descomponen parcialmente en la pila de compostaje y continúan mineralizándose en el suelo después de aplicarlos; desechos urbanos y agroindustriales: se constituyen de la fracción biodegradable de la basura y los residuos que proceden de la industrialización de productos.

Esta misma fuente menciona que estos materiales presentan relaciones de carbono-nitrógeno (C/N) variables (Tabla 4); una relación C/N alta significa que el proceso de descomposición es lento y requiere de nitrógeno adicional para acelerar el proceso de descomposición, como se reporta para los residuos de cosecha y para algunos subproductos forestales agroindustriales.

Tabla 4. Relación C/N en materiales usados en compostas.

Material	Relación C/N
Desechos de ganado	
Estiércol almacenado (3 meses)	15-20
Orina	8
Desechos de cosecha	
Residuos de leguminosas	15
Desechos de caña de azúcar	15-20
Paja de avena	50-120
Paja de trigo	130-150
Desechos vegetales	
Follaje de pino	5
Residuos frescos de jardín	12
Hojas secas	50-80
Desechos agroindustriales	
Pulpa de café seca	3
Desechos de cervecerías	15
Bagazo de caña	200
Aserrín	200-500

2.4.3.2. Mezclado

Es la primera etapa del proceso y consiste en obtener una mezcla homogénea al revolver el material acondicionador con el lodo. La mezcla final debe tener una porosidad de 30 a 35% (espacios libres) y una humedad inferior al 60% (López, 2010).

Cuando dos o más materiales separados son compostados conjuntamente, la mezcla de materia prima antes del compostaje normalmente tiene lugar como una operación separada. Sin embargo, para métodos que incluyen agitación regular como hileras o contenedores agitados, sería suficiente cargar la materia prima conjuntamente en proporciones aproximadas y confiar en la agitación durante el compostaje para crear una mezcla homogénea. Cuando se realiza la mezcla como una operación separada se lleva a cabo con volteos, equipos de mezcla que utilizan hélices o paletas, amasadoras o volteos de hilera (Valenzuela, 2008).

2.4.3.3. Estabilización de temperatura.

El desarrollo o comportamiento de la temperatura en compostas se da en 3 etapas: Mesófila, termofílica y maduración (Figura 3). La primera etapa se da en los primeros días o semanas de la elaboración de la composta, cuando esta alcanza los 35-40° C, en esta etapa se da la acidificación de materia, degradación de fracciones de carbono débiles, mueren hongos y generan calor y CO₂. La etapa termofílica (65° C) tiene lugar después del mezclado y requiere de tres o cuatro semanas para completarse. En esta etapa se produce un aumento progresivo de la temperatura del material a compostar. Durante este período la mezcla debe tener aireación manual o forzada con el fin de proporcionar el oxígeno necesario (Haug, 1993). Es la etapa de alta actividad microbiana caracterizada por la presencia de microorganismos termofílicos y alta reducción de sólidos volátiles biodegradables, es la etapa que requiere de mayor control (López, 2010).

Como ya se mencionó la temperatura óptima de la descomposición termofílica es de 55°- 65° C considerando la producción de CO₂; en algunas ocasiones la temperatura por la actividad microbiana puede alcanzar hasta 75° C, situación no deseable, debido que a temperaturas de 65° C la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco es muy alta (Torres, 2005).

Una vez que los nutrientes y energía comienzan a escasear, la actividad de los microorganismos termofílicos disminuye, consecuentemente la temperatura en la pila descende desde los 65° C hasta la temperatura ambiente, provocando la muerte de los anteriores y la reaparición de microorganismos mesofílicos al pasar por los 40-45° C, estos dominarán el proceso hasta que toda la energía sea utilizada, dando lugar así a la etapa de maduración.



Figura 3. Etapas de temperatura en el proceso de compostaje.

2.4.3.4. Maduración de composta

Se da después de la estabilización termofílica y su duración es de aproximadamente 30 días. Es una etapa muy importante donde se puede lograr la degradación adicional de compuestos difícilmente biodegradables (Soliva y Huerta, 2004). A medida que el compost madura, la generación de calor disminuye sustancialmente debido a la limitación de nutrientes, con un descenso importante de la actividad microbiana. La maduración es una fase posterior de compostaje en la que la velocidad de descomposición decrece a un paso lento continuo y el compost madura en temperaturas ($< 40^{\circ} \text{C}$) bajas mesofílicas (Soliva y López, 2004)). La maduración típicamente engloba el amontonar parcialmente el compost acabado en pilas que se airean pasivamente. Cada vez más, las pilas de maduración se airean por ventiladores para evitar condiciones anaeróbicas, olores y temperaturas excesivas.

2.4.3.5. Producto final

Una vez finalizado el proceso, se obtiene un producto humificado estable o maduro en que los mecanismos de descomposición microbiana no ocurren o lo hacen de forma muy lenta. La temperatura y pH se estabilizan, si el pH es ácido nos indica que

el compost no está aún maduro, los actinomicetos adquieren especial importancia en la formación ácidos húmicos y son frecuentemente productores de antibióticos que inhiben el crecimiento de bacterias y patógenos, mientras que los macroorganismos tales como nemátodos, rotíferos, escarabajos, lombrices etc., incrementan su actividad desempeñando la función de remover, excavar, moler, masticar y en general romper físicamente los materiales incrementando el área superficial de estos para permitir el acceso de los microorganismos. El color del producto final debe ser negro o marrón oscuro y su olor a tierra de bosque, además ya no debemos reconocer los residuos iniciales (Ríos, 2009).

Se llevan algunas prácticas para obtener un producto de mayor calidad como es el secado y cribado. El cribado permite una mejor recuperación del material acondicionador que puede reciclarse al proceso y un producto de tamaño homogéneo dependiendo del uso que quiera darse a la composta. Es realizado más a menudo para eliminar las partículas grandes para mejorar la apariencia o el rendimiento de la composta (López, 2010).

2.4.4. Factores que influyen en el proceso de compostaje.

2.4.4.1. Tamaño el material

El tamaño inicial de las partículas que componen la masa a compostar es una importante variable para la optimación del proceso, ya que cuanto mayor sea la superficie expuesta al ataque microbiano por unidad de masa, más rápida y completa será la reacción. Por lo tanto, el desmenuzamiento del material facilita el ataque de los microorganismos y aumenta la velocidad del proceso. Se ha descrito en una experiencia con residuos agroindustriales que la velocidad del proceso se duplicaba al moler el material. Pero aunque un pequeño tamaño de partícula provoca una gran superficie de contacto para el ataque microbiano, también se reduce el espacio entre partículas y aumenta las fuerzas de fricción (López, 2010), esto limita la difusión de oxígeno hacia el interior y de dióxido de carbono hacia el exterior, lo cual restringe la proliferación microbiana y puede dar lugar a un colapso microbiano al ser imposible

la aireación por convección natural. Por otra parte, un producto muy fino no es aconsejable por riesgos de compactación (Bueno *et al.*, 2008).

2.4.4.2. Temperatura

La temperatura es uno de los factores que influye de forma más crítica sobre la velocidad de descomposición de la materia orgánica durante el compostaje. Las temperaturas óptimas del proceso se encuentran entre 45 y 59° C. Temperaturas menores de 20° C frena el crecimiento microbiano, y por tanto, la descomposición de los materiales. Los microorganismos que toman parte en la descomposición de los residuos sólidos son fundamentalmente bacterias y hongos, que mantienen su actividad en un determinado intervalo de temperatura; de esta forma, se pueden distinguir microorganismos mesófilos, que desarrollan su actividad entre 15 y 45° C y termófilos, que desarrollan su actividad entre 45 y 70° C (INIFAP, 2002, citado por López, 2010). Si la temperatura es superior a 59° C se inhibe el desarrollo de gran parte de los microorganismos o provoca su eliminación, con lo que se reduce la tasa de descomposición microbiana.

Durante los primeros días, la temperatura se eleva a 60 ó 70° C, posteriormente se estabiliza a 40 ó 50° C; si la temperatura no aumenta, indica que hay un defecto en la aireación, una baja relación C/N o un bajo nivel de humedad. Temperaturas elevadas mayores de 65° C, prolongados, pueden ocasionar la muerte de bacterias benéficas, lo que frena la fermentación y provoca pérdidas de nitrógeno (Torres, 2005).

2.4.4.3. Humedad

Vicencio *et al.* (2011), proponen que la humedad de las compostas estén entre los niveles óptimos del 40-60 %. La mezcla lodo-material texturizante deberá tener un nivel de humedad no mayor de 60%, especialmente en el compostaje en pila estática, si el contenido en humedades es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se

disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso de degradación se entorpece haciéndose más lento. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas. Para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la humedad máxima permisible es del 75-85% mientras que para material vegetal fresco, ésta oscila entre 50-60%. Kiely (1999), indica valores óptimos de humedad entre el 50-60% para garantizar una eficiente actividad metabólica, porcentajes menores a 20% cesan la biodegradación y el proceso se vuelve más lento (López, 2010).

El exceso de humedad puede ser reducido aumentando la aireación. A su vez, con un buen control de la humedad y de la aireación, puede llevarse a cabo el control de la temperatura porque el exceso de aire puede secar la mezcla. Esto es debido a que durante el proceso de compostaje se debe llegar a un equilibrio entre los huecos entre partículas (de tamaño variable) que pueden llenarse de aire o de agua. Por lo tanto, la humedad óptima depende del tipo de residuo (Vicencio *et al.*, 1993).

Si hay exceso de humedad, se puede airear la mezcla o agregar elementos secos como paja y desperdicio de papel que absorban la humedad; si falta humedad, se puede regar la mezcla o taparla con plástico para reducir la evaporación del agua

2.4.4.4. Aireación y Oxígeno

El oxígeno es elemento esencial para la descomposición aerobia y la supervivencia de la microbiota de la composta, para conseguir una buena distribución del oxígeno en toda la masa se hace necesaria la adición de un material texturizante (triturado de poda o madera) que proporcione estructura y porosidad al residuo a compostar o algún otro sistema de aireación. El oxígeno usado para la degradación de la materia orgánica durante el compostaje es sólo del 5 al 15% del requerido por el proceso para elevar la temperatura y evaporar el agua en exceso (López, 2010).

En el proceso de compostaje, el oxígeno se requiere para el metabolismo aeróbico, ligado a la oxidación de moléculas orgánicas presentes en el material por

descomponer. Por ello se requiere aumentar la aireación por medio de volteos periódicos de las pilas; con estas acciones, además de suministrarse oxígeno, se disipa el calor producido dentro de la pila (Torres , 2005).

2.5. Fertilidad de suelos

2.5.1. Definición e importancia

Antes de definir fertilidad de suelos es preciso anticiparse con la definición de fertilidad, por ello se dice que es cualquier material que contenga uno o más de los nutrientes esenciales y que se añada al suelo o se aplique sobre el follaje de las plantas con el propósito de complementar el suministro de nutrientes a éstas se denomina fertilizante. Los fertilizantes incluyen a todos aquellos materiales que se agregan a los suelos para suministrar ciertos elementos esenciales al crecimiento de las plantas (López, 2010).

Este mismo autor menciona que la fertilidad del suelo se define como la cualidad que permite a un suelo proporcionar los compuestos adecuados, en la cantidad conveniente y en el equilibrio apropiado, para el crecimiento de determinadas plantas cuando otros factores son favorables.

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas. En lo referente al suministro de condiciones óptimas para el asentamiento de las plantas, estas características no actúan independientemente, sino en armónica interrelación, que en conjunto determinan la fertilidad del suelo. Por ejemplo, un suelo puede estar provisto de suficientes elementos minerales -fertilidad química- pero que no está provisto de buenas condiciones físicas y viceversa. Igualmente, la fertilidad del suelo no es suficiente para el crecimiento de las plantas; el clima juega un papel importante y determinante en muchos casos. Por ejemplo se puede tener un suelo fértil y que dadas las temperaturas extremas no es capaz de

producir buenas cosechas, entonces es un suelo fértil, no productivo (Sánchez, 2007).

2.5.2. Tipos de fertilizantes

Los fertilizantes pueden ser orgánicos o inorgánicos (también llamados químicos). Entre los principales abonos orgánicos podemos citar el estiércol animal (caballo, ganado, gallina, conejo), la harina de huesos y harina de sangre. Tanto los fertilizantes orgánicos como los inorgánicos son importantes para asegurar el buen desarrollo de las plantas, pues son elementos que se completan para abastecer de la fertilidad ideal al suelo (Morales, 2010).

2.5.2.1. Fertilización Química

Esta consiste en la aplicación de abonos producidos industrialmente que reúnen condiciones técnicas de calidad como proveedores de nutrimentos a los cultivos; como son las sales solubles, altamente concentradas, de fácil y rápida liberación, pero generalmente de corta acción residual (López, 2010). Es la práctica usual y recomendada como la forma más eficiente de suplir minerales a las plantas, su principal ventaja radica en la capacidad de proporcionar mayor cantidad de nutrimentos en menor volumen de material fertilizante, lo que facilita su manejo en el transporte y distribución en el campo. Además, al tener un balance homogéneo de componentes químicos, este tipo de fertilización permite establecer con mayor precisión la dosificación requerida (López, 2010).

2.5.2.2. Fertilización Orgánica

De acuerdo con la FAO e IFA (2002), el abono orgánico a menudo crea la base para el uso exitoso de los fertilizantes minerales. La combinación de abono orgánico / materia orgánica y fertilizantes minerales (Sistema Integrado de Nutrición de las Plantas, SINP) ofrece las condiciones ambientales ideales para el cultivo, cuando el abono orgánico / la materia orgánica mejora las propiedades del suelo y el suministro de los fertilizantes minerales provee los nutrientes que las plantas necesitan. No

obstante, el abono orgánico y la materia orgánica por sí solo no es suficiente (y a menudo no es disponible en grandes cantidades) para lograr el nivel de producción que el agricultor desea. Los fertilizantes minerales tienen que ser aplicados adicionalmente. Aún en países en los cuales una alta proporción de desperdicios orgánicos se utiliza como abono y suministro de material orgánico, el consumo de fertilizantes minerales se ha elevado constantemente.

2.5.3. Propiedades del suelo

2.5.3.1. Propiedades Físicas

Textura: El término textura, se refiere a la proporción de arena, limo y arcilla expresados en porcentaje. En la fracción mineral del suelo, son de interés edafológico solamente las partículas menores de 2 mm de diámetro. A las partículas mayores de 2 mm de diámetro se les denomina “modificadores texturales”, dentro de este concepto también se incluyen los carbonatos, la materia orgánica, las sales en exceso, etc., consecuentemente: % arena + % limo + % arcilla = 100% (López, 2010).

Estructura: Es la manera como se agrupan las partículas de arena, limo y arcilla, para formar agregados, NO debe confundirse “agregado” con “terron”. El terrón es el resultado de las operaciones de labranza y no guarda la estabilidad que corresponde a un agregado. El factor cementante de los agregados del suelo lo constituyen la materia orgánica y la arcilla básicamente. Del mismo modo, el calcio favorece mucho a la agregación, mientras que el sodio tiene un efecto dispersante. La Estructura se juzga por: tipo o forma del agregado: laminar, prismática, columnar, bloque cúbico angular, bloque cúbico subangular, granular, migajosa (Sánchez *et al.*, 2007).

Porosidad: La porosidad, no es otra cosa que el porcentaje de espacios vacíos (o poros) con respecto del volumen total del suelo (volumen de sólidos + volumen de poros). A su vez, la porosidad incluye macroporosidad (poros grandes donde se ubica el aire) y la microporosidad (poros pequeños, que definen los capilares donde

se retiene el agua). Por lo general los suelos arcillosos son los que tiene mayor porcentaje de porosidad (Tabla 5) y en su mayoría son microporos (López, 2010).

Tabla 5. Distribución de diferentes poros en suelos de tres clases texturales.

Suelo Textura	Microporosidad (%)	Macroporosidad (%)	Porosidad (% total)
Arenoso	3	34	37
Franco	27	23	50
Arcilloso	44	9	53

Densidad: La composición mineral es más o menos constante en la mayoría de los suelos, por tanto se estima que la Densidad Real varía entre 2.6 a 2.7 g/cm³ para todos los suelos. En tanto que la Densidad Aparente depende del grado de soltura o porosidad del suelo, es un valor más variable que depende además de la textura, el contenido de materia orgánica y la estructura (López, 2010).

2.5.3.2. Propiedades Químicas

El pH (potencial de Hidrogeno) es una propiedad que tiene influencia indirecta en los procesos químicos, disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y actividad microbiana. Los suelos de pH fuertemente ácidos, no son recomendables por la gran cantidad de aluminio y la disminución de la actividad microbial. Los suelos alcalinos, originan una escasa disponibilidad de elementos menores, excepto molibdeno, mostrando una marcada deficiencia (Sánchez *et al.*, 2007).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): Es otra propiedad química que designa los procesos de: absorción de cationes por el complejo de cambio desde la solución suelo y liberación de cationes desde el complejo de cambio hacia la solución suelo. Esta propiedad es atribuida a la arcilla y al humus, de manera que la CIC, está

influenciada por la cantidad y tipo de arcilla, la cantidad de humus, el pH o reacción del suelo (Sánchez *et al.*, 2007).

2.5.3.3. Propiedades Biológicas

Dentro las propiedades biológicas del suelo se destacan los ciclos de nitrógeno y Carbono que continuación se describe de acuerdo a la FAO, (2015).

El Ciclo del nitrógeno del suelo se relaciona con la actividad microbiana y fauna del suelo como las lombrices, nematodos, protozoarios, hongos, bacterias y artrópodos. La biología del suelo juega un papel fundamental en la composición del suelo y sus características. Los organismos del suelo descomponen la materia orgánica proveniente de restos vegetales y animales liberando a su vez nutrientes para ser asimilados por las plantas. Mientras que el ciclo del Carbono es el proceso donde el elemento de carbono se intercambia entre la biosfera, pedosfera, geosfera, hidrosfera y atmosfera de la Tierra. Se designa como el proceso más importante del planeta al reciclar y reutilizar el elemento más abundante del planeta. Los organismos que viven en el suelo son factores determinantes para la circulación de nutrientes y del carbono en el suelo.

2.5.4. Factores que influyen en la fertilidad de suelos

Los factores físicos, químicos y biológicos son los de mayor influencia en la fertilidad de suelos. Los físicos son los que condicionan el desarrollo del sistema radicular, y su aporte hídrico. La fertilidad física se identifica por: textura, estructura, porosidad, aireación, capacidad de retención hídrica, estabilidad de agregados entre otros; los químicos que hace referencia a la reserva de nutrientes y su aporte a las plantas. Se caracteriza por: capacidad de cambio de cationes, pH, materia orgánica, macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (B, Fe, Mo, Mn, Zn, Cu, Na y Cl) y sus formas químicas en el suelo que condicionan su biodisponibilidad; los biológicos, determinados por la actividad de los microorganismos del suelo. La microflora del suelo utiliza la materia orgánica como sustrato y fuente de energía,

interviniendo en la producción de enzimas, ciclo de C y de N, transformaciones biológicas de nutrientes y procesos de humificación y mineralización (Navarro, 2003).

2.6. Trabajos a fines

2.6.1. Uso de biosólidos en el ámbito agrícola y forestal

La aplicación de biosólidos al suelo, sola o en combinación con otros materiales ha sido reportada en varias publicaciones por contribuir al crecimiento y el aumento en el rendimiento en el ámbito agrícola y forestal. Aunque es en lo agrícola las más numerosa en cuanto a publicaciones de los resultados del uso de lodos biológicos.

Ozores y Méndez (2010), dan a conocer los resultados en un cultivo de chile pimiento (*Capsicum annuum*), la biomasa de la planta fue mayor con la aplicación de biosólidos que el control al cual no se había aplicado este material biológico.

Uribe (2003), en una investigación encontró que con la aplicación de biosólidos, la producción de forraje seco se incrementó entre un 17 a 31% en comparación a la fertilización química, la dosis agronómica de biosólidos apropiada en alfalfa fue de 13 t ha⁻¹ en base seca.

Barrios (2009), menciona en una publicación, que en Australia se hizo una aplicación previa a la siembra de pinos (no especifica especie o especies) del que se obtuvo un incremento en altura hasta en 50% y el diámetro hasta en 85% (Figura 4).

Este mismo autor informa que en Jalisco, México se hicieron pruebas en *Pinus douglasiana*, durante 14 meses de establecimiento, se aplicaron cantidades de biosólidos por árbol (30 a 100 g/árbol). El porcentaje de sobrevivencia fue mayor en un 20.9% y su crecimiento en altura y diámetro fue de 17.8 y 17.5%, respectivamente.

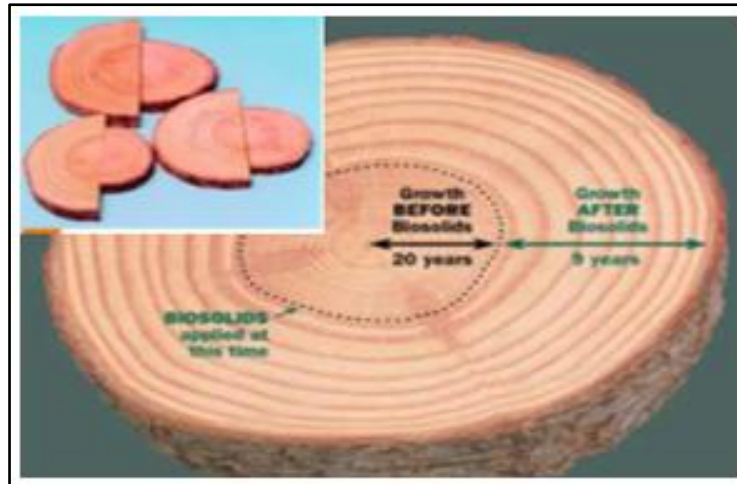


Figura 4. Crecimiento en diámetro basal en un pino con la aplicación de biosólidos.

2.6.2. Evaluaciones de sobrevivencia en plantaciones de *P. greggii*

Muños *et al.* (2012), en un experimento de evaluación de sobrevivencia en una plantación de *Pinus greggii* con espaciamiento de 2.0 x 4.0 y 2.5 x 4.0, en el municipio Paracho, Michoacán, a los cinco meses de establecimiento los resultados de sobrevivencia en los dos espaciamientos fue de 52.80 y 61.78%. Las plantas producidas en sistema tecnificado de charolas originó una mortandad estimada en 12 %, del material vegetal producido en el sistema tradicional fue el 5.23% (Figura 5) de la mortandad en la plantación de dicha especie.

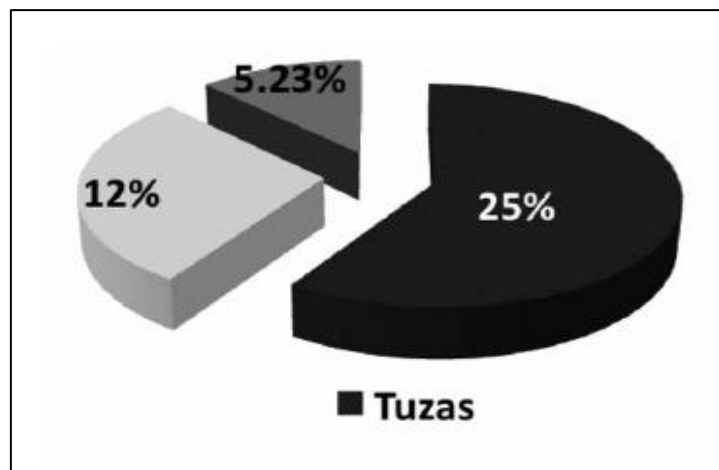


Figura 5. Mortalidad de la plantación establecida con dos espaciamientos.

En Tecámac, Estado de México, se estableció una plantación de *Pinus greggii* para evaluar su sobrevivencia. A 11 meses de su establecimiento el testigo resultó con mejor respuesta (60.8% de sobrevivencia) en comparación con los tratamientos de poda de raíz en vivero, plantas sometidas previamente a sequía y poda de tallos, que obtuvieron 43, 42, y 50% de supervivencia, respectivamente. Concluyendo que la preparación de plantas en vivero (poda de raíz) no se le considera como una técnica recomendable para mejorar la calidad de la planta (Cetina *et al.*, 2002).

Domínguez *et al.* (2001), evaluaron la sobrevivencia de tres especies de pino (*P. pseudostrobus*, *P. greggii* y *P. cembroides*) en comparación de dos especies inducidas (*P. brutia* y *P. halepensis*) en un sitio degradado por efecto de la agricultura y pastoreo en Iturbide, Nuevo León. A cinco años de su establecimiento (1989-1994) *Pinus greggii* contaba con 55% de sobrevivencia, solo por debajo de *Pinus cembroides* que resultó con 64% de supervivencia (Figura 6). Pero 4 años más tarde estas dos especies igualaron sus porcentajes siendo aún los más altos con 48%. Con esto se comprobó que *Pinus greggii* es una de las especies de mejor y fácil adaptabilidad en suelos degradados.

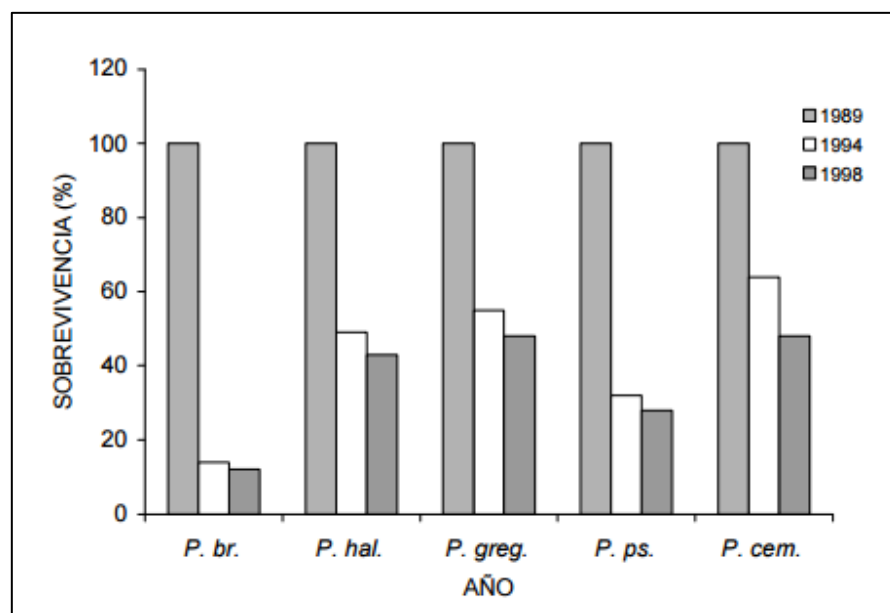


Figura 6. Sobrevivencia de las especies a través del tiempo de observación.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del área de estudio

El área de estudio se encuentra dentro de los límites del Ejido San Juan de la Vaquería, municipio de Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. Dicho Ejido se ubica entre los 25°15'12" de latitud Norte y los 101°13'06" de longitud oeste, teniendo una altitud sobre el nivel del mar de 1840 metros. Se localiza a una distancia 40.9 km de la capital de Coahuila de Zaragoza, por la carretera a General Cepeda, con un tiempo de arribo de aproximadamente de 45 minutos.

El área de estudio se ubica entre las sierras de El Tapanco y El Pajarito dentro del cañón de Derramadero (Figura 7), constituida principalmente por valles con pendientes de hasta 3 % (Ochoa,2010).



Figura 7. Localización del área de estudio.

3.2. Características físicas y biológicas del área de estudio

3.2.1. Clima

El clima pertenece al tipo BS1kx' el cual corresponde a climas semisecos templados. La temperatura media anual es de 16 a 20° C. y las medias mensuales rebasan los 22° C en época de verano y las más bajas en enero son cercanas a los 12° C. (INEGI, 2000).

3.2.2. Hidrología

Se ubica en la Región Hidrológica 24 Bravo-Conchos, Cuenca "B" Río Bravo-San Juan, Subcuenca "e" La Casita-El Recreo. Los principales escurrimientos provienen de la sierra El Tapanco (Gallegos, 2010).

3.2.3. Suelo

En base a la carta edafológica G14 C33 (Saltillo), los suelos dominantes en el sitio de estudio pertenecen al grupo de xerosoles cálcicos, con textura media los cuales tienen un horizonte cálcico dentro de los primeros 125 cm. de profundidad, presentándose una erosión ligera (INEGI, 2000).

3.2.4. Vegetación

Los matorrales desérticos micrófilos son el tipo de vegetación dominante de esta zona, encontrándose mezclados con pastizales naturales. Es preciso mencionar que dentro del sitio de estudio es muy poca la vegetación. Los más comunes que se ven en el entorno y pocos de ellos dentro del área experimental son: *Opuntia imbricata* (coyonoxtle), *Opuntia leptocaulis* (tasajillo), *Opuntia rastrera* (nopal rastrero), *Acacia rigidula* (chparro prieto), *Mimosa biuncifera* (gatuño), *Flourenzia cernua* (hojásen), *Larrea tridentata* (gobernadora) y *Prosopis glandulosa* (mezquite) (Borjas, 2010).

3.2.5. Fauna

La constituyen principalmente *Buteo sp.* (aguililla), *Falco sp.* (gavilan), *Callipepla squamada* (codorniz escamosa), *Zenaida macroura* (paloma huilota), *Canis latrans* (coyote), *Sylvilagus floridanus* (conejo serrano), *Lepus sp.* (liebre), entre otras (Ochoa, 2010)

3.3. Generalidades de la plantación

Consiste en una plantación de *Pinus greggii* con una superficie poco más de un cuarto de hectárea, 2604 m² para ser exactos, de forma rectangular (62 metros de largo y con 42 metros de ancho). Se dividió en 15 unidades experimentales de 100 m² cada una; estas unidades con 20 plantas establecidas, con una distancia de 2.5 metros entre filas (este a oeste) y 2 metros entre plantas (norte a sur). La plantación se estableció en el mes de junio de 2015, con un sistema de marco real (Figura 8).

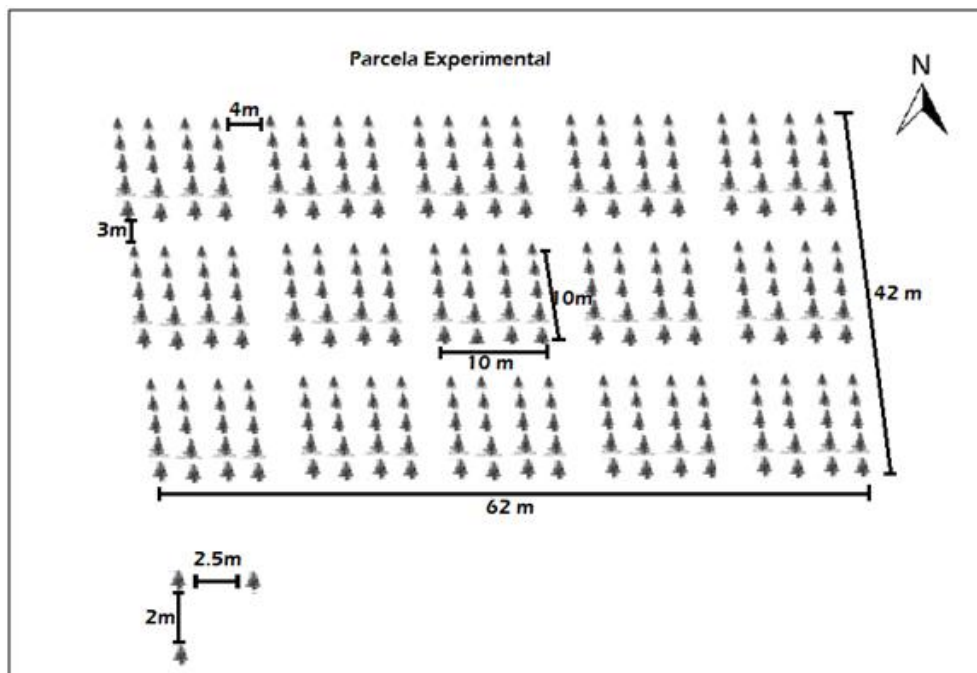


Figura 8. Croquis de la parcela experimental.

3.4. Tratamientos aplicados

El experimento consta de cinco tratamientos con tres repeticiones cada uno, cuatro tratamientos con dosis diferentes de dos compostas a base de biosólidos, el último tratamiento se tomó como testigo (Tabla 6). Teniendo así un total de 15 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió de 6 plantas tratadas con la numeración indicada en la Figura 9, el resto (14 plantas) se tomó como efecto de borde. Por lo tanto se evaluaron 90 plantas de *Pinus greggii* en toda el área experimental. La Figura 10 muestra la distribución de cada uno de los tratamientos en toda el área experimental.

Tabla 6. Tratamientos aplicados.

Tratamiento	Descripción			Número de repeticiones	Plantas totales
	Suelo	Composta			
		*Relación 1:1	**Relación 3:1		
1	80%	20%		3	18
2	60%	40%		3	18
3	80%		20%	3	18
4	60%		40%	3	18
5***	100%			3	18

*Cantidades iguales de biosólidos y estiércol.

**Dos veces mayor la proporción de biosólidos que estiércol.

***Testigo.

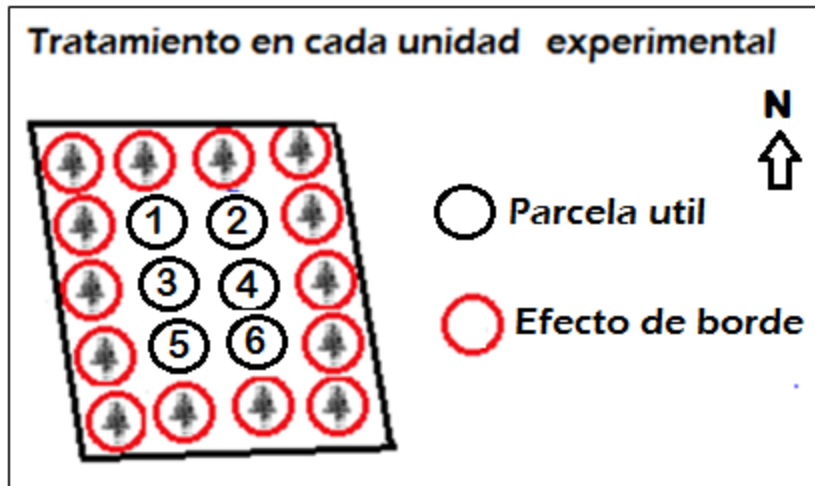


Figura 9. Tratamiento en cada unidad experimental.

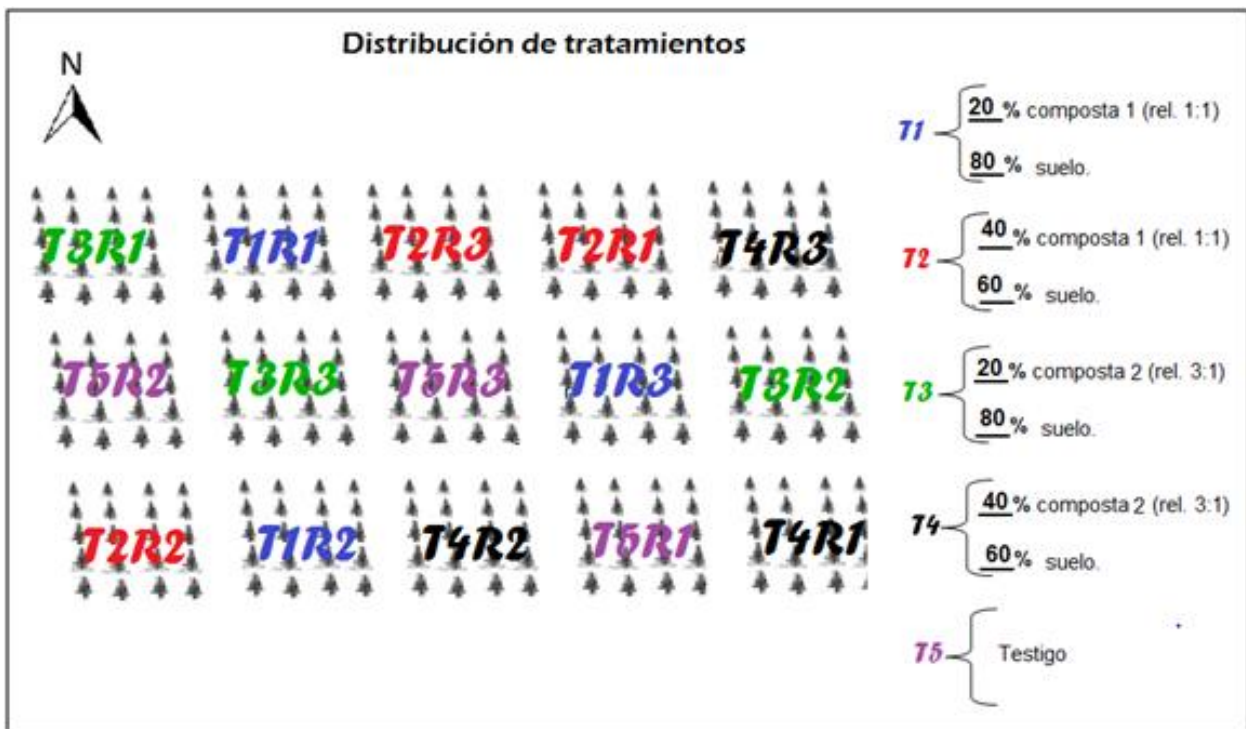


Figura 10. Distribución de tratamientos en el área experimental.

3.5. Diseño experimental

En la presente investigación se utilizó un diseño completamente al azar de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \mathcal{E}_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = es la respuesta (variable de interés o variable media)

μ = es la media general del experimento

T_i = es el efecto del i -ésimo tratamiento

\mathcal{E}_{ij} = es el error aleatorio asociado a la respuesta Y_{ij}

3.6. Análisis de datos

Se llevó a cabo análisis de varianza de los datos de las variables de tratamientos y prueba de comparación de medias (Duncan $P \leq 0.05\%$), siendo este método el más común, confiable e ideal para experimentos que no cuentan con la igualdad de repeticiones en tratamientos como es el caso de la presente investigación.

Para lo anterior se realizó una base de datos en Microsoft Excel 2010, para luego procesar la información en el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS).

3.7. Obtención del sustratos y actividades involucradas

Para la obtención del sustrato se composteó biosólidos (con aproximadamente un año de estar a la intemperie) y estiércol de ganado. La primera fue proveniente de la planta tratadora de aguas residuales (PTAR) de la industria cervecera establecida en el municipio de Nava, Coahuila, México; el estiércol fue obtenido del establo ganadero, propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

3.7.1. Mezclado

Se elaboraron dos compostas diferentes (Tabla 7), la primera variable tuvo relación 1:1, es decir, la misma proporción en cuanto a biosólidos y estiércol; la segunda con relación 3:1, es decir dos veces mayor la cantidad de biosólidos que de estiércol. Cada una de estas compostas tuvo un volumen total de 360 litros, equivalente a 0.36 m³.

Tabla 7. Compostas elaboradas.

Composta	Biosólidos (%)	Estiércol (%)	Biosólidos/Estiércol (l)
1	50	50	180/180
2	75	25	270/90

3.7.2. Monitoreo de temperatura y humedad

El establecimiento de la composta tuvo como fecha el 26 de marzo de 2015, a partir de esa fecha se realizó un monitoreo continuo en cuanto a la temperatura principalmente, con el fin de tener el control del proceso de compostaje, ya que mientras esto sucedía se fue dando lugar al crecimiento de diversas poblaciones de microorganismos que contribuyeron en la biodegradación.

Así mismo aplicación de riego de acuerdo a la humedad con la que contenía, por lo regular se realizaba cada cuatro o cinco días, junto con el riego se le aplicaba volteos con el fin de homogenizar la humedad y proporcionar aireación, por lo consiguiente mejor acondicionamiento para el proceso termofílico y la acción microbiana.

El proceso de compostaje tuvo un tiempo aproximado de tres meses. Fue hasta entonces cuando se obtuvo un material totalmente compostado (Figura 11), es decir, cumplía con las características de esta, tales como humedad, color, estructura etc.



Figura11. Producto final del proceso de compostaje.

3.8. Preparación del sitio y establecimiento de la plantación

3.8.1. Delimitación de sitios

Se realizó la delimitación de 15 unidades experimentales de 100 m² cada una (Figura 12), con espaciamiento de las mismas de tres metros de este a oeste y de cuatro metros de norte a sur. Esta última se tomó como calles de la parcela para el acceso de vehículos para realización de riegos y otras actividades.



Figura12. Delimitación de unidades experimentales.

3.8.2. Apertura de cepas

Se cavaron 20 cepas por cada unidad experimental, siendo en total 300 cepas en todo el sitio de estudio. Fueron de forma circular con un diámetro de 30 cm y con la misma medida de profundidad (cepa común) (Figura 13). Con esto se procuró en cada cepa tuviese la capacidad poco más de 21 litros de sólidos.



Figura 13. Tamaño y forma de cepas.

3.8.3. Mezcla de sustrato

Previo al proceso de plantación se mezcló la cantidad de composta correspondiente a los suelos de las plantas a tratar. Puesto que cada parcela útil cuenta con 6 cepas de 21 litros de capacidad, acumulando en total 126 litros de sustrato a utilizar, se prosiguió a realizar la proporción suelo-composta de acuerdo a las dosis de los tratamientos que con anticipación se plantearon.



Figura 14. Mezcla de suelo-composta.

3.8.4. Plantación

La plantación se realizó en las fechas 17 y 18 de junio de 2015. Los pasos de dicha actividad se describen a continuación y enseguida se ilustra en la Figura 15.

- a) Se agregó material (mezcla de suelo y composta o únicamente suelo en plantas no tratadas) a una altura de 5 cm de la cepa, esto como acolchado para facilitar el desarrollo radicular de la planta.
- b) De forma cuidadosa se retiró el recubrimiento de bolsa de polietileno del cepellón de la planta y así mismo se introducía en la cepa procurando el mejor acomodo posible.
- c) Se terminó de agregar el material hasta la altura de la maceta, de manera que esta quedara totalmente cubierto de suelo.
- d) Entorno a la planta se pisoteó el sustrato con el fin de no dejar espacios vacíos dentro de la cepa y así evitar la formación de bolsas de aire.



Figura 15. Pasos seguidos en la actividad de plantación.

Realizado todo lo anterior se prosiguió a construir un sistema de captación de agua. Es por ello que se rellenó hasta 25 cm de la cepa, los últimos cinco cm sirvieron para lo mencionado.

3.8.5. Riegos de auxilio

Se sabe de la importancia de la presencia de agua (humedad) inmediatamente de una plantación más aún si la presencia de lluvia no es común como es el caso del área de estudio. Por lo que en la presente investigación se procuró establecer la plantación de *Pinus greggii* Engelm. en fechas donde se pronosticaban lluvias. Viendo la falta de precipitación en los primeros 2 días, se anticipó con un riego. Se le proporcionó un aproximado de cinco a ocho litros por planta (Figura 16). El segundo riego se le proporcionó poco más del medio año, el 29 de enero del año 2016. El tercer y último riego de auxilio se llevó a cabo mes y medio de la segunda, el 15 de marzo de 2016.



Figura 16. Aplicación de riego de auxilio.

3.9. Variables evaluadas

Las variables que se evaluaron en la presente investigación fueron, sobrevivencia, crecimiento en altura (cm), diámetro de copa (cm) y diámetro basal (mm).

- Sobrevivencia se contabilizó la cantidad de individuos vivos y muertos en las parcelas útiles de cada unidad experimental.
- Altura: Se consideró la altura total del árbol, que va desde la superficie del suelo hasta el ápice de la copa (yema terminal) en centímetros. Para dicha medición se utilizó un flexómetro.
- Diámetro de copa: Se midió el diámetro de copa mayor y el diámetro de copa menor de la planta, para después obtener el promedio.
- Diámetro basal: Con la utilización de un vernier se midió el diámetro basal al nivel de la base del tallo de la planta.

3.10. Levantamiento de datos

El primer levantamiento de información de los parámetros evaluados se realizó el 22 de junio de 2015, inmediatamente después de la plantación, por lo que se contaba con el 100% de sobrevivencia. Por tal razón en esa primera toma de datos se obtuvo solamente las medidas de altura, diámetro de copa y diámetro basal (Figura 17), en la segunda y tercera evaluación (29 de enero de 2016 y 13 de mayo de 2016 respectivamente) se incluyó la toma de información de sobrevivencia, siendo esta como parte sustancial de evaluación de la presente investigación.



Figura 17. Mediciones: A) altura, B) diámetro basal y C) diámetro de copa.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación se presentan por separado para cada una de las variables evaluadas y por períodos de evaluación.

4.1. Supervivencia

En la evaluación inicial (22 de junio de 2015), se contaba con el 100 % de supervivencia debido a que esta se realizó inmediatamente después del establecimiento de la plantación.

El análisis de varianza de los datos de tratamientos evaluados a los 7 meses (29 de enero de 2016) y 11 meses (13 de mayo de 2016) de haber establecido la plantación, mostró que no existen diferencias estadísticas significativas en la supervivencia ($Pr > F = 0.21$ y 0.17 , respectivamente) (Apéndice A). Para el primer período se contaba con 45.55% de supervivencia general de la plantación; para el segundo período redujo únicamente 4%, es decir, al final de la investigación se obtuvo 41.11% de supervivencia.

La prueba de comparación de medias mediante el método de Duncan (Tabla 8), señala que en los dos períodos de evaluación existen diferencias estadísticas importantes entre tratamientos. El tratamiento 2 (60% suelo y 40% de la composta relación 1:1) fue el de mayor respuesta a supervivencia, siendo superior al tratamiento testigo en 27.78 %. El tratamiento 1 (80% suelo y 20% de la composta relación. 1:1) mostró el mayor porcentaje de mortalidad, para la fecha de la evaluación final. La diferencia de supervivencia entre el tratamientos testigo y el de menor desempeño (T1) fue de -33.33%. Según la prueba de Duncan, los únicos tratamientos diferentes estadísticamente son el T2 con 77.78 % y el T1 con 16.67%.

Tabla 8. Prueba de comparación de medias de Duncan para sobrevivencia.

Períodos	Tratamiento	Número de Repeticiones	Media (%)	Agrupación Duncan	
1 ^{er} Período (jun 2015-ene 2016)	2	3	77.78	A	
	5	3	50.00	A	B
	4	3	44.44	A	B
	3	3	38.89	A	B
	1	3	16.67		B
2 ^o Período (jun 2015-may 2016)	2	3	77.78	A	
	5	3	50.00	A	B
	4	3	38.89	A	B
	3	3	27.78	A	B
	1	3	11.11		B

Los resultados sugieren que al utilizar un sustratos mejorado con composta elaborada a partes iguales de biosólidos y estiércol, y con la proporción más alta de composta (40%) en la mezcla con el suelo, se podría contribuir a aumentar la sobrevivencia de plantaciones de esta especie en sitios de escasa precipitación pluvial, como el de la presente investigación.

La grafica de la Figura 18 muestra la comparación de los porcentajes de sobrevivencia por tratamiento obtenidos en cada evaluación. Para la segunda evaluación, el tratamiento 2 y el tratamiento 5 (testigo) fueron los dos sobresalientes en supervivencia (77.78 y 50%, respectivamente); para la fecha de la evaluación final fueron también los únicos que mantuvieron dicho porcentaje.

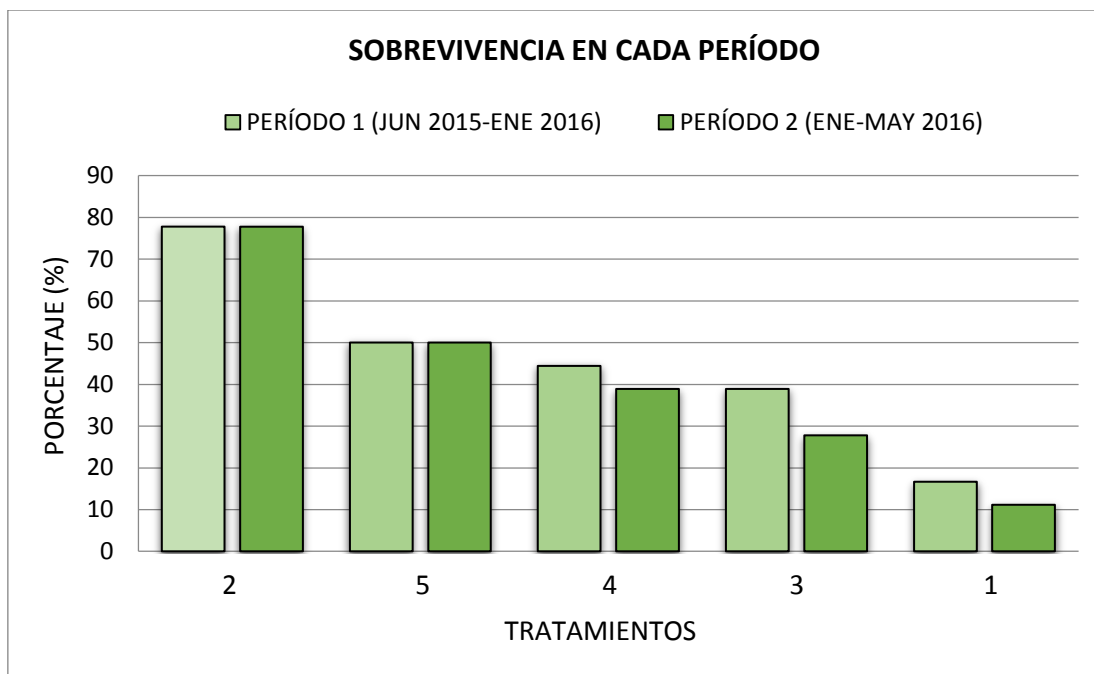


Figura 18. Comparación de sobrevivencia de cada período.

La sobrevivencia obtenida en la presente investigación con un lapso de 11 meses solo estuvo 1% debajo de lo registrado en un estudio realizado en una plantación de *Pinus greggii* sometido a sequía en Tecámec, Edo de México, que obtuvo 42% de sobrevivencia, también a 11 meses de su establecimiento (Cetina *et al.*, 2002).

Con lo anterior se deduce que la mortalidad de individuos en el presente estudio se atribuye principalmente a la falta de humedad en el suelo, puesto que el establecimiento fue en el mes de junio de 2015, aplicándose un riego de auxilio inmediatamente después de la plantación, y también se aprovecharon algunas lluvias que ocurrieron en esas fechas, pero esto no fue suficiente para los siguientes meses en que se obtuvo muy poca precipitación pluvial, particularmente durante el período conocido como canícula, donde las condiciones de temperatura y sequía fueron extremas.

Derivado de las primeras lluvias hubo azolvamiento de suelo en los sistemas de captación de agua en torno a la planta, lo cual dificultó o eliminó la posibilidad de retener humedad en el suelo, atribuyendo también a este factor la mortalidad de plantas.

4.2. Crecimiento en altura

Realizado el análisis de datos del primer período (22 de junio de 2015 a 29 de enero de 2016), posteriormente del segundo (29 de enero a 13 de mayo de 2016 y por último del período total (22 de junio de 2015 a 13 de mayo de 2016), se aprecia que en los tratamientos no se encuentran diferencias estadísticas significativas en el crecimiento en altura ($Pr>F= 0.76, 0.23$ y 0.44 , respectivamente) (Apéndice B), ni para el crecimiento en por ciento (%) en el segundo período ($Pr>F= 0.11$) y período total ($Pr>F= 0.38$) (Apéndice C).

En el primer período se obtuvo un crecimiento promedio en altura de 1.37 cm, y para el segundo período se registró una media de 6.23 cm. Con la sobrevivencia registrada a la última evaluación, el crecimiento total en altura, es decir, desde la primera a la última evaluación, fue de 8.03 cm equivalente al 28.07% de la media registrada en plantaciones de 11 meses de establecimiento en el estado de Coahuila (Benítez, 2010)

En la Tabla 9 se puede observar que el Tratamiento 4 (60% suelo y 40% de la composta relación 3:1) es el que mayor respuesta presentó a crecimiento en altura en los tres períodos. En el primer período el Tratamiento 5 (testigo) se posicionó como el segundo de mayor crecimiento, pero para el segundo y el período total fue rebasado por el resto de los tratamientos.

En cuanto al crecimiento en por ciento, la prueba Duncan señala diferencias estadísticas entre los tratamientos 4 y 5 en el segundo período. Aunque no pasó esto

en período total, el T4 con un crecimiento de 12.717% de su altura inicial, fue el de mayor respuesta, mientras que el tratamiento testigo fue el de menor crecimiento porcentual (7.081%) en relación a su altura inicial (Tabla 10 y Figura 19).

Tabla 9. Prueba de comparación de medias de Duncan para crecimiento en altura.

Período de crecimiento	Tratamiento	Número de Repeticiones	Media (cm)	Agrupación Duncan
1 ^{er} Período* (jun 2015-ene 2016)*	4	3	2.333	A
	5	3	1.733	A
	3	3	1.389	A
	1	2	0.750	A
	2	3	0.472	A
2 ^o Período** (ene 2015-may 2016)	4	2	7.917	A
	3	3	6.833	A
	1	1	6.500	A
	2	3	6.361	A
	5	3	4.311	A
Período total** (jun 2015-may 2016)	4	2	11.417	A
	3	3	8.883	A
	1	1	8.000	A
	2	3	6.833	A
	5	3	6.178	A

*Con 45% de sobrevivencia.

**Con 41% de sobrevivencia.

Tabla 10. Prueba de comparación de Duncan para crecimiento porcentual en altura.*

Período de crecimiento	Tratamiento	Número de Repeticiones	Media (%)	Agrupación Duncan	
2 ^o Período (ene 2015-may 2016)	4	2	8.482	A	
	3	3	7.624	A	B
	2	3	6.812	A	B
	1	1	6.488	A	B
	5	3	4.818		B
Período total (jun 2015-may 2016)	4	2	12.717	A	
	3	3	10.266	A	
	1	1	8.104	A	
	2	3	7.360	A	
	5	3	7.081	A	

*Con 41% de sobrevivencia.

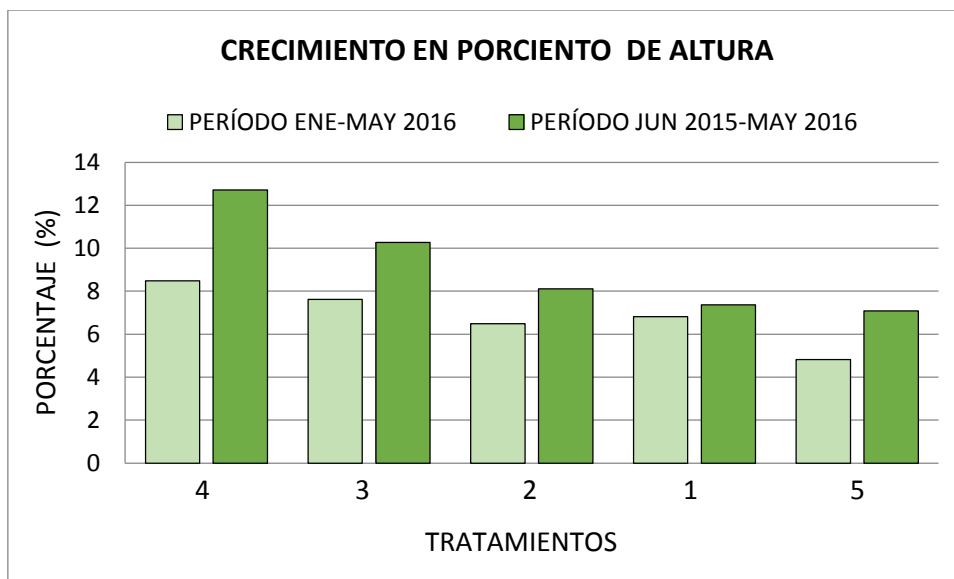


Figura 19. Crecimiento porcentual de altura en los dos períodos.

Los resultados de los tratamientos experimentados indican que las plantaciones de *Pinus greggii* en áreas similares al de la presente investigación pueden tener mejor crecimiento en altura con la aplicación de sustrato mejorado con composta elaborada con dos veces mayor la cantidad de biosólidos que de estiércol.

La Figura 20 muestra las medias iniciales y las alturas alcanzadas en las siguientes evaluaciones; se puede observar que en la primera evaluación el tratamiento 1 era el único que sobrepasaba los 90 cm de altura; para la fecha de la última evaluación, todos los tratamientos dosificados (1-4) contaban con una altura mayor a 95 cm. La media de altura alcanzada de la plantación fue de 97.94 centímetros.

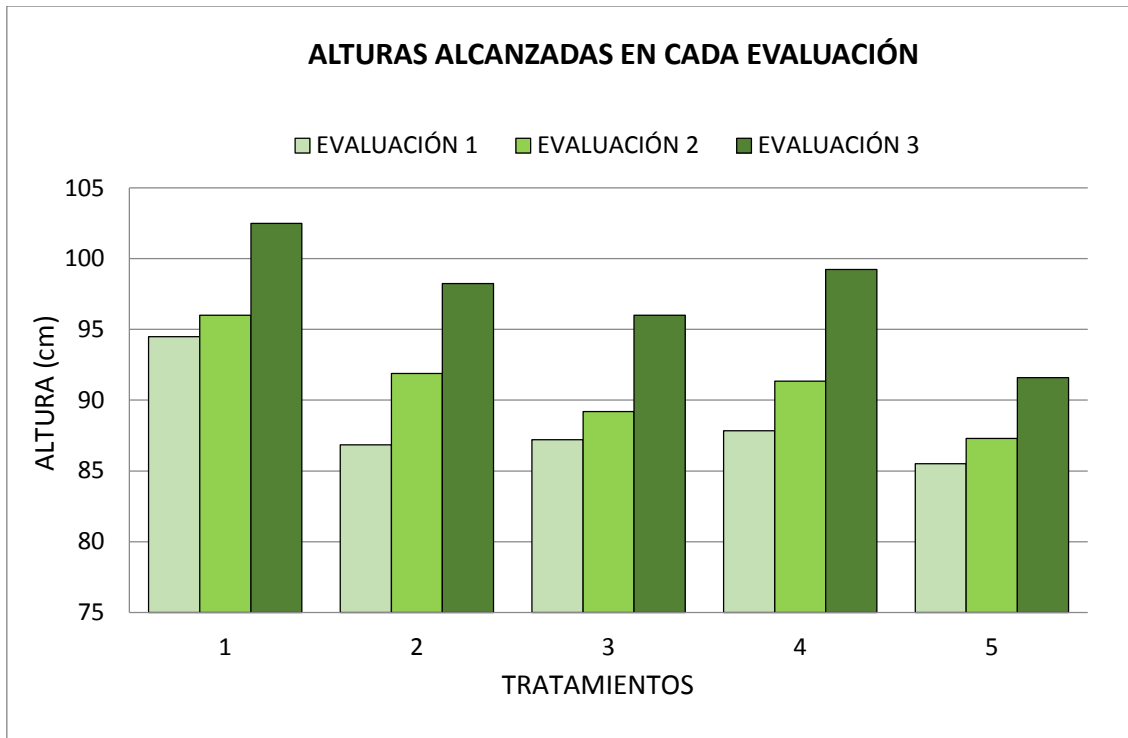


Figura 20. Comparación de alturas obtenidas en cada evaluación.

4.3. Crecimiento en diámetro de copa

El análisis de varianza realizado para los tratamientos comparados en los tres períodos, muestra que estadísticamente no existen diferencias para el crecimiento en diámetro de copa ($Pr>F= 0.11$, $Pr>F= 0.44$ y $Pr>F= 0.45$, respectivamente en cada período) (Apéndice D), ni para el crecimiento en porcentaje ($Pr>F= 0.37$ y 0.40 , respectivamente en el segundo y último período) (Apéndice E). La plantación tuvo un crecimiento medio de 6.24 cm para el primer período, el segundo fue de 2.709 cm y en el período comprendido desde la primera hasta la última evaluación (período total) fue 9.425 cm, incrementando el 31.99% del diámetro de copa inicial.

En cuanto a las medias de crecimiento por tratamiento, fue únicamente en el primer período donde hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos 2 y 1, que fueron el de mayor (10.486 cm) y menor crecimiento (2.50 cm), respectivamente. Aunque en

el segundo período el tratamiento 2 no fue el de mayor crecimiento, si lo fue en el total (13.389 cm) (Tabla 11).

Tabla 11. Prueba de comparación de medias de Duncan para crecimiento en diámetro de copa.

Período de crecimiento	Tratamiento	Número de Repeticiones	Media (cm)	Agrupación Duncan	
1 ^{er} Período* (jun 2015-ene 2016)	2	3	10.486	A	
	3	3	7.722	A	B
	5	3	4.811	A	B
	4	3	4.444	A	B
	1	2	2.500		B
2 ^o Período** (ene 2015-may 2016)	1	1	6.250	A	
	2	3	2.903	A	
	3	3	2.750	A	
	5	3	2.100	A	
	4	2	1.500	A	
Período total** (jun 2015-may 2016)	2	3	13.389	A	
	3	3	10.500	A	
	1	1	9.750	A	
	5	3	6.978	A	
	4	2	5.375	A	

*Con 45% de sobrevivencia.

**Con 41% de sobrevivencia.

Para el crecimiento en por ciento existieron diferencias estadísticas en el segundo período; ésta se dio entre los tratamientos 1 y 4. En el período final no ocurrió esto, sin embargo, el tratamiento 2 fue el de mayor crecimiento en por ciento (47.09% de su diámetro de copa inicial); el T4 fue el de menor crecimiento porcentual, tanto en la segunda evaluación, como en el período total (Tabla 12 y Figura 21).

Tabla 12. Prueba de comparación de Duncan para crecimiento porcentual en diámetro de copa.*

Período de crecimiento	Tratamiento	Número de Repeticiones	Media (%)	Agrupación Duncan	
2º Período (ene 2015-may 2016)	1	1	18.457	A	
	3	3	7.317	A	B
	2	3	7.167	A	
	5	3	5.760	A	
	4	2	4.595	B	
Período total (jun 2015-may 2016)	2	3	47.09	A	
	3	3	34.44	A	
	1	1	31.30	A	
	5	3	24.58	A	
	4	2	17.16	A	

*Con 41% de sobrevivencia.

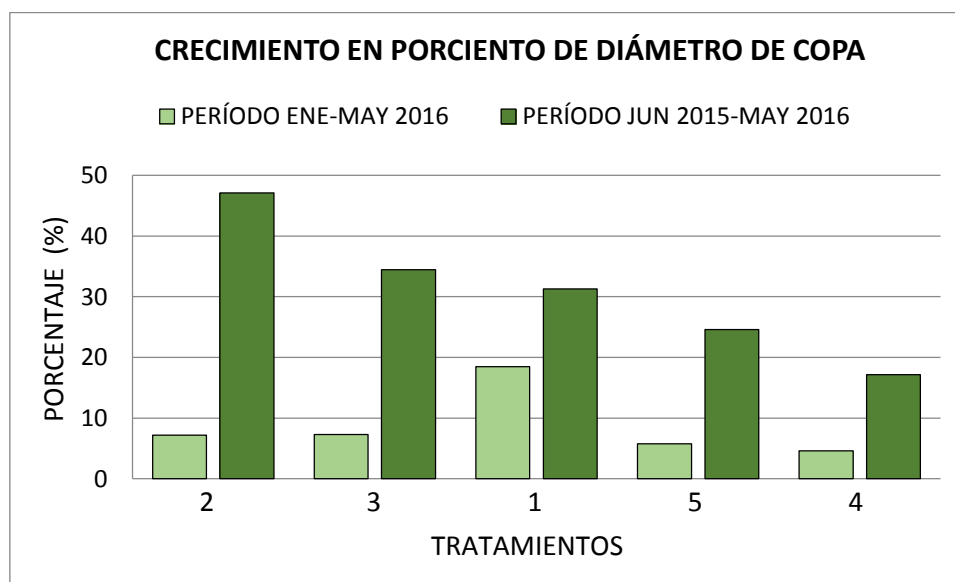


Figura 21. Comparación de crecimientos en porcentaje en diámetro de copa en dos períodos.

Por lo anterior, se considera al tratamiento 2 (60% de suelo y 40% de composta de relación 1:1, es decir, composta realizado con la misma cantidad de materiales tanto

de biosólidos como de estiércol) el de mayor efectividad en crecimiento en diámetro de copa. Por otro lado, el tratamiento 4 (60% suelo y 40% de la composta relación 3:1) fue el de menor crecimiento.

Por lo tanto se considera no tan factible el uso de sustratos con una proporción de 40% de composta elaborada con tres veces mayor cantidad de biosólidos que estiércol en plantaciones de esta especie si se desea tener mayor crecimiento en diámetro de copa.

La Figura 22 muestra los diámetros de copa alcanzados al momento de las evaluaciones. Se puede observar que los mayores crecimientos de los tratamientos se dieron en el primer período; se aprecia también que el tratamiento 4 fue el que mayor diámetro de copa inicial tenía (39.2 cm), pero por su menor crecimiento (5.37), a la fecha de la tercera evaluación fue sobrepasado por el tratamiento 2, que alcanzó una media de crecimiento de 45.1 cm.

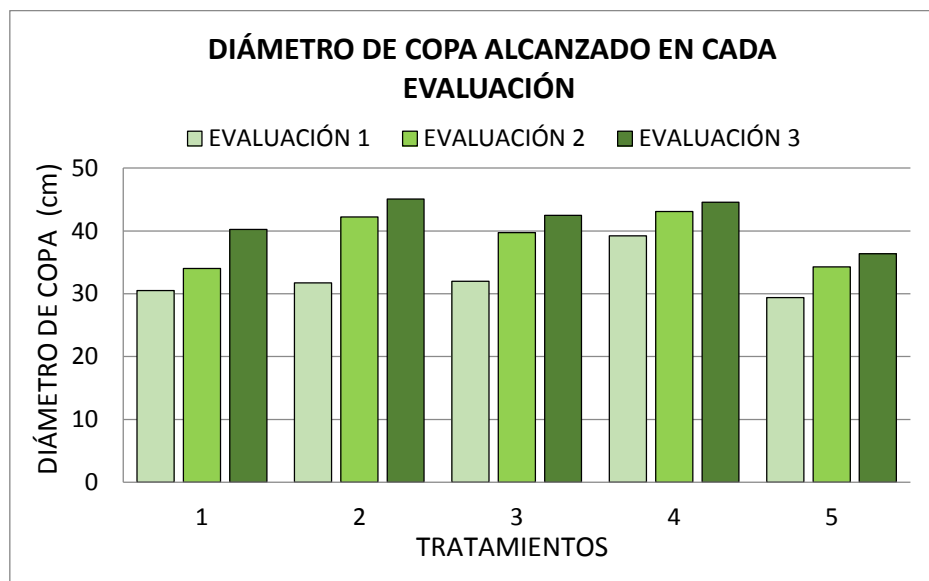


Figura 22. Comparación de diámetros de copa obtenidos en cada evaluación.

4.4. Crecimiento en diámetro basal

El análisis de varianza para el crecimiento en diámetro basal no presenta diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para el primero, segundo y periodo total ($Pr>F= 0.15, 0.21$ y 0.25 , respectivamente) (Apéndice F), ni para el crecimiento en porcentaje (segundo período: $Pr>F= 0.26$ y período total: $Pr>F= 0.43$) (Apéndice G).

La media del crecimiento en diámetro basal de la plantación en el primer período fue de 1.41 milímetros, mientras que para el segundo periodo se obtuvo una media de 1.83 mm, para el período total creció 3.11 milímetros, equivalente a 33.08% del diámetro basal inicial.

La comparación de medias mediante la prueba de Duncan (Tabla 13) muestra que en el primer período hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos 5 (mayor crecimiento) y 3 (menor crecimiento); en los períodos siguientes no hubo diferencias. Pero fue en estos dos períodos donde en el tratamiento 4 se observó mayor respuesta.

La eficiencia del tratamiento 4 también se refleja en el crecimiento porcentual, puesto que fue el de más efectividad entre los tratamientos, con un crecimiento de 43.8% de su diámetro basal inicial, a pesar de que no existe diferencias estadísticas en ninguno de los períodos (Tabla 14 y Figura 23).

El que menos respondió fue el tratamiento 3, ya que su media de crecimientos en diámetro basal total y su crecimiento total en porcentaje, se encuentran por debajo de los tratamientos restantes.

Tabla 13. Prueba de comparación de medias de Duncan para crecimiento en diámetro basal.

Período de crecimiento	Tratamiento	Número de Repeticiones	Media (mm)	Agrupación Duncan	
1 ^{er} Período* (jun 2015-ene 2016)	5	3	1.981	A	
	1	2	1.887	A	B
	4	3	1.559	A	B
	2	3	1.305	A	B
	3	3	0.548		B
2 ^o Período** (ene 2015-may 2016)	4	2	3.095	A	
	2	3	2.103	A	
	1	1	2.025	A	
	3	3	1.476	A	
	5	3	1.009	A	
Período total** (jun 2015-may 2016)	4	2	4.150	A	
	1	1	4.100	A	
	2	3	3.408	A	
	5	3	2.991	A	
	3	3	1.933	A	

*Con 45% de sobrevivencia.

**Con 41% de sobrevivencia.

Tabla 14. Prueba de comparación de medias de Duncan para crecimiento porcentual en diámetro basal.*

Período de crecimiento	Tratamiento	Número de Repeticiones	Media (mm)	Agrupación Duncan
2 ^o Período (ene 2015-may 2016)	4	2	29.710	A
	2	3	19.239	A
	1	1	16.359	A
	3	3	14.591	A
	5	3	9.183	A
Período total (jun 2015-may 2016)	4	2	43.80	A
	1	1	40.88	A
	2	3	35.91	A
	5	3	33.34	A
	3	3	20.27	A

*Con 41% de sobrevivencia.

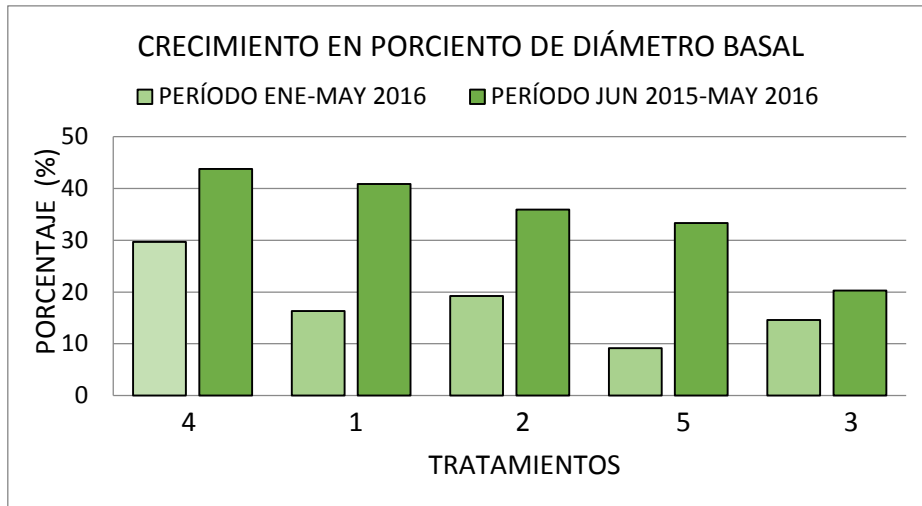


Figura 23. Comparación de crecimientos en porcentaje de diámetro basal de dos periodos.

La media de diámetro basal de los tratamientos en la evaluación inicial era de 9.85 mm y a la fecha de la segunda evaluación alcanzó un diámetro de 11.23 mm; en el inter de estas dos fechas, los tratamientos 1 y 5 fueron los de mayor crecimiento (2.08 y 1.99 mm, respectivamente). En el tiempo transcurrido entre la segunda y tercera evaluación, el diámetro promedio de los tratamientos llegó a 13.17 mm; en este segundo período fue únicamente el tratamiento 4 el que tuvo mayor crecimiento (3.09 mm).

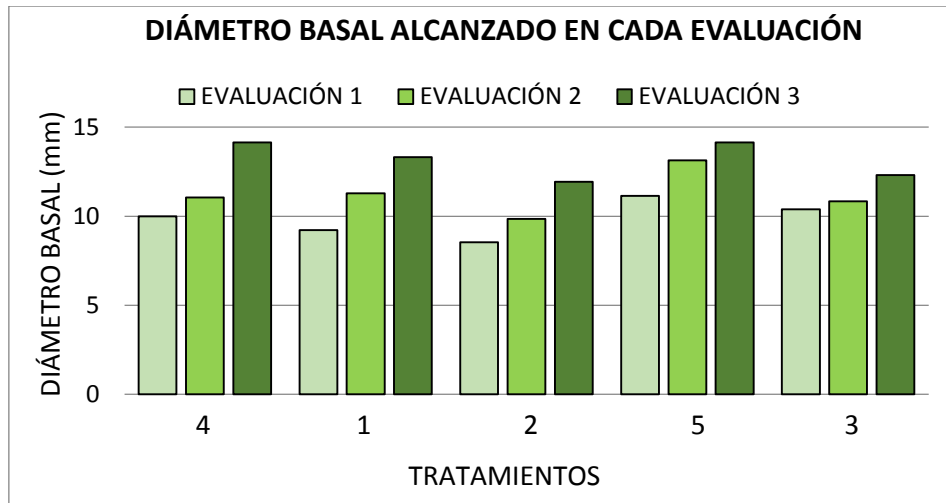


Figura 24. Comparación de diámetros basal obtenido en cada una de las evaluaciones.

Los resultados de este apartado sugieren el uso de sustratos mejorados con compostas elaboradas con dos veces mayor cantidad de biosólidos que estiércol, en plantaciones de *Pinus greggii*, como una alternativa para tener mayor crecimiento en cuanto a diámetro basal se refiere.

4.5. Discusión general de variables de crecimiento

En la Tabla 15 se puede observar que el tratamiento 4 obtuvo dos mayores respuestas (crecimiento en altura y diámetro basal) pero fue el que menos respondió al crecimiento en diámetro de copa, el mayor crecimiento para esta misma variable se dio en el tratamiento 2. Mientras que los crecimientos más bajos en diámetro basal y altura se dieron respectivamente en los tratamientos 3 y 5.

Lo destacado aquí es que ni uno de los mayores resultados de las variables de crecimiento se dio en el tratamiento 5 (testigo) y que los tratamientos que mayor

crecimiento tuvieron están conformados con los mismos porcentajes de suelo y compostas.

Tabla 15. Tratamientos con mayores y menores crecimientos totales.

	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4	Tratamiento 5
	80% suelo y 20% composta (relación. 1:1)	60% suelo y 40% composta (relación 1:1)	80% suelo y 20% composta (relación 3:1)	60% suelo y 40% composta (relación 3:1)	Testigo (100% suelo)
Crecimiento en altura				+	-
				(11.41 cm)	(6.178 cm)
Crecimiento en diámetro de copa		+		-	
		(13.389 cm)		(5.375 cm)	
Crecimiento en diámetro basal			-	+	
			(1.933 mm)	(4.150 mm)	

+= Mayor respuesta - = Menor respuesta

No se realizaron análisis físicos ni químicos de las compostas, pero se deduce que los tratamiento 1 y 3 contenían mayor acidez, y por ende no tuvieron efectos significativos, debido a que dichas compostas se elaboraron con mayor cantidad de estiércol que la de los tratamientos 2 y 4.

Al no encontrar diferencias estadísticas en los resultados de las variables de crecimiento con la aplicación del sustrato en la presente investigación, se ha comparado con lo obtenido en el estado de Jalisco, donde experimentaron el crecimiento de *P. douglasiana* con la aplicación de lodos residuales, donde a 14 meses del establecimiento de la plantación no encontraron diferencias estadísticas significativas, aunque la altura y diámetro del tallo se aumentaron en 18% con la mayor dosis de lodos (100 gr/árbol) (Barrios, 2009). Comparando estos porcentajes con los resultados de la presente investigación, se aprecia que ningún tratamiento rebasa el porcentaje de altura aumentado, el más cercano es el T4 con 12.71%, pero en crecimiento de diámetro basal todos los tratamientos están por encima de lo

obtenido en la plantación de *Pinus douglasiana*; la media de aumento de los tratamientos fue 33.08% de su altura media inicial.

El mayor crecimiento en altura que correspondió al tratamiento 4 (11.417 cm), fue similar al obtenido en una plantación de *Pinus greggii* en Arteaga Coahuila, que a 18 meses de establecida obtuvo un crecimiento en altura de 11.186 cm, dicho sea de paso fue el más destacado en comparación con *P. arizonica* y *P. ayacahuite*, ya que el estudio consistía de un ensayo de adaptación (López, 1993). Con la diferencia que en el presente estudio el crecimiento adquirido del tratamiento 4 se dio en un período de 11 meses.

Como la presente investigación consistió en una fertilización orgánica, se comparó los mayores crecimientos (T4: 11.41 cm de altura y 4.15 mm de diámetro basal; T2: 13.38 cm de diámetro de copa) con un estudio de fertilización química (triple 17 y osmocote 14-1414) en una plantación con tres especies de pino (*P. cembroides*, *P. halepensis* y *P. pinceana*) dentro los límites de la UAAAN, Saltillo, Coahuila; las medias de crecimiento para altura, diámetro de copa y diámetro basal a un año de establecimiento fueron 12.56 cm, 12.37 cm y 4.60 mm, respectivamente (Nájera *et al.*, 2003). Se puede observar que prácticamente son similares; el aumento de altura y diámetro basal del T4 solo están por debajo 1.25 cm y 0.45 mm, respectivamente, mientras que el diámetro de copa del T2 sobresale 1.01 cm de lo obtenido con la fertilización química. Por lo tanto se deduce que es factible el uso de compostas elaboradas con biosólidos y estiércol para obtener mejor crecimiento de plantaciones de pinos, ya que aparte de dar resultados iguales o mayores que las fertilizaciones químicas, los costos económicos pueden ser menores.

V. CONCLUSIONES

Se rechaza la hipótesis nula al encontrar diferencias estadísticas entre tratamientos en algunas variables evaluadas.

5.1. Supervivencia:

A los 11 meses de establecimiento de la plantación de *Pinus greggii* Engelm se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos, 2 y 1. El T2 fue el de mejor respuesta en supervivencia (77.77%). Aparte de ser el único sobresaliente, fue el único tratamiento que estuvo por encima del testigo (tratamiento 5) quien tuvo el 50 % de supervivencia.

5.2. Crecimiento:

Se encontraron diferencias estadísticas en el primer período; para diámetro de copa entre los tratamientos 2 y 1, para diámetro basal entre el T5 y T3. En el segundo período las diferencias estadísticas se dieron en el crecimiento porcentual y fue únicamente para altura entre el T4 y T5.

a) Altura

El tratamiento 4 fue el de mayor respuesta con 11.417 centímetros de crecimiento. El tratamiento 5 (testigo) aportó el menor crecimiento total de esta variable (6.178 cm).

b) Diámetro de copa

El mayor crecimiento en diámetro de copa fue de 13.38 cm correspondiente al tratamiento 2. El crecimiento de los tratamientos 3 y 1 (10.50 y 9.75 cm, respectivamente) también estuvieron por encima del tratamiento 5 (6.97 cm).

c) Diámetro basal

El tratamiento 4 fue el de mayor crecimiento en cuanto a diámetro basal se refiere, su aumento total fue de 4.15 mm, equivalente a 43.80 % de su diámetro basal inicial. El crecimiento de los tratamientos 1 y 2 (4.10 y 3.40 mm, respectivamente) también estuvieron por encima del tratamiento 5 (2.99 mm).

VI. RECOMENDACIONES

Si se desea tener mayor sobrevivencia y mayores aumento en diámetro de copa en plantaciones de *Pinus greggii*, se recomienda el uso o aplicación de sustratos mejorados con 40% de composta elaborada con cantidades iguales de biosólidos y estiércol de ganado. Pero si lo que se desea es tener mayor desarrollo en altura y diámetro basal se sugiere la aplicación sustratos mejorados con 40% de compostas elaborada con dos veces mayor la cantidad de biosólidos que de estiércol.

Con la intención de obtener mejores resultados en relación a la presente investigación se recomienda lo siguiente:

Continuar realizando evaluaciones de crecimiento determinando las tendencias conforme el paso del tiempo, junto con análisis físicos y químicos del suelo para definir o diferenciar con más precisión los posibles resultados que se obtengan.

En áreas y condiciones iguales o similares al sitio de investigación se recomienda definir muy bien un sistema de captación de agua, lo ideal es realizar cepa común con una diámetro y una profundidad de 40 centímetros si los cepellones (maceta) de la planta tienen altura igual o menor a 20 cm. y dejar una cavidad alrededor de la planta de 10 a 12 cm como captación de agua.

Realización periódica de riego en caso de que sea escasa o nula la precipitación pluvial, puesto que en la presente investigación la mortalidad de plantas se atribuye principalmente a la falta de humedad en el suelo.

VII. LITERATURA CITADA

- Barrios P., J. (2009). Aspectos generales del manejo de lodo. Curso sobre Manejo y Aprovechamiento de Lodos Provenientes de Plantas de Tratamiento. Mexico, D.F., diciembre de 2009.
- Bedoya U., K.; Acebedo R. J.; Peláez J., C. y S. Agudelo. (2013). Caracterización de Biosólidos Generados en la Planta de Tratamiento de Agua Residual San Fernando, Itagüí, Antioquia Colombia. *Revista Salud Publica* 15(5), 2013.
- Beltrame G., K.; Aloisi R.R.; Vitti C.G. y R. Boluda. (1999). Compostaje de un Lodo Biológico de la Industria Cervecera con Aireación Forzada y Virutas de Eucalipto. *EDAFOLOGIA*, Sociedad, Española de la Ciencia del Suelo. Vol. 6, pág. 85-93. Diciembre de 1999. Sao Pablo, Brasil.
- Benítez B., M. (2010). Sobrevivencia y Crecimiento en Altura de *Pinus greggii* Englem. en Plantaciones del Noreste de México. Monografía UAAAN. Saltillo, Coahuila. Agosto de 2010.
- Borjas C., J. (2010). Efecto del Tipo de Contenedor y Preparación del Sitio en el Establecimiento de *Prosopis glandulosa* Torr. en Plantaciones. Tesis de licenciatura UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. Mayo, 2010.
- Bueno M., P.; Díaz B., M. y F. Cabrera. (2008). Factores que Afectan al Proceso de Compostaje. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla.
- Cabrera G., C. (2003). Plantaciones Forestales: Oportunidades para el Desarrollo Sostenible. Universidad Rafael Landivar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Serie de documentos técnicos num. 06. Guatemala; mayo de 2003.
- Capó A., M. A. (2001). Establecimientos de Plantaciones Forestales: los Ingredientes del Éxito. Primera Edición, Ed. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. P. 200.

- Cardenaz L., V. (2010) Ensayo de adaptación de cuatro procedencias de *Pinus pinceana* Gordon en el municipio de Saltillo, Coahuila. Tesis de licenciatura UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. Mayo, 2010.
- Castrejón A., Barrios J., A.; Jiménez B., Maya C.; Rodríguez A. y González A. (2000). Evaluación de la calidad de lodos residuales de México. Instituto de Ingeniería. Grupo de tratamiento y reúso. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, México Distrito Federal.
- Cervantes C. y Moreno S. (1999). Contaminación ambiental por metales pesados: Impacto en los seres vivos. AGT Editor S. A. México. 157 pp.
- Cetina A., V.; González H., V.; Ortega D., M.; Vargas H., J. y M. A. Villegas. (2002). Supervivencia y Crecimiento en Campo de *Pinus greggii* Engelm. Previamente Sometido a Podas o Sequía en Vivero. Agrocienza, vol. 36, num 2, marzo-abril, 2002, pp. 233-241 Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.
- Chicón R., L. (2000). Especiación de Metales Pesados en Lodos de Aguas Residuales de Origen Urbano y Aplicación de Lodos como Mejoradores de Suelos. Trabajo de investigación del Programa de Doctorado en Ingeniería Ambiental de la universidad de Málaga, España.
- CONAFOR. (2007). Catálogo de Contenido de Carbono en Especies Forestales de Tipo Arbóreo del Noreste de México. Comisión Nacional Forestal-Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Nuevo León.
- COANFOR. (2010). Prácticas de Reforestación. Manual Básico. Comisión Nacional Forestal. Primera edición. Jalisco, México. Noviembre de 2010.
- Curiel A., M. (2005). Descripción de 11 Poblaciones Naturales de *Pinus greggii* Variedad *greggii* en el Sureste de Coahuila. Tesis de licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. Noviembre de 2005.

- Dáguer G., P. (2003). Gestión de Biosólidos de la PTAR El Salitre, Pontificia Universidad Javeriana, Curso Internacional de Restauración Ecológica de Canteras y Uso de Biosólidos, 28 de julio–2 de Agosto, Bogotá, Colombia.
- 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.
- Dvorak W., S.; Kietzka J., E.; Donahue J., K.; Hodge G., R. y K. Stanger. (2000). *Pinus greggii*. In: Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative. College of Natural Resources, NCSU. Raleigh, NC. USA. pp. 53-73.
- Eguiluz P., T. (1978). Ensayo de Integración de los Conocimientos sobre el Género *Pinus* en México. Tesis profesional, UACH. Chapingo, México. 446 p.
- FAO. (2002). Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales. Capítulo 3: Plantaciones forestales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2015). Propiedades Biológicas deL Suelo; El Ciclo del Nitrógeno y Ciclo del Carbono. Obtenido del portal de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO e IFA. (2002). Los Fertilizantes y su Uso. Una guía de Bolsillo para los Oficiales de Extensión. Cuarta edición, FAO e IFA, Roma, 2002.
- FONAM-Perú. (2007). Guía Práctica para la Instalación y Manejo de Plantaciones Forestales, elaborado por el Fondo Nacional del Ambiente (FFONAM-PERU). Lima, Perú. Octubre de 2007.

- 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.
- García J., J. (1996). Coníferas Promisorias para Reforestaciones en la Sierra Purépecha. Agenda Técnica No. 2, CIRPAC, INIFAP, SAGAR. Campo Experimental Uruapan. México.
- García N., R. (2002). Apuntes de Sistemas de Producción Forestal. Cap. 4. Deterioro, Restauración y Fomento Forestal. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo México.
- García V., A. (2005). Contribución de las Propiedades Físicas de la Madera de *Pinus greggii* Proveniente de Dos Plantaciones en Hidalgo. Tesis de licenciatura de UAEH. Tulancingo de Bravo, Hidalgo. Enero de 2005.
- Godínez R., J. (2005). Procedencias y Progenies de *Pinus greggii* Engelm., en el Ejido 18 de Marzo, Galeana, Nuevo León. Tesis de licenciatura de la UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. Junio de 2005.
- Guerrero D., Vega G. y C. Herrera. (1998). Guía para Plantaciones Forestales Comerciales Orinquia. Serie de documentación número 38. 49 p. Santa Fe de Bogotá, Colombia. Noviembre de 1998.
- Hernández H., J. (2004). Uso de Lodos Residuales Procedentes de la Ciudad de Durango y su Efecto en la Productividad y Concentración de Metales en Sorgo Forrajero (*Sorghum vulgare*). Tesis de Doctorado de la Universidad de Nuevo León.
- INIFAP. (2003). Monografía de *Pinus greggii* Engelm. Campo experimental del Valle de México. Chapingo, México. Edición Jiménez Editores. 341 p.

- 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.
- 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.
- Kiely G. (1999). Tratamiento de Residuos Sólidos. en: Ingeniería ambiental. (Ed. A. Garcia). Mc Graw-Hill Interamericana de España, pp 843-931.
- López C., I. (1993). Ensayo de Adaptación de Cinco Especies Regionales de Pino, bajo Cuatro Tratamientos a la Vegetación Secundaria en la Sierra La Marta, Arteaga, Coah. Tesis profesional UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 71 p.
- López O., L. A. (2010). Sobrevivencia y Crecimiento de Cinco Especies de Coníferas en Tres Localidades de la Sierra de Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 79 p.
- López W., W. (2010). Estudio del Uso de Residuos Industriales no Peligrosos a Través del Proceso de Compostaje y su Aplicación para Cultivo de Maíz y Frijol. Tesis de Maestría del Instituto Politécnico Nacional. 2010. Tlaxcala, México.
- Martínez V., E. (2004). Metales Pesados en Lodos Residuales Generados en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Aguascalientes, Aguascalientes. Tesis de licenciatura de la Universidad Autónoma de Chapingo.
- Mexal G., J.; López U., J. y A. Aldrete. (2005). Variación entre Procedencias y Respuesta a la Poda Química en Plántulas de *Pinus greggii*. *Agrociencia*. Vol. 39, num. 5, 2005, pp 563-574.

- Moliendo M. (2002). Las plantaciones Forestales; Catalizadores de la Conversación en América Latina. ¿Por qué las plantaciones no son cultivos agrícolas?
- Morales P. (2010). Tipos de Fertilizantes. Archivado en documentos de temas educativos de la página virtual de Garden Center Ejea. Abril de 2010.
- Moreno R., A. (2004). Origen, Importancia y Aplicación de Vermicomposta para el Desarrollo de Especies Hortícolas y Ornamentales. Artículo técnico, Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna.
- Muños F., J.; Coria A.; V.; García S., J.; Velasco B., E. y G. Molina. (2012). Evaluación de una Plantación de *Pinus greggii* Engelm. con Dos Espaciamiento. Revista Mexicana de Ciencias Forestales vol.3 no.11 México. Mayo de 2012.
- Nájera C., J. A.; Oviedo R., J. L.; Morales Q., L. y J. Mendoza-Montejo. (2003). Evaluación del Crecimiento en una Plantación de Árboles de Navidad bajo Régimen de Fertilización en Saltillo, Coahuila. Tecnologías de Producción de Árboles de Navidad en el Sureste de Coahuila.
- Navarro B. (2003). Química Agrícola: El Suelo y los Elementos Químicos Esenciales para la Vida Vegetal. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, Barcelona México; 2003, pp. 455.
- Ochoa O., S. (2010). Efecto de la Calidad de Planta y Preparación del Sitio en la Sobrevivencia y Crecimiento de *Pinus cembroides* en Sitios Difíciles. Tesis de la UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. Marzo 2010.
- Obreza y Ozores M. (1999). Uso de Compostas en Producción de Hortalizas en Florida. Symposium Internacional sobre Compostas., Halifax/Dartmouth Nova Scotia, Canada.

- 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.
- Ozores M. y Méndez J. (2010). Uso de Biosólidos en Producción de Hortalizas. Departamento Ciencias Horticultural, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Universidad de la Florida (UF/IUFAS). Fecha de primera publicación: Agosto 2010.
- Paz C., C.; Henríquez O. y R. Freres. (2007). Posibilidad de Aplicación de Lodos Biosólidos a los Suelos del Sector Norte de la Región Metropolitana de Santiago. *Revista de Geografía Norte Grande.* 37, 35-45 (2007) Santiago de Chile.
- Potisek T., M.; Figueroa V., U.; González C., G.; Rodolfo J., I. R. e I. Orona (2010). Aplicación de Biosólidos al Suelo y su Efecto Sobre Contenido de Materia Orgánica y Nutrientes. *Terra Latinoamericana*, vol. 28, núm. 4, octubre-diciembre, 2010, pp. 327-333, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. México.
- Ramírez D., M. (2011). Metodología para Realizar y Presentar Informes de Supervivencia Inicial de las Plantaciones Forestales Comerciales. CONAFOR. Enero 2011.
- Ríos S. (2009). Grupo de Gestión de Residuos, "Etapas del Proceso de Compostaje". Proyecto de gestión de residuos orgánicos en la facultad de la UDC. Diciembre de 2009.
- Robledo. (2012). Manejo y Uso de Biosólidos en Suelos Agrícolas. Tesis de Doctorado del Colegio de Postgraduados de Universidad Autónoma de Chapingo. 2012, Texcoco, Edo de México.

- Rodríguez L., R.; Valencia M., S.; Meza R., J.; Capó A., M. A. y A. Reynosa-Pérez. (2008). Crecimiento y Características de la Copa de Procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en Galeana, Nuevo León. *Rev. Fitotecnia de México*. Vol 31(1): 19-29. 2008.
- Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. Editorial Limusa. México. 432 p.
- Saenz R., T.; Muños F., J. y A. Rueda. (2011). Especies Promisorias de Clima Templado para Plantaciones Forestales Comerciales en Michoacan. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias, Campo experimental de Michoacán. Uruapan, Michoacán, septiembre de 2011.
- Salazar P., L. (2003). Evaluación de la Regeneración Natural de *Pinus greggii* Engelm. Posterior a un Incendio en Las Placetas, Ejido 18 de Marzo, Municipio de Galeana, Nuevo León. Tesis de licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. Enero de 2003.
- Sánchez H., Z. (2009). Propuesta para el Tratamiento de Metales Pesados en Lodos Residuales de Origen Urbano, Utilizando Vermicomposteo. Tesis de maestría del Instituto Politécnico Nacional. Altamira, Tamaulipas.
- Sánchez V., J. (2007). Fertilidad de Suelos y Nutrición Mineral de lantas. Fertitec S.A. Enero 2007.
- 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.
- SEMARNAT. (NOM-052-ECOL-1993). Que establece las características de los residuos peligrosos y el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, pp. 1-38.

- Soliva M. y Huerta O. (2004). Compostaje de Lodos Resultantes de la Depuración de Aguas Residuales Urbanas. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona. Formación de Técnicos para el tratamiento y gestión de depuradora, noviembre de 2004, Barcelona, España.
- Soliva M. y López M. (2004). Calidad de Compost: Influencia del Tipo de Materiales Tratados y de las Condiciones del Proceso. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona. Formación de Técnicos para el tratamiento y gestión de depuradora, noviembre de 2004, Barcelona, España.
- Torres C., L. (2005). Elaboración de Compostas. Ficha técnica. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca-Universidad Autónoma de Chapingo.
- 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.
- Uribe M., H.; Orozco H., G.; Chávez S., N.; Orozco H., G. y M. Espino. (2003). Biosólidos Digeridos Anaeróbicamente en la Producción de Maíz Forrajero. Agricultura Técnica en México. Vol. 29. Núm. 1, junio 2013. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias México.
- U.S.E.PA. (2000). Aplicación de Biosólidos al Terreno. Folleto informativo de tecnología de biosólidos. United States, Environmental Protection Agency, septiembre 2000, Washington D.C.
- Valenzuela S., C. (2008). Elaboración de Compostas a Partir de Residuos Orgánicos. Seminario sobre usos de abonos orgánicos en la agricultura. INIFAP, Obregón, Sonora.

- Vega A., A. (2013). Evaluación de las Plantaciones Forestales Comerciales Establecidas Entre 1994 y 1996 en Los Tuxtlas, Veracruz. Tesis de la universidad veracruzana, marzo, 2013.
- Vicencio R., M.; Pérez L., M.; Medina H., E. y M. Martínez. (2011). Producción de Compostaje a Partir de los Lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de un Rastro. Rev, Int. Contam. Ambie. 27 (3) 263-270, 2011. Durango, Dgo. México.
- Widman A., F.; Herrera R., F. y D. Cabañas. (2005). El Uso de Composta Proveniente de Residuos Sólidos Municipales como Mejorador de Suelos para Cultivos en Yucatán. Artículo de investigación Ingeniería 9-3 (2005) 31-38. Mérida Yucatán, México.

VIII. APÉNDICE

Apéndice A. Análisis de varianza para **sobrevivencia**

Primer período (22/06/ 2015 a 29/01/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	4	5814.81	1453.70	1.74	0.21
Error	10	8333.33	833.33		
Total corregido	14	14148.14			

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

Segundo período (29/01/2016 a 13/05/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	4	7518.518	1879.629	1.95	0.17
Error	10	9629.629	962.962		
Total corregido	14	17148.148			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.438	75.482	31.031	41.11

Apéndice B: Análisis de varianza para **crecimiento en altura** (cm)

Primer período (22/06/ 2015 a 29/01/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	4	6.367	1.591	0.46	0.76
Error	9	31.480	3.497		
Total corregido	13	37.847			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.168	135.782	1.870	1.377

Segundo período (29/01/2016 a 13/05/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	4	17.951	4.487	1.78	0.23
Error	7	17.610	2.515		
Total corregido	11	35.562			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.504	25.428	1.586	6.237

Período total (22/06/2015 a 13/05/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	4	39.464	9.866	1.05	0.44
Error	7	66.061	9.437		
Total corregido	11	105.526			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.373	38.254	3.072	8.030

Apéndice C: Análisis de varianza para **crecimiento en altura** (%)

Segundo período (29/01/2016 a 13/05/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	4	19.558	4.889	2.76	0.11
Error	7	12.388	1.769		
Total corregido	11	31.946			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.612	19.656	1.330	6.767

Período total (22/06/2015 a 13/05/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	4	52.340	13.085	1.21	0.38
Error	7	75.461	10.780		
Total corregido	11	127.801			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamientos
0.409	36.596	3.283	8.971

Apéndice D: Análisis de varianza para **crecimiento en diámetro de copa** (cm)

Primer período (22/06/ 2015 a 29/01/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	4	104.451	26.112	2.52	0.114
Error	9	93.130	10.347		
Total corregido	13	197.581			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamiento
0.528	51.532	3.216	6.24

Segundo período (29/01/2016 a 13/05/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	4	16.692	4.173	1.05	0.44
Error	7	27.854	3.979		
Total corregido	11	44.546			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamiento
0.374	73.634	1.994	2.709

Período total (22/06/2015 a 13/05/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	4	101.481	25.370	1.03	0.45
Error	7	171.766	24.538		
Total corregido	11	273.248			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamiento
0.371	52.558	4.953	9.425

Apéndice E: Análisis de varianza para **crecimiento en diámetro de copa (%)**

Segundo período (29/01/2016 a 13/05/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	4	146.236	36.559	1.25	0.37
Error	7	204.912	29.273		
Total corregido	11	351.149			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamiento
0.416	73.465	5.410	7.364

Período total (22/06/2015 a 13/05/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	4	1306.719	326.679	1.16	0.40
Error	7	1967.323	281.046		
Total corregido	11	3274.043			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamiento
0.399	52.399	16.764	31.993

Apéndice F: Análisis de varianza para **crecimiento en diámetro basal (mm)**

Primer período (22/06/ 2015 a 29/01/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr>F
Modelo	4	3.736	0.934	2.15	0.15
Error	9	3.918	0.435		
Total corregido	13	7.654			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamiento
0.488	46.490	0.659	1.419

Segundo período (29/01/2016 a 13/05/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr>F
Modelo	4	5.861	1.465	1.90	0.21
Error	7	5.391	0.770		
Total corregido	11	11.253			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamiento
0.520	47.905	0.877	1.832

Período total (22/06/2015 a 13/05/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr>F
Modelo	4	7.605	1.901	1.70	0.25
Error	7	7.811	1.115		
Total corregido	11	15.417			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamiento
0.493	33.896	1.056	3.116

Apéndice G: Análisis de varianza para **crecimiento en diámetro basal (%)**

Segundo período (29/01/2016 a 13/05/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr>F
Modelo	4	539.213	134.803	1.63	0.26
Error	7	577.241	82.463		
Total corregido	11	1116.455			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamiento
0.482	53.204	9.080	17.068

Período total (22/06/2015 a 13/05/2016)

Fuente	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr>F
Modelo	4	806.749	201.687	1.07	0.43
Error	7	1322.503	188.929		
Total corregido	11	2129.253			

R-cuadrada	C.V	Raíz CME	Media de Tratamiento
0.378	41.543	13.745	33.086