

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Sobrevivencia y Crecimiento Inicial de una Plantación de *Prosopis glandulosa*
Torr. Establecida en Sustrato con Biosólidos en Saltillo, Coahuila

Por:

ADILENE BONILLA RAMÍREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México.

Junio del 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Sobrevivencia y Crecimiento Inicial de una Plantación de *Prosopis glandulosa*

Torr. Establecida en Sustrato con Biosólidos en Saltillo, Coahuila

Por:

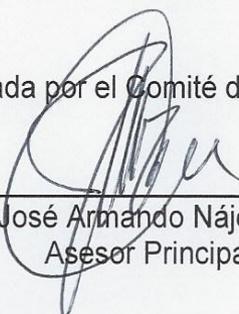
ADILENE BONILLA RAMÍREZ

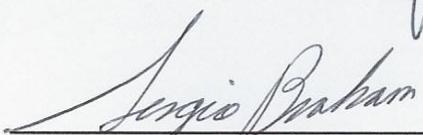
TESIS

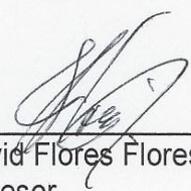
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

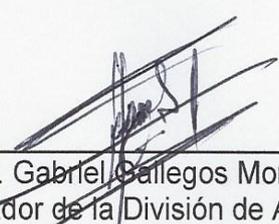
INGENIERO FORESTAL

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 Callegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Junio del 2016

DEDICATORIA

A mis Padres

María Ramona Ramírez Vega y Antonio Bonilla Ramírez

Por haberme dado la vida, por su amor, educación y confianza; por ser siempre mi fuerza para seguir adelante, porque con su sacrificio pude lograr este sueño que finaliza con este trabajo y que abre el camino para nuevas metas; y porque a pesar de los tropiezos no dejaron de creer en mí.

Por haberme dado un hogar y una maravillosa familia. Para ustedes con todo mi amor.

A mis hermanos

Ana Rosa, Pamela, Joaquín y José Antonio

Por ser los mejores hermanos del mundo; porque a pesar de que ahora cada uno tenemos caminos distintos, siempre han estado ahí para darme un consejo, unas palabras de apoyo y siempre confiaron en que yo podía ser una profesional, Joaquín sin tu gran ayuda a lo largo de mi carrera no lo hubiera podido lograr, y espero algún día poder compensar todo lo que hiciste por mí.

A mi tía

Marta Ramírez Vega

A usted por brindarme siempre su apoyo incondicional, por sus valiosos consejos y por ser esa persona que con su ejemplo, puso en mí esas ganas de superarme y de llegar a ser lo que ahora soy.

Para usted con cariño y respeto.

A mi prima y sobrinos

Andrea, Ana Patricia, Arturo, Emiliano y Danna.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, gracias por acompañarme y bendecirme a lo largo de mi vida, por haberme brindado la paciencia y sabiduría necesarias para poder terminar mis estudios.

A mi “Alma Terra Mater” la Universidad Autónoma Agraria Antonio, por brindarme las herramientas necesarias para lograr uno de los más importantes objetivos en mi vida, y contribuir positivamente en mi formación profesional.

Al M.C. José Armando Nájera Castro, por su disponibilidad para poder realizar este proyecto, por el tiempo dedicado a la revisión del documento y por transmitirme conocimiento durante mi carrera.

Al Ing. Sergio Braham Sabag, por su valiosa participación en la revisión de este trabajo y por aceptar ser parte del jurado calificador.

Al M.C. Jorge David Flores Flores, por su valiosa participación en la revisión de este trabajo y por aceptar ser parte del jurado calificador.

A todos los profesores del Departamento Forestal, por la paciencia que siempre tuvieron para transmitir su valioso conocimiento y sus experiencias profesionales.

A mis amigos y compañeros que colaboraron en el establecimiento de este experimento: Anaí Martínez M., Rigoberto O. Vázquez M., Cristian D. López G., Eliud E. Salazar G., José de Jesús Moreno H., Diego López L., Cesar A. Martínez S., Favio S. López A., Iván Orduñez C., Jesús Gómez R., Luis Omar Flores H. y Luis Fco. Aguilar C.

A mis amigos de la carrera de Ingeniero Forestal generación 2011 – 2016: Caty, Lupita, Anita, María C., Mari S., Luis Fco., Luis Omar, Silverio, Eliud, Cristian, Javier,

Rigoberto, Jesús, Gary, Alberto, Fernanda y Lulú, con quienes compartí momentos de alegría, tristeza y noches de desvelo, gracias por brindarme su amistad, porque gracias a personas como ustedes el camino se hace más agradable y menos difícil.

A mis amigos de casa: Bina, Caty, Cesar Augusto, Emiliano, Diego, Jesús Moreno, Miguel Ángel, Jesús Aguilar, Saúl, y Armando, gracias por su amistad, por todos esos momentos de sonrisas interminables y divertidas anécdotas.

A Elizabeth Rubio G. por brindarme su amistad sin condición, por su apoyo y sabios consejos, por estar conmigo en las buenas y en las malas a lo largo de mi formación profesional, Gracias por ser una excelente persona.

A mis padres, hermanos, abuelos, tíos, primos, sobrinos, y todas las personas que creyeron en mí, gracias por brindarme muestras de cariño, palabras de ánimo y por nunca dejarme sola en esta etapa tan importante en mi vida.

ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURA	ii
RESUMEN	iii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo general	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
1.2 Hipótesis	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Plantaciones Forestales	3
2.1.1 Concepto	3
2.1.2 Clasificación de las plantaciones forestales	4
2.1.3. Diseño de plantaciones forestales	6
2.1.4 Problemática de las plantaciones forestales	8
2.2 Nutrición Forestal	9
2.2.1 Macroelementos	9
2.2.2 Microelementos	11
2.2.3 Deficiencia de nutrientes	12
2.3 Biosólidos	14
2.3.1 Concepto y aplicación	14
2.3.2 Normatividad	16
2.3.3 Características físicas de los biosólidos	18
2.3.4 Características químicas de los biosólidos	19
2.4 Descripción de <i>Prosopis glandulosa Torr.</i> (Mezquite)	20
2.4.1 Taxonomía y características morfológicas	20
2.4.2 Distribución de la especie	22
2.4.3 Aprovechamiento del mezquite	22
2.4.4 Importancia ecológica	23
2.5 Trabajos afines	24

3. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1 Descripción del área de estudio	27
3.1.1 Localización geográfica	27
3.1.2 Fisiografía	27
3.1.3 Edafología.....	27
3.1.4 Clima y precipitación	28
3.1.5 Uso del suelo y vegetación	28
3.1.6 Fauna.....	28
3.2 Generalidades de la plantación.....	29
3.2.1 Descripción	29
3.2.2 Preparación del terreno	30
3.2.3 Plantación	30
3.2.4 Protección a la plantación.....	31
3.2.5 Riego	31
3.3 Diseño experimental	31
3.3.1 Tratamientos aplicados.....	32
3.3.2 Preparación de sustratos para cada tratamiento	33
3.3.3 Variables evaluadas.....	34
3.3.4 Equipo de medición	35
3.3.5 Análisis estadístico	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1 Supervivencia.....	36
4.2 Crecimiento en altura	36
4.3 Crecimiento en diámetro basal	38
4.4 Crecimiento en diámetro de copa	41
5. CONCLUSIONES	45
6. RECOMENDACIONES	47
7. LITERATURA CITADA	48
8. APÉNDICE	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Deficiencias de macronutrientes.....	13
Cuadro 2. Deficiencia de micronutrientes.....	14
Cuadro 3. Aprovechamiento de biosólidos.....	17
Cuadro 4. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.....	17
Cuadro 5. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.....	18
Cuadro 6. Clasificación taxonómica del mezquite.....	20
Cuadro 7. Descripción de la dosis de cada tratamiento.....	32
Cuadro 8. Valores medios de crecimiento en altura.....	37
Cuadro 9. Valores medios de crecimiento en diámetro basal.....	39
Cuadro 10. Valores medios de crecimiento en diámetro de copa.....	42

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Esquema de plantación marco real.....	7
Figura 2. Esquema de plantación a tresbolillo.....	7
Figura 3. Esquema de plantación a curvas de nivel.	8
Figura 4. Parcela experimental.....	29
Figura 5. Distribución de los tratamientos y repeticiones.	33
Figura 6. Altura promedio en los tres diferentes períodos de evaluación.	38
Figura 7. Diámetro basal promedio en tres diferentes períodos de evaluación....	41
Figura 8. Diámetro de copa promedio en tres diferentes períodos de evaluación.	44

RESUMEN

La presente investigación se basa en la importancia que tiene el uso adecuado de los biosólidos en México y en las propiedades nutritivas que puede aportar dicho material al suelo y a las plantas, tomando como referencia el mezquite (*Prosopis glandulosa* Torr.) ya que es un árbol de suma importancia para los pobladores del noreste del país, debido a que es fuente de ingresos económicos y alimenticios en esta región. Por ello se estableció una plantación de dicha especie en el ejido San Juan de la Vaquería, Municipio de Saltillo, Coahuila; con un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos y cada uno con tres repeticiones. Tratamiento 1: testigo (0% de biosólidos), tratamiento 2: 20% de biosólidos y tratamiento 3: 40% de biosólidos. El propósito fue determinar cuál de los tres tratamientos incrementa más la sobrevivencia y el crecimiento en las plantas. La plantación se estableció el 13 de junio 2015, y una vez establecida se realizaron tres evaluaciones para analizar el comportamiento de las variables, sobrevivencia, altura, diámetro basal y diámetro de copa. Los resultados que se obtuvieron comparando los datos de la primera evaluación con la tercera, muestran que no hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, pero numéricamente el mejor tratamiento fue el 3, al demostrar valores superiores en las variables evaluadas, excepto para la variable diámetro basal, la cual presentó un valor medio de 1.6587 mm, mientras que en el testigo fue 2.1067 mm. Y en cuanto a sobrevivencia los tres tratamientos respondieron igual al no encontrarse individuos muertos en ninguno de ellos; lo que quiere decir que hubo un 100% de sobrevivencia en la plantación.

Correo electrónico; Adeline Bonilla Ramírez, ad.dy.1992@hotmail.com

Palabras clave: *Prosopis glandulosa* Torr., biosólidos, plantación, crecimiento.

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de preservar el ambiente libre de contaminación exige la depuración de las aguas residuales antes de ser vertidas a los cauces receptores, generando en este proceso elevadas cantidades de residuos orgánicos llamados lodos de depuradoras, biosólidos o fangos (Utria–Borges *et al.*, 2008).

El inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales de 2008, muestra que en México existen 172 plantas tratadoras de aguas residuales (PTAR) primarias, 1650 secundarias, una terciaria y 10 que no están especificadas. De acuerdo al inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales de 2008, existen 684 PTAR primarias, 1185 secundarias, 66 terciarias y 183 no especificadas (Mejía, 2010).

El volumen de producción de residuos orgánicos generados en las plantas tratadoras de aguas residuales llega a convertirse en un grave problema en ciudades muy pobladas y su tratamiento posterior se hace cada vez más urgente a medida que el crecimiento demográfico se acelera (Utria–Borges *et al.*, 2008).

En México son escasos los estudios encaminados a determinar las opciones más adecuadas para la utilización de los biosólidos a partir de sus características; en contraste, a escala internacional han sido puestas en práctica algunas alternativas para el uso de biosólidos, tales como la utilización agrícola, jardinería o agroforestería, por ser éstos una fuente potencial de materia orgánica.

Por tal motivo, se plantea este estudio para realizar la evaluación al utilizar biosólidos en el sustrato del establecimiento de una plantación de una especie representativa de la región semiárida de México, en este caso *Prosopis glandulosa* Torr., a fin de determinar si tiene algún efecto en la sobrevivencia y el crecimiento inicial de las plantas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de biosólidos obtenidos de una planta tratadora de aguas residuales, en una plantación de *Prosopis glandulosa* Torr.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Evaluar la sobrevivencia de las plantas en cada condición del suelo, con y sin depósito de biosólidos.
2. Evaluar el crecimiento inicial en altura, diámetro basal y diámetro de copa de las plantas establecidas en cada condición del suelo, con y sin depósito de biosólidos.

1.2 Hipótesis

Ho: La aplicación de biosólidos al sustrato de plantación no incrementa la sobrevivencia y el crecimiento en una plantación de *Prosopis glandulosa* Torr.

Ha: La aplicación de biosólidos al sustrato de plantación incrementa la sobrevivencia y el crecimiento en una plantación de *Prosopis glandulosa* Torr.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Plantaciones Forestales

2.1.1 Concepto

Una planeación forestal consiste en el establecimiento de árboles que conforman una masa boscosa y que tiene un diseño, tamaño y especies definidas para cumplir objetivos específicos como plantación productiva, fuente energética, protección de zonas agrícolas, protección de espejos de agua, corrección de problemas de erosión, plantaciones silvopastoriles, entre otras (Trujillo, 2006).

En las evaluaciones de recursos forestales mundiales “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 que cumplen con los requisitos de una superficie mínima de 0.5 ha; una cubierta de copa de al menos el 10 % de la cubierta de la tierra, y una altura total de los árboles adultos por encima de los 5 m. (FAO, 1981).

Para la FAO, el concepto de plantación forestal tiene dos acepciones:

- * Rodales forestales establecidos artificialmente por forestación, en terrenos donde previamente no había bosques, terrenos no forestales.
- * Rodales forestales establecidos artificialmente por reforestación, en terrenos donde había bosque e involucrando el reemplazo, esencialmente de las especies nativas, por una nueva especie o variedad.

De igual manera Capó (2001), menciona que el término “plantación forestal” incluye también las actividades encaminadas al establecimiento de un rodal forestal en un lugar donde antes había o no bosque, aunque no sea la misma especie y variedad del bosque nativo.

2.1.2 Clasificación de las plantaciones forestales

Según Cabrera (2003), existen diferentes criterios para clasificar las plantaciones forestales, y a continuación se presentan las diferentes categorías establecidas:

- * Clasificación con base en el ecosistema utilizado.
 - Plantación en pleno: Es el sistema de reforestación más utilizado a nivel mundial. Se trata de la plantación de árboles en un sitio que carece de cobertura vegetal. Los individuos de las especies plantadas se convierten en la especie dominante.
 - Plantación agroforestal: Plantación cuyo objetivo principal es la producción forestal, e incorpora a la plantación un cultivo agrícola o pecuario. Posee la ventaja que durante el turno de cosecha de los árboles, el propietario puede percibir ingresos de la cosecha de los productos agropecuarios y además las actividades culturales del cultivo contribuyen al mejor crecimiento de los árboles plantados.

- * Clasificación con base a la composición de especies
 - Plantación pura o monoespecífica: Son las que se realizan con una sola especie.

- Plantación mixta: Incluyen dos o más especies combinadas en un mismo espacio geográfico, con el objeto de proveer diferentes productos forestales e ingresos escalonados en el tiempo. Esto le permite al propietario poseer retribuciones más o menos continuas, hasta la cosecha final de la especie con el turno más largo.
- * Clasificación con base al origen de las especies
 - Plantación nativa: Son las plantaciones que utilizan especies que pertenecen al sistema natural donde se establecen.
 - Plantación exótica: Son las plantaciones que utilizan especies que no pertenecen al sistema natural al que van a ser establecidas.
 - * Clasificación con base en el objetivo de la producción
 - Plantación industrial: Son las plantaciones cuyos productos están destinados a abastecer la industria.
 - Plantación energética: Son las plantaciones cuyos productos están destinados a ser utilizados como combustibles.
 - Plantación de uso múltiple: Son las plantaciones cuyos productos están destinados a satisfacer múltiples propósitos.

Por su parte la CONAFOR (2010), establece otras diferentes clasificaciones de los tipos de plantaciones que se establecen.

- * Investigación, experimental o demostrativa.

Este tipo de reforestación es utilizada con fines demostrativos para crear conciencia ambiental en la población local y desarrollar interés por el cuidado del medio ambiente. También muestra los beneficios que se generan con el

mejoramiento de la calidad del aire y la reducción de contaminantes. Se puede utilizar con fines científicos, ya sea para realizar estudios de investigación o de introducción de especies, mostrar la forma en que se desarrollan las plantaciones de alguna región determinada o mejorar su establecimiento y manejo.

- * De protección y restauración

Este tipo de plantación se establece con el propósito de proteger y contribuir a la estabilización y restauración de terrenos donde existen fuertes problemas de pérdida de vegetación y erosión del suelo.

2.1.3. Diseño de plantaciones forestales

La distancia entre planta y planta dependerá del espaciamiento que las especies demanden al ser adultas, tomando en cuenta que en sus etapas juveniles la plantación debe tener por lo menos el doble de densidad que cuando es adulta.

Los diseños de plantación más comunes son: marco real, tres bolillo y curvas de nivel; a continuación se describen las características de cada uno (CONAFOR, 2010).

- * Marco Real

Este diseño es recomendado para terrenos planos o con pendientes menores a 20 %; las plantas quedan colocadas de manera que forman, ya sea cuadros o rectángulos. Se recomienda utilizar este diseño para plantaciones con fines productivos, por el manejo que se le puede dar a la plantación para deshierbes, riegos y fertilización entre otros.

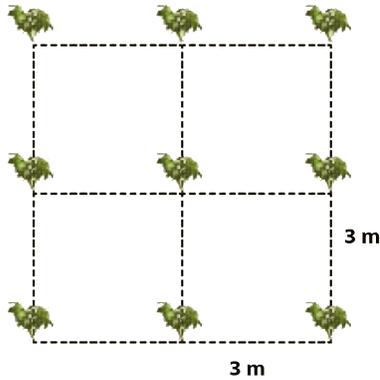


Figura 1. Esquema de plantación marco real.

* Tresbolillo

Las plantas se colocan de manera que formen triángulos equiláteros. Este arreglo se utiliza en terrenos con pendientes mayores a 20 %, aunque también se puede utilizar en terrenos planos.

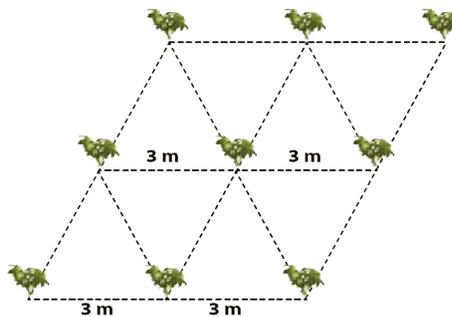


Figura 2. Esquema de plantación a tresbolillo.

* Curvas a nivel

Se utiliza en terrenos donde la pendiente es muy fuerte para evitar o reducir la erosión. Este diseño se acompaña con obras de conservación de suelos.

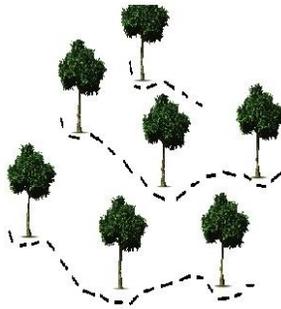


Figura 3. Esquema de plantación a curvas de nivel.

2.1.4 Problemática de las plantaciones forestales

Torres (2004), menciona que, la superficie de plantaciones comerciales en México aún sigue siendo muy pequeña. Se estima que solo existen 34 mil hectáreas de plantaciones comerciales y alrededor de 590,000 hectáreas de plantaciones no comerciales (cifra para el año 1999), las cuales tienen como objetivos la protección y restauración.

La reforestación con fines de protección y restauración han sido principalmente una actividad pública, y el enfoque central ha estado en la producción de planta. La falta de monitoreo y rendición de cuentas de las organizaciones responsables del establecimiento de las reforestaciones han dado como resultado el uso ineficiente de los recursos presupuestales. La falta de equilibrio entre la oferta y la demanda de plantas y la definición de precios, han llevado a imperfecciones serias en este mercado, que ha sido mantenido por la dominancia pública en la actividad y como una barrera de entrada para el sector privado. Un ejemplo es la distribución gratuita de plantas, que ha provocado la disminución de la motivación de los viveros privados para producir árboles de mejor calidad. Los programas de producción de planta, reforestación y plantación han carecido de integración y optimización, y el poco énfasis en el cuidado posterior de las reforestaciones ha llevado a una tasa de mortalidad alta (Torres, 2004).

2.2 Nutrición Forestal

Peñuelas *et al.* (2000) mencionan que la fertilización es, después del riego, la práctica cultural que más directamente influye en el desarrollo de las plantas. El estado nutricional afecta básicamente a los procesos fisiológicos de las plantas, tales como la regulación del crecimiento, el flujo de energía, y la síntesis de los complejos orgánicos moleculares que componen las plantas.

Los vegetales, además del oxígeno, el carbono y el hidrógeno que componen el anhídrido carbónico y el agua, necesitan otros 13 elementos esenciales para su funcionamiento, divididos en 6 macronutrientes que son: nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, y magnesio y 7 micronutrientes: hierro, cobre, molibdeno, boro, zinc, manganeso y cobalto. Los macronutrientes se dividen a su vez en principales, que serían nitrógeno, fósforo y potasio y secundarios que serían azufre, calcio y magnesio (Peñuelas *et al.*, 2000).

De acuerdo con Ruano (2003), la función principal de los macro y micro elementos en las plantas son las siguientes:

2.2.1 Macroelementos

*** Nitrógeno**

Es un elemento primordial para las plantas, ya que como se sabe, forma parte de las proteínas y de otros compuestos orgánicos esenciales como los aminoácidos, enzimas, coenzimas, vitaminas, ácidos nucleicos, clorofila, etc. Su función es generar follaje vigoroso en las plantas.

- * Fósforo

El fósforo forma parte de todos los tejidos de la planta, generalmente en forma de ortofosfatos y en casos como pirofosfatos, y al igual que el nitrógeno, es un elemento que interviene prácticamente en todos los procesos importantes del metabolismo.

- * Potasio

No forma parte de los principios fundamentales de la planta (glúcidos, lípidos y prótidos) y sin embargo es absorbido por ellas en cantidades importantes. Junto con la cal, constituyen la mayor parte de las materias minerales de los vegetales, por lo que en sus cenizas encontramos gran cantidad de este elemento. Interviene, entre muchos otros procesos, en la fotosíntesis, en la formación de prótidos, en el mejor aprovechamiento del agua por la planta al mantener la turgencia celular (disminuye la transpiración cuando el agua escasea), etc.

- * Calcio

Juega un importante papel en la vida de la planta, desde su germinación hasta su madurez. Interviene en el crecimiento de las raíces, en la absorción de los demás elementos nutritivos y en la actividad de algunas enzimas proporcionando mayor resistencia a los tejidos.

- * Magnesio

Interviene en la mayoría de los procesos vitales de la planta, forma parte de la clorofila, y participa en la formación de proteínas y vitaminas.

- * Azufre

Forma parte de las proteínas, vitaminas, aminoácidos esenciales y de los enzimas, actúa asimismo como catalizador en los procesos de formación de la clorofila.

2.2.2 Microelementos

- * Hierro

Esencial para la formación del pigmento clorofílico, normalmente el hierro se asimila fácilmente por las plantas, cuando se encuentra en forma ferrosa o asociada a complejos orgánicos en forma de quelatos.

- * Manganeso

Esta constituido en la planta en cantidades muy bajas. Se suele encontrar generalmente en la planta en forma iónica o asociada a complejos orgánicos. Niveles altos de manganeso en la planta resultan tóxicos.

- * Zinc

Está representado de forma mínima en la planta. No está muy claro si el proceso de absorción del ión zinc es de forma activa o pasiva. Generalmente se acumula en la corteza de la raíz.

- * Cobre

Este elemento se halla disociado en la planta sin que forme compuestos estables. Su actividad principal se centra en el campo de los enzimas.

- * Molibdeno

Está formando parte de diversas enzimas. Su principal actividad se manifiesta en la reducción de los nitratos.

- * Boro

Al parecer se encuentra en la planta como ácido bórico sin disociar o formando complejos inestables con polisacáridos. Sus funciones en la planta no están suficientemente claras ni determinadas.

- * Cloro

Es requerido en cantidades mínimas por las plantas. No se conoce bien el papel fisiológico del cloro en la planta, aunque es totalmente imprescindible; parece tener una actividad asociada a los procesos fotosintéticos.

2.2.3 Deficiencia de nutrientes

En general, las deficiencias de nutrición se caracterizan por síntomas que pueden ser observables, aunque hay una considerable variación entre ellos para las distintas especies arbóreas, y en ocasiones pueden darse confusiones entre carencias distintas. Según Landis (1989), cuando hay carencia de nutrientes los síntomas más frecuentes que se pueden presentar son los siguientes (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1. Deficiencias de macronutrientes.

Macronutrientes	Síntoma de deficiencia
Nitrógeno	Clorosis general seguida de atrofia; en algunos casos el follaje es pequeño, de verde amarillento a amarillo; puede ir seguido de posibles necrosaciones de los ápices de las hojas. Se distingue de la clorosis férrica por que se afectan primero las hojas más viejas.
Fósforo	La planta entera esta atrofiada, aunque el tamaño de las hojas puede o no reducirse. Los síntomas en las hojas varían según las especies entre coloraciones verde mate, amarillo o púrpura.
Potasio	Síntomas variables entre especies: follaje generalmente pequeño, clorótico con algo verde en la base, en algunos casos necrosaciones. También se pueden dar colores pardos.
Calcio	Atrofia y crecimiento mínimo en todos los meristemos, en algunos casos las yemas terminales pueden morir o no desarrollarse. Las especies de hoja ancha muestran quemaduras y clorosis en las hojas más nuevas. También es común pardeamiento y mortalidad en los ápices radicales.
Magnesio	Ápices amarillos o naranja seguidos por necrosaciones en algunos casos. Las especies de hoja ancha siempre muestran necrosis entre los nervios.
Azufre	Clorosis en el follaje que tiende a un amarillo verdoso, las hojas más jóvenes son las más afectadas. Atrofia de las hojas y eventuales necrosaciones en algunos casos.

Fuente: Landis (1989).

Cuadro 2. Deficiencia de micronutrientes.

Micronutrientes	Síntoma de deficiencia
Hierro	Aparecen las primeras clorosis en las hojas más jóvenes. En algunos casos coloraciones de amarillo brillante a blanco.
Manganeso	Clorosis en el follaje, similar a las deficiencias de hierro.
Zinc	Atrofia extrema en el follaje en manojos o rosetas, seguido de muerte de los ápices en casos extremos.
Cobre	Espiralización con coloraciones amarillentas o metálicas en los ápices de las acículas.
Molibdeno	Clorosis en las hojas seguida de necrosis, empezando por los ápices.
Boro	Clorosis y necrosis en las yemas terminales.
Cloro	No hay información sobre síntomas de deficiencia.

Fuente: Landis (1989).

2.3 Biosólidos

2.3.1 Concepto y aplicación

Los biosólidos son, principalmente, materiales orgánicos producidos durante el tratamiento de aguas residuales, los cuales pueden ser utilizados en diversos usos beneficiosos. Un ejemplo de tales usos es la incorporación de biosólidos al terreno para abastecerlo de nutrientes y para renovar la materia orgánica del terreno. Esta actividad se conoce como aplicación al terreno. Los biosólidos se pueden utilizar en terrenos agrícolas, bosques, campos de pastoreo, o en terrenos alterados que necesitan recuperación (EPA, 2000).

La NOM-004-SEMARNAT (2002), describe los biosólidos de la siguiente manera: 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, pueden susceptibles de aprovechamiento.

Los biosólidos tienen valor fertilizante y mejoran las propiedades físicas y químicas de los suelos (Tester, 1990). Este material contiene cantidades considerables de materia orgánica, N, P y K, además de otros nutrimentos como Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, y B (Lovell, 1996).

La aplicación de estos biosólidos en suelos agrícolas, reduce la demanda de fertilizantes inorgánicos, constituyendo una buena fuente de nutrientes para las plantas y mejorando ciertos parámetros físicos del suelo (López, *et al.* 2011).

La aplicación de biosólidos al suelo también provee nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno y el fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el níquel, el zinc y el cobre. Los biosólidos pueden servir también como una alternativa o sustituto de los costosos fertilizantes químicos (EPA, 2000).

En el norte de México donde los suelos son predominantemente calcáreos, existen 62 de estas plantas de tratamiento de agua residual que producen 474,604 t de biosólidos (94,921 t en base seca), los cuales se pueden utilizar como fertilizante en cultivos industriales y forrajeros en alrededor de 10,000 ha (Uribe *et al.*, 2008).

El uso agrícola de los biosólidos es una práctica establecida y aceptada en EE.UU. y la mayoría del mundo (Maguire *et al.*, 2000). Por ejemplo, California un Estado con 31 millones de habitantes utiliza en tierras agrícolas el 52% de los biosólidos producidos (390,000 t año⁻¹ en base seca), mientras que Arizona utiliza el 86% de lo que produce, lo cual corresponde a 56,000 t año⁻¹ (Fondahl, 1999).

Como se ha mencionado el reciclaje de los biosólidos a través de la aplicación al terreno tiene varios propósitos, uno de ellos es que mejoran las características del suelo, tales como la textura y la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de la raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía.

2.3.2 Normatividad

Al utilizar los biosólidos en México se debe revisar la normatividad y legislación federal en materia de descargas de aguas residuales y biosólidos, algunas normas son, NOM-001, NOM-002, NOM-003, NOM-004, NOM-005 y NOM-052 SEMARNAT y las normas de la CONAGUA NOM-014 y NOM-015, esto para conocer los parámetros permisibles de alguna de las características de los biosólidos, como puede ser la acides u otros, así como las condiciones apropiadas para poder aplicar este material en un sitio determinado.

El uso de los biosólidos residuales en la agricultura está supeditado a los niveles de concentración de los parámetros de patógenos, parásitos y metales pesados, según NOM-004-SEMARNAT-2002, siendo las clases A, B y C como las más idóneas (Castañeda *et al.*, 2012) (Cuadro 3). Se ha considerado que los biosólidos por sus características propias o por las adquiridas después de un proceso de estabilización pueden ser susceptibles de aprovechamiento siempre y cuando cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana (Cuadro 4), o en su caso, se dispongan en forma definitiva como residuos no peligrosos, para atenuar sus efectos contaminantes para el medio ambiente y proteger a la población en general.

Cuadro 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.
BUENO	C	<ul style="list-style-type: none"> • Usos forestales. • Mejoramiento de suelos. • Usos agrícolas.

En general un residuo es peligroso si presenta al menos una de las siguientes características: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad ambiental, inflamabilidad o biológico – infecciosa. (Núñez, 2009).

Cuadro 4. 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	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

La aplicación de los biosólidos en terrenos con fines agrícolas y mejoramiento de suelos se sujetará a lo establecido en la ley Federal de Sanidad Vegetal y conforme a la normatividad vigente en la materia (Núñez, 2009). También menciona que para la disposición final de los lodos y biosólidos, estos deben cumplir con las especificaciones y con los límites máximos permisibles para el contenido del indicador de contaminación, patógenos y parásitos especificados para la clase C (Cuadro 5).

Cuadro 5. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

- (a) Huevos de helminto viables
- NMP Número más probable

2.3.3 Características físicas de los biosólidos

Caracterizar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los lodos permitirá conocer su aptitud o inadecuación por posibles afecciones al suelo, cultivo y agua, así como su capacidad como fertilizante y acondicionador de suelos (Esteller, 2002).

Robledo (2012), menciona que los lodos de origen primario y secundario se presentan en forma de un líquido que contiene partículas heterogéneas en suspensión. Su volumen representa del 0.05 al 0.5% del volumen de agua tratada para los lodos frescos, mientras que es ligeramente inferior para los lodos activados y otros procedimientos biológicos. La floculación del agua aumenta el volumen de los lodos, y sobre todo su peso, en aproximadamente un 10%. También menciona que, el color de los lodos varía entre el pardo y el gris, y su olor es a menudo desagradable, puesto que se trata de productos fácilmente fermentables y existe un inicio de descomposición. Los principales parámetros físicos son: contenido de materia seca, contenido de materia volátil, contenido de agua intersticial, viscosidad, carga específica, resistencia específica, compresibilidad y poder calórico.

Esteller (2002), menciona que los parámetros a considerar son textura, estructura y espesor de los lodos, que inciden en la permeabilidad al aire y al agua y en otros parámetros hidráulicos.

2.3.4 Características químicas de los biosólidos

Las características químicas de los biosólidos están relacionadas a sus cuatro constituyentes principales: Contenido orgánico, elementos nutritivos, concentración de patógenos, concentración de metales (Cortez-Cádiz, 2003).

Girovich (1996), también menciona que la composición química de los biosólidos varía dependiendo de su origen y el método de tratamiento que se les proporcione. Los principales parámetros químicos son:

- * **Materia orgánica:** Corresponde a la materia volátil, y varía de 60 a 85% de la materia seca.
- * **Elementos nutrientes:** Se trata del contenido de nitrógeno total, fósforo y potasio. Son sustancias que favorecen el crecimiento de las plantas y que tienen mucha importancia para la utilización agrícola de los lodos.

- * Microcontaminantes: orgánicos: Son sustancias que pueden tener una acción negativa sobre el tratamiento de los lodos y sobre su utilización en la agricultura. Se trata generalmente de productos de síntesis química que se utilizan comúnmente y que se encuentran en las aguas de desechos domésticas e industriales. Se hallan particularmente contenidos importantes de detergentes y medicinas.
- * Microcontaminantes minerales: Los biosólidos contienen numerosos elementos minerales, algunos de ellos tienen una acción positiva sobre las plantas o sobre los animales (Fe, Cu, Mn, Zn), sin embargo, otros tienen una acción sobre el uso posterior de las aguas negras (Pb, Cd, Hg, y Ni).

2.4 Descripción de *Prosopis glandulosa* Torr. (Mezquite)

2.4.1 Taxonomía y características morfológicas

Burkart (1976), describe la posición taxonómica del mezquite, de la siguiente manera (Cuadro 6):

Cuadro 6. Clasificación taxonómica del mezquite.

Reino:	<i>Plantae</i>
Filum:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Orden:	<i>Fabales</i>
Familia:	<i>Fabaceae</i>
Subfamilia:	<i>Mimosoideae</i>
Género:	<i>Prosopis</i>
Especie:	<i>Glandulosa</i>

El mezquite es un arbusto o árbol espinoso de hasta 10 m de altura; su sistema radical puede alcanzar más de 50m de profundidad y hasta 15 m en sus laterales, los tallos son de corteza oscura y ramas con abundantes espinas axilares o terminales. Las hojas son compuestas, bipinnadas con 12 a 15 pares de folíolos oblongos o lineares, de 5 a 10 mm de largo. Las flores son de color amarillo verdoso, agrupadas en racimos, miden de 4 a 10 mm, son bisexuales, actinomorfas, con 5 sépalos y 10 estambres. El fruto es una vaina de color paja o rojizo violáceo, con forma de lomento drupáceo, alargado, recto o arqueado y espiralado en algunos casos, indehisciente, de 10 a 30 cm de longitud, puede ser plano o cilíndrico en la madurez y contiene de 12 a 20 semillas (CONAZA e INE, 2000).

Prosopis glandulosa. Los individuos mayores que crecen en rodales abiertos pueden alcanzar alturas de 7 a 13 m; existe también un tipo arbustivo que comúnmente invade las tierras de pastoreo. En rodales densos y sobre sitios arenosos se convierte en un arbusto con varios tallos. Las espinas son axilares de 1 a 4.5 cm de largo; se encuentran a veces en pares, pero por lo común son solitarias. Algunos individuos tienen muy pocas espinas. Las hojas son glabras y tienen uno o dos pares de pinnas de 6 a 17 cm de largo que llevan 6 a 17 pares de folíolos cada una. El largo de los folíolos es de 5 a 12 veces su ancho, en la mayoría de 1 a 4 cm de largo. Están separados a lo largo del raquis a distancias iguales o mayores de su ancho, y ellos son lineares u oblongos, obtusiformes y con una notable nervadura inferior. La inflorescencia es un racimo espigado de casi 5 a 14 cm de largo; los pétalos florales son de 2.5 a 3.5 mm de largo y el ovario es peloso; la vaina es linear, aplanada, amarilla y de casi 10 a 20 cm de largo, 1 cm de ancho y 0.5 cm de espesor, o es derecha o algo curvada. El exocarpio es duro sobre un mesocarpio pulposo y dulce; las vainas contienen 5 a 18 semillas ovaladas, color pardo luciente de 5 mm de ancho, 7 mm de largo y 2 mm de espesor (Ffolliott y Thames, 1983).

2.4.2 Distribución de la especie

El género *Prosopis* se encuentra distribuido en una gran variedad de suelos y climas; comprende 44 especies ampliamente distribuidas en las regiones áridas y semiáridas de Asia, África y América, de las cuales 40 son nativas de América. En México se encuentran alrededor de 11 especies (Palacios, 2006).

Según Palacios (2006), en México la especie *Prosopis glandulosa* se encuentra distribuida en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas; estos estados destacan entre los 8 de la República Mexicana dedicados a la producción forestal de mezquite (Dávila, 1983).

Su distribución comprende casi todo el territorio mexicano, con excepción de las zonas montañosas y las partes bajas del sureste del país; es particularmente en zonas áridas y semiáridas aunque su amplio rango ecológico le permite ser localizado en zonas con temperaturas medias que van de 20 a 29° C, con precipitaciones que oscilan entre 350 y 1,200 mm anuales. Se le encuentra desde el nivel del mar hasta los 2,200 m de altitud; crece preferentemente en llanuras y bajíos, sobre suelos profundos (Rzedowski, 1988).

2.4.3 Aprovechamiento del mezquite

El árbol de mezquite (*Prosopis glandulosa*) fue desde tiempos remotos, uno de los principales recursos naturales para los habitantes de las regiones desérticas, quienes encontraron en esta planta múltiples beneficios (CONAZA, 1994). En las poblaciones rurales la madera la utilizan como fuente energética en forma de leña y carbón, para elaboración de postes para cercos, construcción de muebles, parket, artesanías, casas habitación, hormas para zapatos, tablas y tablones. De este árbol el ganado consume sus frutos y hojas, además de la producción de su flor con fines apícolas, aprovechamiento de la goma que exuda y sus propiedades medicinales (Solís, 1997).

En su trabajo, Galindo (1983) describe los usos que se le han dado al mezquite en México. En la alimentación humana la vaina se consume como fruta fresca, fruta en almíbar, pinole mezquite y atole de mezquite; también para el uso forrajero de la vaina adquiere gran importancia en las zonas áridas. La vaina es un excelente alimento tanto por su alto contenido de carbohidratos y proteínas, como por su palatabilidad para todo tipo de ganado.

En la actualidad, el mezquite es un recurso de importancia para los pobladores de las regiones áridas, quienes llevan a cabo su aprovechamiento como una actividad complementaria a la agricultura, la ganadería y la explotación de otras especies silvícolas. Sin embargo, en muchas áreas del país su densidad poblacional ha disminuido severamente, por lo que resulta necesario fomentar un aprovechamiento sustentable, que conlleve a generar beneficios económicos para los poseedores de este recurso, sin el deterioro y desaparición de las poblaciones (Maldonado y De la Garza, 2000).

2.4.4 Importancia ecológica

El papel que desempeña el mezquite dentro del ecosistema de las zonas áridas es muy importante, debido a que es un excelente fijador de nitrógeno y esto hace que mejore la fertilidad del suelo, controla la erosión y proporciona alimento y refugio a la fauna silvestre (Carrillo, 2006). Es un recurso que puede ser utilizado para la recuperación de tierras agrícolas con problemas de salinidad en suelo y agua, además se considera útil para estabilizar y mejorar el suelo al incrementar el contenido de materia orgánica, mejora la capacidad de almacenamiento de agua y la tasa de infiltración y posee una de las capacidades fotosintéticas más altas, esto por su buen aprovechamiento de agua y de nitrógeno (Ruiz, 2011).

Golubov *et al.* (2001), también mencionan que la importancia del mezquite es indiscutible; ya que juega un papel importante en el medio ambiente como planta fijadora de nitrógeno, enriquece el suelo a su alrededor, promueve el crecimiento de

matorrales asociados a ella y por tanto previene la erosión del suelo; así mismo, actúa como planta nodriza de numerosas especies de aves y roedores.

2.5 Trabajos afines

Ramírez *et al.* (2007) en su estudio Efecto de la Aplicación de Biosólidos en el Crecimiento de *Jacaranda mimosifolia* (Gualanday) y en las Condiciones Físicas y Químicas de un Suelo Degradado, realizaron un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y diez repeticiones por tratamiento. Los tratamientos correspondieron a contenidos de materia orgánica en la mezcla, suelo-biosólido, de 0, 2, 4 y 8 %. Los códigos usados para cada tratamiento fueron: B0, B1, B2 Y B3, respectivamente. Y obtuvieron que, en el testigo (B0) y en el tratamiento B1 la sobrevivencia fue del 100 %, mientras que en los tratamientos B2 y B3 solo sobrevivió el 30 y el 20%, respectivamente; con respecto a la altura, los tratamientos B2 y B3 presentaron un incremento menor de 0,7 cm, el cual estuvo por debajo de los tratamientos B0 y B1.

En el estudio llamado Evaluación a Medio Plazo de la Aplicación de Biosólidos en Repoblaciones Forestales de *Pinus halepensis*, se realizó una evaluación de la supervivencia y crecimiento de brinzales de *Pinus halepensis* sometidos a diferentes dosis de lodos de depuradora compostados o secos al aire, y al evaluar tres años después de la plantación se obtuvo que el porcentaje de mortalidad fue elevado (>50 % en el conjunto de todos los brinzales). Las dosis de 15 y 30 ton ha⁻¹ apenas modificaron los porcentajes de supervivencia respecto al tratamiento control, mientras que dosis superiores los hicieron disminuir significativamente. Con relación al índice de efecto relativo aplicado al área basal de los brinzales tratados mostró una influencia muy positiva de las dosis más bajas frente a los valores negativos de dicho índice con las dosis de 60 ton ha⁻¹. Por lo que, se sugiere que la aplicación de dosis inferiores a 30 ton ha⁻¹ de lodo de depuradora puede suponer una mejora en el

resultado global de repoblaciones de *Pinus halepensis* en medios mediterráneos secos (Fuentes *et al.*, 2008).

Producción de plantas de la especie *Nothofagus alpina*, en un invernáculo del vivero de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Bariloche. Donde se utilizaron dos sustratos, una mezcla 1:1 de compost de biosólidos y pumicita (CB), y un sustrato estándar/tradicional compuesto por una mezcla 1:1 de turba y pumicita “testigo” (T). Se utilizaron bandejas de 28 celdas de 263 cm³ cada una, y cada bandeja representó una repetición: 2 tipos de sustratos por 8 bandejas (repeticiones) por 28 plantas (unidad experimental). Las bandejas se dispusieron según un diseño completamente aleatorizado. Se realizaron mediciones de las variables altura total y diámetro a la base; la primera en 3 fechas diferentes y la segunda solo en 2 fechas; con el propósito de poner a prueba el efecto de los diferentes tipos de sustrato (compost de biosólidos vs testigo) sobre las variables altura total y diámetro a la base del tallo, se llevó a cabo un análisis de variancia (ANVA) a una vía considerando como factor fijo el tipo de sustrato con dos niveles. Los resultados obtenidos muestran que las plantas en compost de biosólidos presentaron en todas las fechas de medición valores significativamente mayores de altura total (en todos los casos $p \leq 0.001$) y diámetro a la base del tallo en una de las fechas: $p= 0.0110$, en comparación a las plantas en sustrato testigo. (Varela *et al.*, 2013).

Utria *et al.* (2007) en su investigación llamada Utilización Agraria de los Biosólidos y su Influencia en el Crecimiento de Plántulas de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), establecida en macetas de 6 litros de capacidad con una altura y diámetro superior de 0.21 m y un diámetro basal de 0.18 m. Para la siembra se utilizaron semillas de tomate de la variedad INCA 9-1; en cada maceta se depositaron 5 kg de sustrato y se desarrollaron tres plántulas. Los tratamientos estudiados fueron: S, suelo natural; F, suelo tratado con fertilizante mineral y B, suelo tratado con 135 g de biosólidos Kg⁻¹ de suelo. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado y los datos experimentales fueron sometidos a un análisis de variancia de clasificación simple. Las comparaciones de medias se realizaron según la prueba

de Tukey para el 5% de probabilidad de error. Como resultados se obtuvo que la aplicación de biosólidos estimuló positivamente el crecimiento en altura de las plántulas (11.0 cm), con valores similares a las desarrolladas en el suelo tratado con fertilizante mineral (10.8 cm) y superiores a las que crecieron en el suelo natural (9.9 cm). Sin embargo al evaluar el diámetro del tallo se pudo observar que las plántulas cultivadas en el suelo tratado con fertilizante mineral lograron los mayores valores (0.43 cm) de esta variable. En ambos casos, las plantas desarrolladas en el suelo natural lograron los menores valores. Este hecho, no es más que la respuesta de la planta al aumento de las concentraciones de elementos esenciales que experimentó el suelo cuando se aplicó fertilizante mineral sintético y biosólidos.

Por su parte Hernández *et al.* (2004), en su estudio llamado Aplicación de Lodos Residuales, Estiércol Bovino y Fertilizante Químico en el Cultivo de Sorgo Forrajero (*Sorghum vulgare Pers.*), el cultivo indicador fue el sorgo forrajero, que se colocó en contenedores de polietileno (40 cm de profundidad y 20 cm de diámetro); en cada contenedor se sembraron tres semillas y a los 15 días se desahijó dejando solo una planta por contenedor. Los tratamientos fueron los siguientes: T₁= testigo, sin aplicación, T₂= 4 t ha⁻¹ de lodo residual, T₃= 8 t ha⁻¹ de lodo residual, T₄= 4 t ha⁻¹ de estiércol bovino, T₅= fertilizante químico con la fórmula 120-60-00. La unidad experimental fue un contenedor, el diseño experimental fue de bloques completos al azar con 5 tratamientos y 5 repeticiones. Se utilizó el método de Tukey para comparar las medias de 5 muestras. Los resultados indican que la producción de materia seca vegetal es mayor en los tratamientos que utilizan lodos residuales y estiércol bovino, y que la producción vegetal es menor en los tratamientos con fertilizante químico y el testigo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Localización geográfica

El estudio se realizó en el Ejido San Juan de la Vaquería, Municipio de Saltillo, Coahuila, se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas 25°15'11" latitud norte y 101°13'05" longitud oeste, a 1840 msnm.

3.1.2 Fisiografía

El sitio de localización del estudio se encuentra dentro de la provincia Sierra Madre Oriental, Subprovincia Pliegues Saltillo-Parras. Con un sistema de topoformas, sierra (6.22%), bajada (9.71%), Llanura con lomeríos (6.11%) y valle (0.90%). (INEGI, 2009).

3.1.3 Edafología

Las unidades de suelo que predomina en el área de estudio son el litosol y xerosol con un 7.03 % de la superficie municipal, los cuales se caracterizan por ser suelos pobres en materia orgánica. Seguido por la unidad de suelo llamada castañosem que se contempla en un 0.16 % de la superficie municipal, son suelos alcalinos que se encuentran ubicados en zonas semiáridas o de transición hacia climas más lluviosos. En condiciones naturales tienen vegetación de pastizal, con algunas áreas de matorral. Frecuentemente tienen más 70 cm de profundidad y se caracterizan por presentar una capa superior de color pardo o rojizo oscuro, rica en materia orgánica y nutrientes, con acumulación de caliche suelto o ligeramente cementado en el subsuelo. (INEGI, 2000)

3.1.4 Clima y precipitación

En el área de estudio se presenta un clima tipo BS1 kw que corresponde a un semicálido, con invierno fresco y lluvias de verano. La temperatura media anual oscila entre 12 °C y 18 °C; con temperaturas extremas de -3 °C y 38 °C. La precipitación media anual es de 457.5 mm, reportándose para el mes de julio la precipitación media mensual más alta (75.7 mm) y para noviembre las más baja (11.8 mm) (Martínez, 2006).

3.1.5 Uso del suelo y vegetación

La vegetación del área de estudio que predomina es el matorral desértico micrófilo con 96.2 %, seguido por el matorral desértico rosetófilo en un 2.6 %, y la vegetación de bosque de pino, bosque pino encino, matorral submontano, plantaciones forestales y área urbana se encuentran distribuidos en un 1.1 % (INEGI, 2000).

3.1.6 Fauna

Los géneros más comunes de fauna en la región son los siguientes: Aguililla (*Buteo sp.*) gavián (*Falco sp.*), codorniz escamosa (*Callipepla squamata*), huilota (*Zenaida macroura*), coyote (*Canis latrans*), conejo serrano (*Sylvilagus floridanus*), liebre (*Lepus sp.*), zorrillo (*Mephitis macroura*), tejón (*Taxidea taxus*), tlacuache (*Didelphys marsupialis*), correcaminos (*Geococcyx californicus*), cuervo (*Corvus corax*), ratón (*Peromyscus sp.*), entre otros (Martínez, 2006).

3.2 Generalidades de la plantación

3.2.1 Descripción

El 13 de junio de 2015 se estableció la plantación de *Prosopis glandulosa* Torr. en el Ejido San Juan de la Vaquería, Municipio de Saltillo, Coahuila, la cual ocupa 2750 m² de superficie total, en forma rectangular, de 50 m de ancho y 55 m de largo; previamente se delimitaron nueve unidades experimentales de 225 m² dejando 5 m de distancia entre cada unidad experimental de Norte a Sur y 2.5 m de Este a Oeste. En cada unidad experimental se plantaron 16 plantas, con un espaciamento de 3.25 m entre cada una, siendo una plantación con un diseño a marco real (Figura 4).

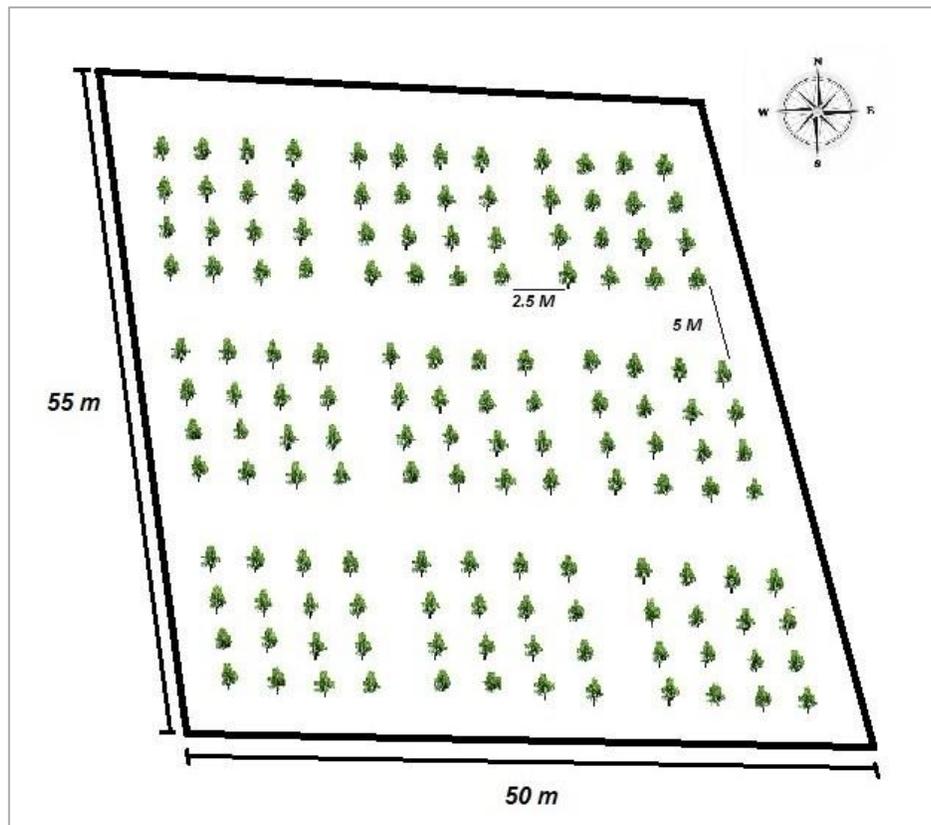


Figura 4. Parcela experimental.

3.2.2 Preparación del terreno

En mayo de 2015, se inició con la delimitación de la parcela experimental, que consta de 50 m de ancho por 55 m de largo y las unidades experimentales de 15 m por 15 m.

Posteriormente se cavaron un total de 144 cepas, distribuidas todas en las 9 unidades experimentales, esto es, 16 cepas por unidad, dichas cepas tienen forma circular, con 40 cm de diámetro por 40 cm de altura, las cuales tienen espacio para depositar 40 l de suelo.

3.2.3 Plantación

Las plantas que se utilizaron son de la especie *Prosopis glandulosa*, las cuales fueron producidas en el vivero del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Como anteriormente se mencionó, la plantación se realizó el día 13 de junio de 2015, a continuación se describe el procedimiento que se realizó para la plantación.

- Ya realizadas las mezclas de los diferentes tratamientos, se procedió a agregar de este material la cantidad que se requiriera hasta llegar a los 5 cm de altura en la cepa (solo en las cepas cuya planta va a estar sometida a evaluación, en los tratamiento 2 y 3), esto para proporcionar mejores condiciones para el enraizamiento de la planta.
- Posteriormente se procedió a retirar la bolsa de polietileno que cubre el cepellón de las plantas, procurando que al momento de retirar la bolsa no se desintegrara la firmeza del cepellón.

- Una vez retirada la bolsa del cepellón, se colocó la planta en el fondo de la cepa, procurando que quedara justo en el centro, y por último se rellenó la cepa con los cuarenta litros de mezcla o suelo, según sea el caso para cada tratamiento.

Es preciso mencionar que no se rellena en su totalidad la cepa, ya que quedan 5 cm de altura aproximadamente que servirán para la captación de agua.

3.2.4 Protección a la plantación

Debido a la susceptibilidad de las plantas de mezquite al ataque de algunas especies pequeñas de fauna, en particular las liebres, se colocaron unos tubos de PVC de 4 pulgadas de diámetro por 40 cm de alto, en el centro de la cepa, quedando de esta manera la planta dentro del tubo.

3.2.5 Riego

Al tercer día de que se estableció la plantación (15 de junio 2015), se aplicó un riego auxiliar, de 5 a 7 litros de agua por planta; esto debido a la importancia de la presencia de humedad en el suelo después de una plantación, y a que la presencia de lluvias en esos días fue muy escasa, aunque se procuró plantar en épocas de lluvias.

3.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, con tres tratamientos y cada uno con tres repeticiones; la unidad experimental fue de 225 m² (15 x 15 m), con dieciséis plantas en total, de las cuales, cinco estuvieron sometidas a evaluación, el resto funcionan como plantas de borde.

El modelo estadístico es el siguiente:

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

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

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

Donde:

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

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento i.

E_{ij} = Error aleatorio, donde $E_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

3.3.1 Tratamientos aplicados

Cuadro 7. Descripción de la dosis de cada tratamiento.

Tratamiento	Dosis (l / cepa)		Dosis (%)	
	Suelo	Biosólidos	Suelo	Biosólidos
1 (Testigo)	40	0	100	0
2	32	8	80	20
3	24	16	60	40

La mezcla de los materiales de cada tratamiento, se realizó en el sitio de la plantación, una vez que se tenían distribuidos los tratamientos y las repeticiones. Las mezclas se realizaron utilizando un recipiente de 20 l, que se tomó como medida para mezclar las cantidades exactas de biosólidos y suelo, según el caso de cada tratamiento, y una pala para fusionar de manera más uniforme el suelo y los biosólidos (Figura 5).

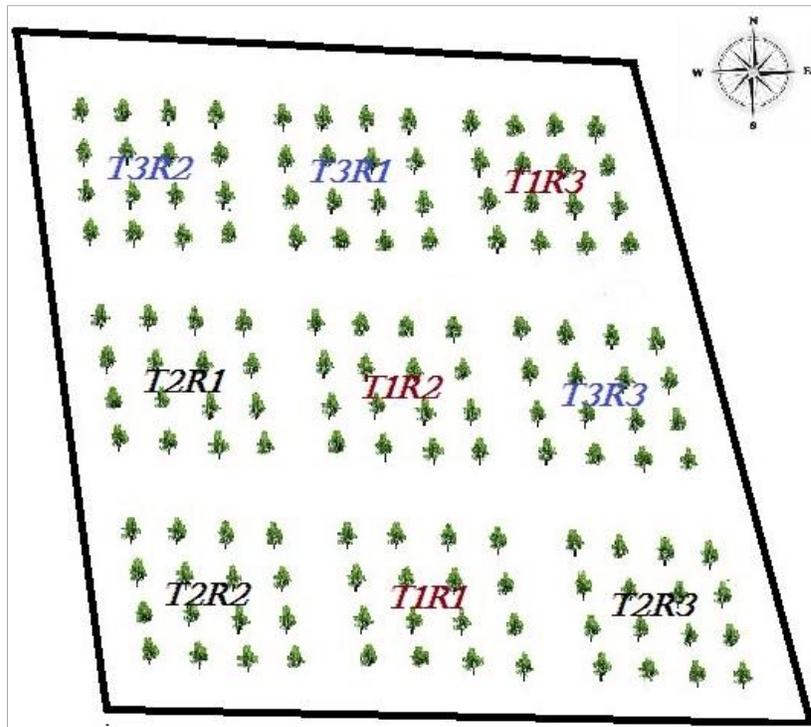


Figura 5. Distribución de los tratamientos y repeticiones.

T: Tratamiento R: Repetición

3.3.2 Preparación de sustratos para cada tratamiento

* Preparación del tratamiento 2

En un espacio con poca presencia de vegetación en la unidad experimental se vaciaron dos botes de 20 litros con biosólidos y ocho botes de 20 litros con suelo, este suelo es el mismo que se sacó al momento de cavar las cepas, posteriormente se mezcló este material utilizando una pala, este proceso se repitió hasta que la mezcla de suelo y biosólidos se tornara uniforme. Esta cantidad de sustrato se utilizó en cinco plantas.

* Preparación del tratamiento 3

En un espacio con poca presencia de vegetación en la unidad experimental se vaciaron cuatro botes de 20 litros con biosólidos y seis botes de 20 litros con suelo, este suelo es el mismo que se sacó al momento de cavar las cepas, posteriormente se mezcló este material utilizando una pala, este proceso se repitió hasta que la mezcla de suelo y biosólidos se tornara uniforme. Esta cantidad de sustrato se utilizó en cinco plantas.

3.3.3 Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron, sobrevivencia, crecimiento en altura, diámetro basal y diámetro de copa en los tres tratamientos. Se realizó la evaluación inicial de las variables más otras dos evaluaciones, para esto se elaboró un formato de campo.

- a)** Sobrevivencia: Se determinó contando el número de plantas vivas, y obteniendo un porcentaje entre la relación de éstas sobre el total de plantas plantadas por tratamiento.
- b)** Crecimiento en altura: Se determinó al medir desde la base del tallo hasta su ápice, esto se realizó utilizando cinta métrica.
- c)** Crecimiento en diámetro basal: Se midió en la base del tallo, con un vernier digital.
- d)** Crecimiento en diámetro de copa: Se midió el diámetro de copa mayor y el diámetro de copa menor de la planta, para después obtener el promedio.

3.3.4 Equipo de medición

Se utilizaron cintas métricas para delimitar la parcela experimental y las unidades experimentales dentro de ella, cámara fotográfica en todo el proceso de establecimiento y evaluación de la plantación, vernier para medir el diámetro de las plantas de *Prosopis glandulosa* Torr., cinta métrica para medir la altura y libreta de campo o formatos para anotar los datos obtenidos en la evaluación de campo.

3.3.5 Análisis estadístico

Todos los datos de campo se capturaron en una base de datos, para su análisis con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS).

Se realizó un análisis de varianza, y una prueba de comparación de medias de Tukey, para determinar la posible diferencia estadística entre los tratamientos del experimento, para las variables evaluadas, y se trabajó con un nivel de probabilidad del 95%, que es el grado de confiabilidad.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Supervivencia

Se presentó un 100 % de supervivencia en la plantación, el testigo y los dos diferentes tratamientos respondieron de la misma forma en esta variable, esto se debe a que la especie es nativa del lugar donde se estableció la plantación, por lo tanto se encuentra en condiciones óptimas para su desarrollo.

4.2 Crecimiento en altura

Como se puede observar en el Cuadro 8, en la variable crecimiento en altura no se encontraron diferencias estadísticamente entre tratamientos, en ninguno de los tres períodos de evaluación ($Pr > F = 0.5549, 0.3015$ y 0.3248 , respectivamente); aunque numéricamente se puede observar que en el 1^{er} período el tratamiento 1 (Testigo) obtuvo mejores resultados, seguido del tratamiento 3 (40% de biosólidos con 60% de suelo) y por último el tratamiento 2 (20 % de biosólidos y 80% de suelo).

En el 2^o período de crecimiento el resultado se modificó, quedando ahora en primer lugar el tratamiento 3 (T3), ya que aumentó en altura más del doble en comparación con el 1^{er} período; por lo tanto, en el período general el mejor tratamiento sigue siendo el 3, seguido del testigo y por debajo el tratamiento 2 (T2).

En el período general en porcentaje para esta variable, el mejor tratamiento es el 3, el cual contiene la dosis más alta de biosólidos, con un 31.792% de crecimiento en altura, el testigo con 30.727 % y T2 con 20.950 %.

Por lo anterior, se puede observar que a una mayor dosis de biosólidos se desarrolla más rápido el crecimiento en altura, pero estos resultados se obtuvieron hasta el 2º período, por lo que se puede decir que al inicio las plantas no asimilan del todo los nutrientes aportados por los biosólidos, por eso en el 1º período de crecimiento resultó mejor el testigo.

Cuadro 8. Valores medios de crecimiento en altura.

Períodos de crecimiento	Tratamiento	N*	Media (cm)	Agrupación Tukey**
1 ^{er} período (21 de junio 2015 a 29 de enero 2016)	1	3	5.680	A
	3	3	4.967	A
	2	3	2.880	A
2 ^o período (29 de enero 2016 a 26 de abril 2016)	3	3	10.400	A
	1	3	7.167	A
	2	3	7.067	A
3 ^{er} período (21 de junio 2015 a 26 de abril 2016)	3	3	15.367	A
	1	3	12.847	A
	2	3	9.947	A

* Número de repeticiones por tratamiento

**Los tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

En cuanto a los resultados obtenidos en la variable crecimiento en altura, el valor medio máximo registrado fue de 5.680 cm, correspondiente al Testigo en el primer período de evaluación, mientras que Ramírez *et al.* (2007) reportaron en su estudio establecido con otras especies, resultados favorables en el tratamiento testigo (1 cm) y en el tratamiento con dosis más baja de biosólidos (1.5 cm) con respecto a la variable crecimiento en altura en los primeros dos meses de evaluación, a diferencia de los tratamientos dos y tres en los cuales obtuvieron resultados inferiores.

En el segundo período de evaluación los resultados arrojaron el valor medio máximo registrado en el T3 con 10.400 cm; así mismo, Varela *et al.* (2013), reportan en su estudio establecido con plantas de la especie *Nothofagus alpina*, que las plantas en compost de biosólidos presentaron en todas las fechas de medición valores significativamente mayores de altura total, con incrementos de 5, 8 y 4 cm respectivamente.

En la Figura 6 se puede apreciar la altura promedio por tratamiento que alcanzaron las plantas de *Prosopis glandulosa* Torr. en la plantación, en tres diferentes períodos.

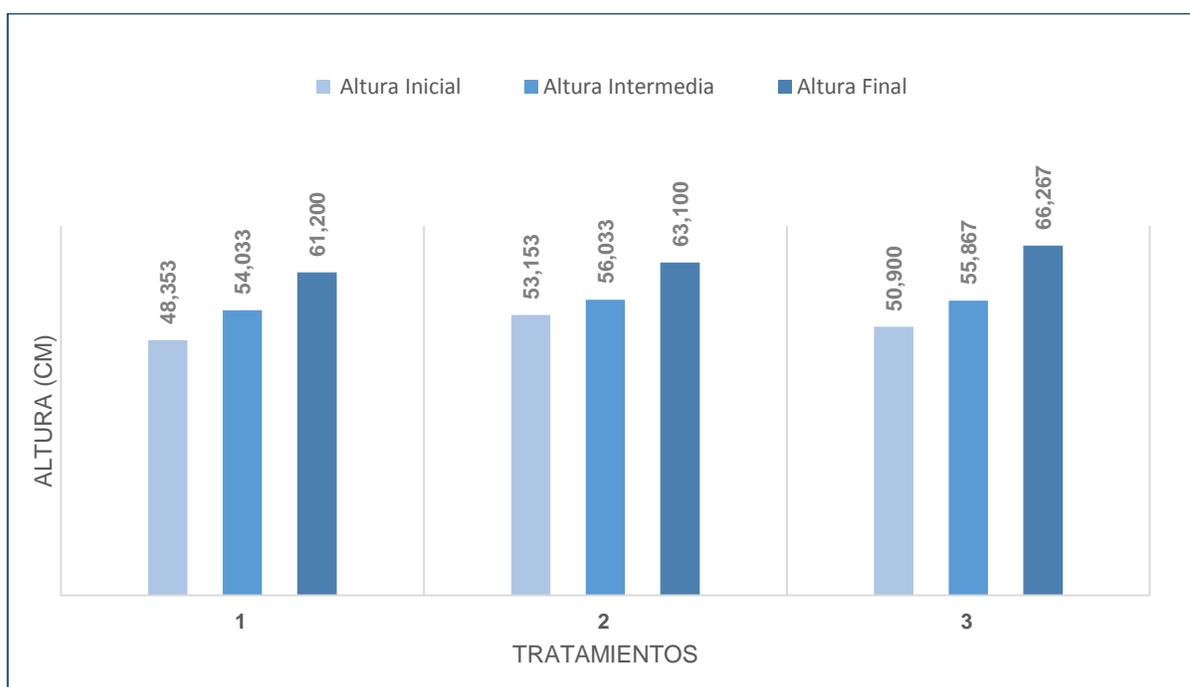


Figura 6. Altura promedio en los tres diferentes períodos de evaluación.

4.3 Crecimiento en diámetro basal

Para la variable diámetro basal, no se encontraron diferencias estadísticamente entre tratamientos ($Pr > F = 0.8033$, 0.6511 y 0.6410 ,

respectivamente), pero numéricamente con respecto a las medias de crecimiento se obtuvo, que el mejor tratamiento fue el 2 con una diferencia de 0.058 mm con respecto al testigo, y por último el tratamiento 3 (Cuadro 9).

En el crecimiento intermedio resulto mejor el testigo, por lo que en el crecimiento final los resultados arrojan que el testigo es el mejor tratamiento para esta variable.

Con respecto al porcentaje de crecimiento acumulado en diámetro basal por tratamiento se interpreta que numéricamente el mejor tratamiento es el testigo ya que obtuvo un 38.48% de crecimiento, seguido del tratamiento 2 con 29.30 % y por último el tratamiento 3 con un 28.64 % de crecimiento.

Cuadro 9. Valores medios de crecimiento en diámetro basal.

Períodos de crecimiento	Tratamiento	N*	Media (mm)	Agrupación Tukey**
1 ^{er} período (21 de junio 2015 a 29 de enero 2016)	2	3	0.9580	A
	1	3	0.9000	A
	3	3	0.7300	A
2 ^o período (29 de enero 2016 a 26 de abril 2016)	1	3	1.2067	A
	3	3	0.9287	A
	2	3	0.7467	A
3 ^{er} período (21 de junio 2015 a 26 de abril 2016)	1	3	2.1067	A
	2	3	1.7047	A
	3	3	1.6587	A

* Número de repeticiones por tratamiento

**Los tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

En ésta variable, como se puede observar en el Cuadro 9, el mejor tratamiento resulto ser el testigo (T1) a partir del segundo período de evaluación con un valor medio máximo de 1.2067 mm y en el tercer período de evaluación con 2.1067 mm.

Ramírez *et al.* (2006) en un estudio donde avaluaron el efecto de la aplicación de biosólidos en el crecimiento de *Jacaranda mimosifolia* en condiciones de invernadero, reportaron que el tratamiento B0 (Testigo) presentó el mayor incremento en diámetro basal con un valor de 1.47 mm, en comparación con el tratamiento B1 (2% de biosólidos) el cual obtuvo un incremento de 0.68 mm, y los tratamientos B2 y B3 que contienen 4% y 8% de biosólidos alcanzaron un incremento de 0.23 mm y 0.33 mm respectivamente.

Así mismo, Utria *et al.* (2008), al evaluar el diámetro del tallo en un estudio que se desarrolló en el municipio San José de las Lajas, provincia La Habana, sobre la utilización de biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate, encontraron que las plantas cultivadas en el suelo tratado con fertilizante mineral lograron los mayores valores con 4.5 mm, seguido de las plantas con biosólidos con un valor de 4 mm y por ultimo las plantas en suelo natural que tuvieron un crecimiento de 3.6 mm.

En la Figura 7 se puede apreciar el diámetro basal por tratamiento que alcanzaron las plantas de *Prosopis glandulosa* Torr. en la plantación, en tres períodos diferentes.

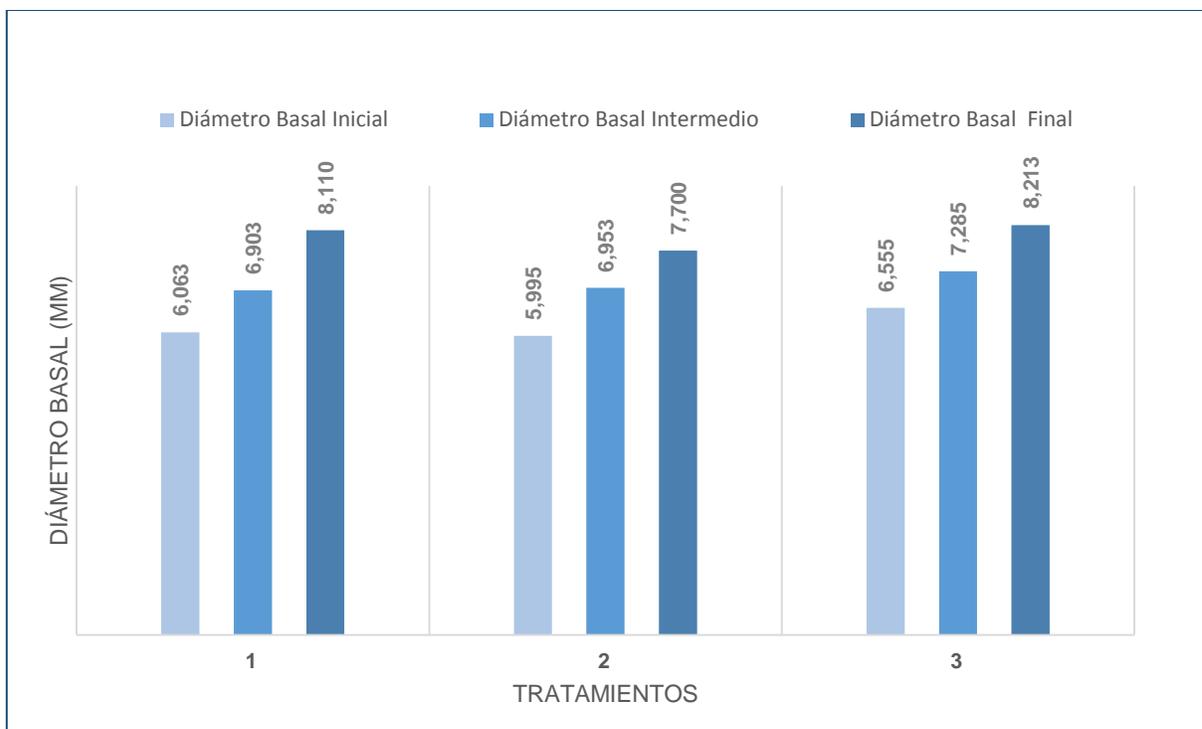


Figura 7. Diámetro basal promedio en tres diferentes períodos de evaluación.

4.4 Crecimiento en diámetro de copa

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza ni en la prueba de comparación de medias de Tukey para la variable diámetro de copa, muestran que no hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ninguno de los tres períodos de crecimiento ($P_{r>F}=0.5858, 0.1772$ y 0.4088 , respectivamente); aunque numéricamente el tratamiento 2 fue el que obtuvo los mejores resultados, después el testigo con un valor similar al T2 y por último el tratamiento 3.

Como se puede observar en el Cuadro 10, los valores medios en el primer período de crecimiento son negativos, esto debido a que las plantas perdieron su follaje por causa de las bajas temperaturas en invierno, por lo tanto su diámetro de copa disminuyó con respecto al inicial.

En el segundo período de crecimiento, con la entrada de la primavera brotaron nuevas hojas en las plantas, y los resultados de los valores medios máximos cambiaron con respecto al primer período de crecimiento, quedando ahora el tratamiento 3 con el valor medio más alto, posteriormente el tratamiento 2 y con el valor medio más bajo el testigo.

En el tercer período de crecimiento que comprende desde la primera evaluación (21 de junio 2105) hasta la última (26 de abril 2016), se obtuvo como resultado que el tratamiento 3 fue el único que afectó positivamente el crecimiento en diámetro de copa, seguido del tratamiento 2 con un valor negativo y por último el testigo.

En general el tratamiento 3 fue el que tuvo mejor respuesta con un porcentaje de crecimiento de 10.53 %, en contraste con el tratamiento 2 y el testigo donde se obtuvieron porcentajes de crecimiento negativos, -5.48 y -11.34 % respectivamente.

Cuadro 10. Valores medios de crecimiento en diámetro de copa.

Períodos de crecimiento	Tratamiento	N*	Media	Agrupación Tukey**
1 ^{er} período (21 de junio 2015 a 29 de enero 2016)	2	3	-7.117	A
	1	3	-7.933	A
	3	3	-8.200	A
2 ^{do} período (29 de enero 2016 a 26 de abril 2016)	3	3	9.567	A
	2	3	5.967	A
	1	3	5.700	A
3 ^{er} período (21 de junio 2015 a 26 de abril 2016)	3	3	1.367	A
	2	3	-1.150	A
	1	3	-2.233	A

* Número de repeticiones por tratamiento

**Los tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

Hernández *et al.* (2004) en una investigación que se realizó en el Centro Interdisciplinario y de Investigación para el Desarrollo Integral de la Región (CIIDIR – IPN – Unidad Durango) en el cual el cultivo indicador fue el sorgo forrajero, que se colocó en contenedores de polietileno, al efectuar una comparación de medias de la producción de forraje (parte aérea de la planta) en cada tratamiento por el método de Tukey, observaron que los tratamientos 2 (4 t ha⁻¹ de lodo residual), 3 (8 t ha⁻¹ de lodo residual) y 4 (4 t ha⁻¹ de estiércol) manifiestan un comportamiento estadísticamente similar con rendimientos de materia seca superiores a los tratamientos 1 (testigo) y 5 (fertilizante químico).

Utria *et al.* (2008), en un estudio realizado en el Mpio. San José de las Lajas, provincia la Habana, sobre la utilización de biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate, al evaluar el área foliar a los 15 días después de la germinación de la semillas, se encontró que las plántulas cultivadas en el suelo tratado con biosólidos (B) incrementó la magnitud de dicha variable, logrando resultados similares al de las desarrolladas en el suelo tratado con fertilizante mineral (F) y superiores a las desarrolladas en el suelo natural (S).

En la Figura 8 se muestran los promedios de diámetro de copa que alcanzaron las plantas de *Prosopis glandulosa* Torr. en tres períodos diferentes de crecimiento.

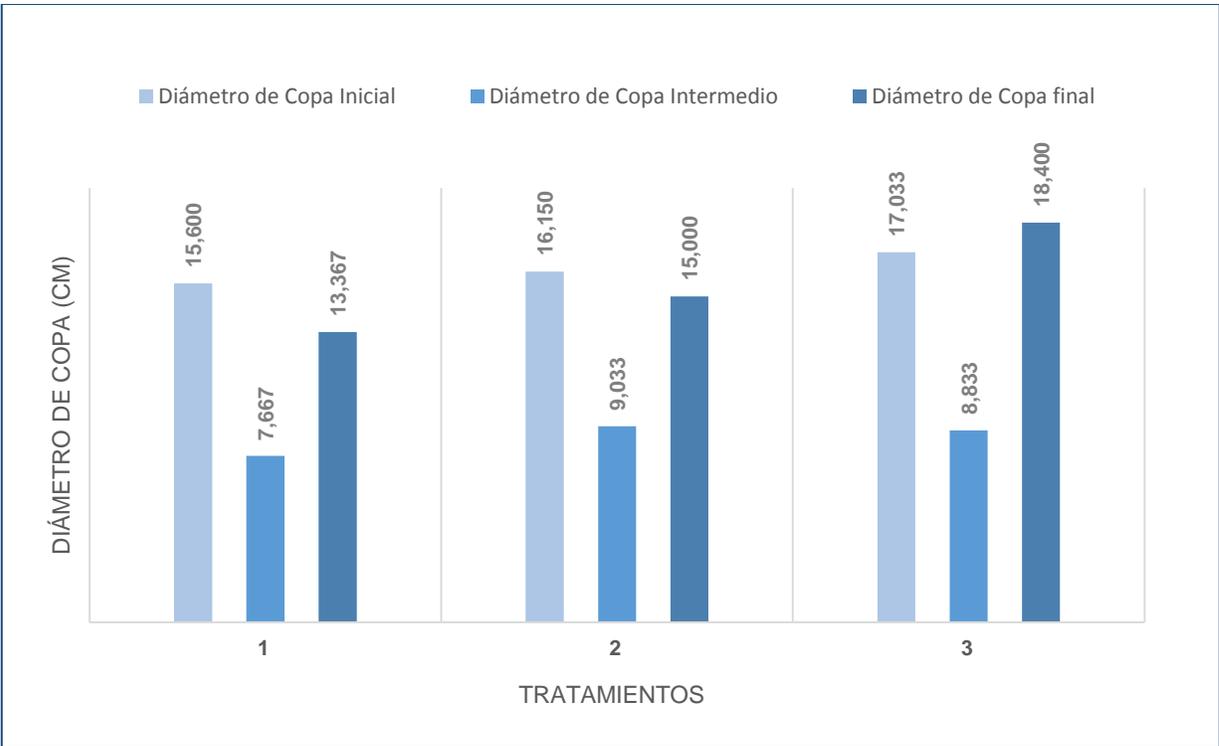


Figura 8. Diámetro de copa promedio en tres diferentes períodos de evaluación.

5. CONCLUSIONES

Se obtuvieron resultados excelentes de sobrevivencia en los tratamientos 2 y 3, así como en el testigo, ya que en ninguno de los tres casos se registraron individuos muertos, por lo que se concluye que debido a que el mezquite es una especie nativa del lugar de establecimiento de la plantación, no afecta la aplicación de diferentes dosis de biosólidos, pero tampoco afecta que no se le aplique ningún otro tipo de material, ya que la especie es nativa de este tipo de ambiente.

De acuerdo con el análisis estadístico que se realizó para los datos evaluados en este experimento se encontró que no existen diferencias significativas entre tratamientos para las variables evaluadas, pero que a su vez numéricamente la aplicación de la dosis del tratamiento 3 en el sustrato para la plantación de *Prosopis glandulosa* Torr. favorece el crecimiento de las plantas en las variables altura y diámetro de copa a partir del segundo período de crecimiento, por lo que se concluye que efectivamente se obtienen mayores incrementos en crecimiento aplicando este tipo de material en la cepa de la planta, en comparación con el tratamiento testigo, pero es conveniente esperar un período de tiempo de 10 meses como mínimo para comenzar a notar este incremento.

Por otro lado, en la variable crecimiento en diámetro basal, los tratamientos 2 y 3 obtuvieron valores medios inferiores al testigo, y debido a que se sabe que las plantas al establecerse en una plantación utilizaran sus nutrientes para en primer lugar anclar bien sus raíces al suelo, después para crecer en altura y por último para fortalecer su diámetro. Se deduce que debido al poco tiempo transcurrido desde el establecimiento de la plantación, los efectos positivos que pudieran causar los biosólidos aún no son notables, ya que para poder obtener resultados visibles en esta variable sería necesario esperar un período de tiempo más largo.

En general, para los fines de este experimento, se acepta la hipótesis nula, ya que no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados en ninguna de las variables ni períodos considerados. Aunque para efectos prácticos, la aplicación de biosólidos, numéricamente sí incrementa el crecimiento en dos de las variables evaluadas (altura y diámetro de copa), y en otra variable no modifica los resultados con respecto al testigo.

6. RECOMENDACIONES

- * Seguir evaluando el crecimiento de las variables: altura, diámetro basal y diámetro de copa en esta plantación de mezquite.
- * Realizar las evaluaciones en períodos de tiempo más largos (3 a 5 años), para que las diferencias tanto numéricas como estadísticas sean más visibles.
- * Probar la aplicación de biosólidos en plantaciones de otras especies forestales, en lugares con condiciones climáticas, topográficas y edáficas diferentes, y en la producción de plantas forestales en condiciones de invernadero.
- * Realizar un análisis de suelo a los biosólidos y al suelo en donde se establezca la plantación.
- * Comparar a los biosólidos con otras formas de nutrición de plantas.
- * Utilizar biosólidos en plantaciones forestales de *Prosopis* , si se quiere tener un mayor crecimiento inicial en altura de las plantas.

7. LITERATURA CITADA

- Burkart, A. 1976. A monograph of the genus *Prosopis* (Mimosoideae). *Journal of Arnold Arboretum*. 57(3): 219-249.
- Cabrera G., C. 2003. Plantaciones forestales: Oportunidad para el desarrollo sostenible. Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. Guatemala. Pp. 20.
- Capó A., M.A. 2001. Establecimiento de Plantaciones Forestales: Los ingredientes del éxito. Talleres gráficos de la UAAAN. Pp. 207.
- Carrillo F., R. 2006. Efecto de la poda sobre el potencial productivo de mezquites nativos (*Prosopis glandulosa* Torr, var. *glandulosa*) en la Comarca Lagunera. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 6: 47-54.
- Castañeda N., H. J. y López V., R. 2012. Los biosólidos una oportunidad en la agricultura. Gerencia Ambiental y Desarrollo Sustentable. Jalisco. México.
- Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA). 1994. Mezquite (*Prosopis spp.*). Cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Instituto Nacional de Ecología. 30 p.
- Comisión Nacional Forestal. 2010. Prácticas de Reforestación, Manual Básico. Primera edición. Zapopan, Jalisco, México. Pp. 62.
- CONAZA E INE. 2000. Mezquite *Prosopis spp.* Cultivo Alternativo Para las Zonas Áridas y Semiáridas de México. Folleto informativo.

- Cortez-Cadiz, E. D .C. 2003. "Fundamentos de ingeniería para el tratamiento de los biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de la región metropolitana". Memorias licenciatura.
- Dávila A., H. 1983. La distribución del mezquite en México. Segunda Reunión Nacional Sobre Ecología, Manejo y Domesticación de Plantas Útiles del Desierto. Memorias. 28-30 julio. SARH. Gómez Palacio, Dgo. México.
- Esteller, M. V. 2002. "Vulnerabilidad de acuíferos frente al uso de aguas residuales y lodos en agricultura". Revista Latino-Americana de Hidrogeología 2: 103-113.
- FAO. 1985. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000. Capítulo 3, plantaciones forestales. Departamento de Montes.
- Fuentes D., D., A. Valdecantos D. y J. Cortina S. 2008. Evaluación a mediano plazo de la aplicación de biosólidos en repoblaciones forestales de *Pinus halepensis*. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 28: 75-80.
- Fondahl, L. 1999. Biosolids management in the western region. Biocycle July Pp. 70-74.
- Galindo A., S. 1983. Características de la variación en el mezquite (*Prosopis* L.) y sus usos en el Altiplano Potosino. Tesis. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. 66 p.
- Girovich, M. 1996. Biosolids treatment and management: Processes for beneficial use. Marcel Dekker. USA.
- Golubov, J., Mandujano, M. and Eguiarte, L. E. (2001) The paradox of mesquites (*Prosopis spp*): Invading species of biodiversity enhancers? Bol. Soc. Bot. Mex. 69: 21-28.

- Hernández H., J. M., E. Olivares S., I. Villanueva F., H. Rodríguez F., R. Vázquez A. y J. F. Pissani Z. 2004. Aplicación de lodos residuales, estiércol bovino y fertilizante químico en el cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.) Durango, México. Rev. Int. Contam. Ambient. 21 (1): 31-36.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2009. Información General de la Mapoteca. Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática. Gobierno del Estado de Coahuila. Aguascalientes, Ags.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2000. Información General de la Mapoteca. Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática. Gobierno del Estado de Coahuila. Aguascalientes, Ags.
- Landis, T.D., Tinus R. W., Mcdonald S.E. y Barnett J.P. 1989. The container tree nursery manual. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC. Vol. 2, 3, 4, 5. Agric. Handbk.674.
- López, C., Herva, M., Franco-Uría, A. and Roca, E. 2011. Inventory of heavy metal content in organic waste applied as fertilizer in agricultura: evaluating the risk of transfer into the food chain.
- Lovell B. 1996. Aplicación en suelos de biosólidos de drenaje para la producción de cosechas. Factsheet. Orden Núm. 95-069. Pp. 8.
- Maguire, R. O., J. Simsand T. and F. Coale J. 2000. Phosphorus solubility in biosolids- amended farm soils in the Mid-Atlantic region of the USA. J. Environ. Quality 29: 1225-1233.
- Maldonado A., L. J. y De la Garza P., F.E. 2000. El Mezquite en México: Rasgos de importancia productiva y necesidades de desarrollo. En: Frías H., J., Olalde P., V. y Vernon C., J. (Eds). 2000. El mezquite árbol de usos múltiples. Estado

actual del conocimiento en México. Universidad de Guanajuato, México. Pp. 37-50.

Martínez B., O. U. 2006. Propuesta de acciones para la elaboración del plan de manejo integral de la microcuenca “San Juan de la Vaquería” del municipio de Saltillo, Coahuila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Saltillo, Coahuila, México. Publicación especial Núm. 9.

Mejía M., E. 2010. Aspectos técnicos y legales del manejo de lodos en México. Taller sobre manejo y aprovechamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento.

NOM-004-SEMARNAT-2002. Lodos y biosólidos, especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

Núñez M., J. J. 2009. Manejo y Aprovechamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento. Normatividad aplicable. CONAGUA. Pp. 25.

Palacios R., A. 2006. Los mezquites mexicanos: biodiversidad y distribución geográfica. Bol. Soc. Argent. Bot. 41(1-2): 99 - 121.

Peñuelas R., J. L., y L. Ocaña B. 2000. Cultivo de plantas forestales en contenedor principios y fundamentos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. Mundi prensa. Pp. 190.

Peter F. Ffolliott y John L. Thames. 1983. Manual sobre taxonomía de *Prosopis* en México, Perú y Chile. Universidad de Arizona Tucson, Arizona, Estados Unidos de América. FAO.

Ramírez P., R., D. C. Velásquez P. y E. Acosta B. 2007. Efecto de la Aplicación de Biosólidos en el Crecimiento de *Jacaranda mimosifolia* (Gualanday) y en las

Condiciones Físicas y Químicas de un Suelo Degradado. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín. Vol. 60, No.1.p.3751 – 3770.

Robledo S., E. 2012. Manejo y Uso de Biosólidos en Suelos Agrícolas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De Mexico. Pp. 153.

Ruano M., J.R. 2003. Viveros Forestales, Manual de Cultivo y Proyectos. Madrid, España. Mundi prensa. Pp. 281.

Ruiz, 2011. Uso Potencial de la vaina del mezquite para la alimentación de animales domésticos del Altiplano Potosino. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.

Rzedowski, J. 1988. Análisis de la distribución geográfica del complejo *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae) en Norteamérica. Acta Botánica Mexicana, Instituto de Ecología, A.C. México núm. 3, pp. 7-19.

Solis G., G. 1997. Evaluación poblacional actual del mezquite y palo fierro en ambientes áridos sujetos a un aprovechamiento continuo. CONACYT. 3888-N9401. Informe Final de Proyecto. Hermosillo Sonora. 86 p.

Tester C. F. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a Sandy soil. Soil. Sci. Soc. Am.J. 54(3): 827-831.

Torres R., J. M. 2004. Estudio de tendencias y perspectivas del Sector Forestal en América Latina. Documento de Trabajo. Informe Nacional: México. Roma, Italia. Pp. 86.

Trujillo N., E. 2006. Plantación forestal: Planeación para el éxito. Revista El mueble y la madera (51). Bogotá D.C. Colombia.

Utria B., E., J. A. Cabrera R., I. M. Reynaldo E., D. Morales G., A.M. Fernández, y E. Toledo T. 2007. Utilización agraria de los biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). México. Revista Chapingo Serie Horticultura. 14 (1): 33-39.

Uribe, M. H., N. Chávez y G. Orozco. 2008. Uso racional de biosólidos en la agricultura. Seminario sobre uso de abonos orgánicos en la agricultura-INIFAP.

USEPA 2000. Folleto informativo de tecnología de biosólidos. Aplicación de biosólidos al terreno. United States Environmental Protection Agency. Office of Water Washington, D.C.

Varela S., y Martínez A. 2013. Uso del compost de biosólidos en la formulación de sustratos para la producción industrial de plantas de *Nothofagus alpina*. Bariloche, Argentina. Bosques 34 (3): 281-289.

8. APÉNDICE

A1. Análisis de varianza para las variables, altura, diámetro basal y diámetro de copa en el 1^{er} periodo de crecimiento.

Variables	FV	gl	SC	CM	FC	Pr>F
Altura C.V. = 69.28 %	Modelo	2	12.7030	6.3515	0.65	0.5549
	Error	6	58.5554	9.7592		
	Total correcto	8	71.2584			
Diámetro basal C.V. = 49.91 %	Modelo	2	0.0842	0.0421	0.23	0.8033
	Error	6	1.1123	0.1853		
	Total correcto	8	1.1965			
Diámetro de copa C.V. = - 16.48 %	Modelo	2	1.9116	0.9558	0.59	0.5858
	Error	6	9.7983	1.6330		
	Total correcto	8	11.7100			

FV= Factor de variación, gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; FC= Valores calculados de F; Pr>F= Probabilidad de cometer el error tipo 1 (α) al rechazar H_0 y CV= Coeficiente de variación.

A2. Análisis de varianza para las variables, altura, diámetro basal y diámetro de copa en el 2^{do} periodo de crecimiento.

Variables	FV	gl	SC	CM	FC	Pr>F
Altura C.V. = 32.94 %	Modelo	2	21.5755	10.7877	1.47	0.3015
	Error	6	43.9113	7.3188		
	Total correcto	8	65.4888			
Diámetro basal C.V. = 61.49 %	Modelo	2	0.3220	0.1610	0.46	0.6511
	Error	6	2.0938	0.3489		
	Total correcto	8	2.4158			
Diámetro de copa C.V. = 34.53 %	Modelo	2	27.9822	13.9911	2.34	0.1772
	Error	6	35.8533	5.9755		
	Total correcto	8	63.8355			

FV= Factor de variación, gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; FC= Valores calculados de F; Pr>F= Probabilidad de cometer el error tipo 1 (α) al rechazar H_0 y CV= Coeficiente de variación.

A3. Análisis de varianza para las variables, altura, diámetro basal y diámetro de copa en el 3^{er} periodo de crecimiento.

Variables	FV	gl	SC	CM	FC	Pr>F
Altura C.V. = 31.61 %	Modelo	2	44.1368	22.0684	1.36	0.3248
	Error	6	97.0528	16.1754		
	Total correcto	8	141.1896			
Diámetro basal C.V. = 61.49 %	Modelo	2	0.3644	0.1822	0.48	0.6410
	Error	6	2.2808	0.3801		
	Total correcto	8	2.6452			
Diámetro de copa C.V. = 34.53 %	Modelo	2	20.4672	10.2336	1.04	0.4086
	Error	6	58.8783	9.8130		
	Total correcto	8	79.3455			

FV= Factor de variación, gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; FC= Valores calculados de F; Pr>F= Probabilidad de cometer el error tipo 1 (α) al rechazar H_0 y CV= Coeficiente de variación.

A4. Parcela experimental.



A5. Apertura de cepas.



A6. Cepa.



A7. Mezcla de biosólidos y suelo.



A8. Proceso de plantación.



A9. Evaluación de las variables altura, diámetro basal y diámetro de copa.

