



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**USO DE EFLUENTES DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA
PROPAGACIÓN DE DOS ESPECIES DE *Pinus***

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G A

PRESENTA:

Lizbeth Chávez Serrano

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. SILVIA ROMERO RANGEL



Los Reyes Iztacala, Marzo de 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A la **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO** por darme la oportunidad de pertenecer a esta casa de estudios. Gracias por que no solo me forme como profesionista si no tambien como ser humano muchas gracias!

“Por mi raza hablará el espíritu”

A mi directora de tesis Dra. Silvia Romero Rangel muchas por su apoyo, observaciones, consejos, tiempo, dedicación y apoyo... muchas gracias!!

A los miembros de jurado Dra. Silvia Romero Rangel, M. en C. Ezequiel Carlos Rojas Zenteno, M. en C. Liana E. Rubio Licon, Dr. Ignacio Peñalosa Castro y al Dr. Daniel Muñoz Iniestra por el tiempo dedicado a esta tesis y por todas sus observaciones.

A los profesores del Laboratorio de Edafología y de la Facultad de Química por su apoyo brindado en la realización de la parte experimental de esta tesis.

A mis padres, hermanos, amigos y compañeros del laboratorio muchas gracias por todo.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	2
RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO.....	3
Biosólidos	3
Sustratos	7
El género <i>Pinus</i> en México	10
Ecología.....	11
Germinación	12
Crecimiento	14
<i>Pinus devoniana</i> Lind. (Tomado de Gil de María, 2014).	16
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. (Tomado de Gil de María, 2014).....	19
ANTECEDENTES	22
JUSTIFICACIÓN	24
OBJETIVO GENERAL	25
OBJETIVOS PARTICULARES.....	25
METODOLOGÍA	26
Caracterización física y química de biosólidos	26
Comportamiento germinativo: con biosólidos.	27

Comportamiento germinativo: sin biosólidos.....	28
Crecimiento en vivero	28
Descripción de las especies	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
Caracterización física y química de biosólidos.	30
Diseño de sustratos	36
Comportamiento germinativo con biosólidos.	36
Comportamiento germinativo sin biosólidos	40
Prueba de viabilidad	43
Crecimiento En Vivero	44
Descripción de las especies	50
Pinus pseudostrobus a los 6 meses.....	50
PINUS devoniana descripción a los 6 meses	51
PINUS pseudostrobus a los 12 meses.....	52
PINUS devoniana descripción a los 12 meses	53
CONCLUSIONES.....	54
literatura citada.....	55
ANEXO.....	61

RESUMEN

EL ser humano ha sido un transformador de su entorno, una de las consecuencias de esta transformación ha sido la generación de grandes cantidades de residuos. El uso de los biosólidos generados por las plantas de tratamiento en la agricultura ha sido una buena alternativa debido a las propiedades físicas y químicas que poseen. El presente trabajo es parte del proyecto **“Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM)” que realiza la facultad de química de la UNAM. Dicha planta piloto que se ubica en la CUSI Almaraz de la FES Iztacala en Cuautitlán Izcalli, Estado de México**, estará en funcionamiento en febrero de este año. Se realizó una caracterización física y química de los biosólidos provenientes de la planta piloto, se estudio el comportamiento germinativo con base en los índices de capacidad germinativa, tiempo medio de germinación y porcentaje de germinación, utilizando diferentes tratamientos con una base de tierra agrolita (2:1) y adicionándoles el biosólido en diferentes concentraciones (5, 7 y 10%). Se evaluó el crecimiento de las especies durante 8 meses (sin el uso de biosólidos) y se realizó una descripción de las plantas a diferentes edades. Se obtuvo como resultado que existen amplias diferencias en la caracterización física y química de las muestras de los biosólidos; por lo que se propone sean sometidos a una estabilización adecuada para un mejor uso; además, se encontró que *Pinus pseudostrobus* mostró una mejor calidad germinativa que *Pinus devoniana*. En cuanto el comportamiento germinativo con el uso de los biosólidos, los tratamientos no mostraron grandes diferencias en el porcentaje de semillas germinadas. Se concluye que los biosólidos obtenidos pueden ser utilizados como mejoradores de suelo, después de un adecuado proceso de estabilización, y que *Pinus pseudostrabus* es la especie que presentó una mejor calidad germinativa.

INTRODUCCIÓN

El ser humano siempre ha sido un transformador de su entorno. Al transcurrir el tiempo y con los grandes desarrollos en la tecnología y su aplicación a la industria, es como ha incrementado su capacidad transformadora y con ello aumentado sus probabilidades de existencia, por lo que tiene como consecuencia un acelerado crecimiento de la población mundial y el incremento de urbanización consecuente (Cruz, 1999). Una de las consecuencias de esta transformación ha sido la generación de grandes cantidades de residuos, los cuales a su vez han provocado una serie de problemas ambientales muy graves y que muchas veces no se les ha puesto la atención necesaria. La creación de plantas de tratamiento para el manejo de estos residuos han sido de gran ayuda pero no han logrado acabar con el problema pues han aparecido nuevos; los elevados costos y el destino final de los lodos producidos por estas plantas han sido los más importantes.

En esta búsqueda intensiva por encontrar un uso a los biosólidos, los investigadores han volteado a ver a la agricultura, ya que aquí es posible utilizarlos, pues se sabe que pueden funcionar como fertilizantes, debido a que contienen materia orgánica, macro y micro nutrientes, lo que mejoraría las características físicas, químicas y biológicas de los suelos y sustratos (Olivera, 2010). Sin embargo, pueden contener organismos patógenos prohibidos en la industria agrícola, por eso es de suma importancia que se generen más estudios sobre los tratamientos y las cantidades convenientes de estos materiales.

México es considerado un centro secundario de diversidad del género *Pinus*. Se sabe que los pinos migraron hacia el actual territorio mexicano desde el hemisferio norte a través de corredores naturales e impulsados por los cambios climáticos del pasado. Los procesos de diversificación del género ocurrieron en las principales cadenas montañosas de México, que funcionaron como corredores biológicos o como islas biogeográficas que definieron el patrón de distribución general actual de los pinos en cinco grandes regiones.

Se reconocen para México 46 especies, 3 subespecies y 22 variedades de pinos. El 55% de estas taxa son endémicos, lo que nos convierte en la nación con mayor diversidad al contar con alrededor de 42% de las especies del mundo. Los pinos mexicanos son uno de los recursos naturales más valiosos por su uso tradicional, comercial, por su importancia cultural y por los servicios ambientales que ofrecen. El área total que cubren los pinares en México es de aproximadamente 5% del territorio, valor que fue 2 o 3 veces mayor en la época prehispánica (Rzedowski, 1978). Por lo que sin duda los pinos junto con los encinos son una de las formaciones vegetales más características de México (Zavala, 1990).

La pérdida de los bosques templados de México es de alrededor de 167,000 ha por año. La explotación forestal inadecuada, sobre todo la clandestina, los incendios y los desmontes para ampliar las zonas agrícolas, ganaderas y habitacionales, constituyen factores que restan superficie a los bosques y modifican su composición y estructura (Toledo et al., 1993; Sáenz et al., 2003). Al menos 20 taxa spp de pinos mexicanos están en alguna categoría de riesgo. Los programas nacionales e internacionales para el uso sostenible y la conservación del género *Pinus* en México aún no son eficientes y suficientes (Sánchez-González, 2008), pues bien aunque resulta difícil lograr una restauración 100% exitosa se debe de recuperar o inducir el desarrollo de una vegetación protectora que permita conservar e incrementar la fertilidad del suelo y parte de la diversidad de plantas y animales (Vázquez et al., 2000). A pesar de esto los programas de reforestación constituyen una de las principales formas para contrarrestar la deforestación (Sáenz-Cisneros, 2004).

En estos programas se ha hecho uso, principalmente, de especies de árboles exóticos mundialmente conocidos y algunas especies nativas biológicamente mal conocidas, lo que ha impedido que se tenga algún éxito y ha tenido como consecuencia la aparición de “desiertos verdes”, los cuales no permiten la subsistencia de la gran mayoría de las especies locales de plantas y animales (Vázquez et al., 2000).

MARCO TEÓRICO

Biosólidos

Un biosólido, se define como aquel lodo que ha sido sometido a un proceso de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, pueden ser susceptibles de aprovechamiento (SEMARNAT, 2002)..

Según la ley General para la Prevención y Gestión integral de los residuos sólidos en México, estos se clasifican en tres grandes grupos:

- Residuos sólidos urbanos
- Residuos peligrosos
- Residuos de manejo especial

Dentro de los residuos urbanos encontramos a los de origen orgánico, los cuales al degradarse pueden traer varias consecuencias como liberación de gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global (Watson *et, al*, 2002), o bien producen malos olores, contaminación a los ríos, contaminación al suelo, originan plagas, y contribuyen a la proliferación de la fauna nociva, y como consecuencia enfermedades a la población.

Para poder tener un buen manejo de estos residuos urbanos orgánicos se han sometido a diferentes procesos; las plantas de tratamiento han sido de los más utilizados teniendo como resultado de este tratamiento

El uso de estos biosólidos está regulado por la ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuo Sólidos en México, por lo que toda aquella persona física o moral que tenga el interés de aprovechar estos biosólidos deberá recabar la constancia de no peligrosidad de los mismos en términos de trámites de SEMARNAT 07-007.

Los usos que se les ha dado a estos lodos han sido múltiples, pero de los más exitosos y que han generado menos gastos ha sido su aprovechamiento en la agricultura, pues debido a su origen funcionan como fertilizantes orgánicos. Aunque, para poder hacer uso de estos, los biosólidos deben cumplir con ciertas características que establece la ley a través de la **NOM. 004 SEMARNAT-2002, PROTECCIÓN AMBIENTAL-LODOS Y BIOSÓLIDOS-ESPECIFICACIONES Y LÍMITES PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL**, y que van a permitir su manejo con diferentes usos. Los límites van a estar determinados de acuerdo con las concentraciones de metales pesados, patógenos y parásitos, como se puede observar en el cuadro 1 y 2. De acuerdo al contenido presente será el aprovechamiento que se les podrá dar como lo muestra el cuadro 3.

Cuadro 1: Límites máximos permisibles de metales pesados en biosólidos (NOM 004 SEMARNAT, 2002).

Contaminante (determinados total)	Excelentes (mg/kg en base seca)	Buenos (mg/kg en base seca)
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Cuadro 2: Límites permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos (NOM. 004 SEMARNAT, 2002).

Clase	INDICADOR BACTERIOLÓGICO DE CONTAMINACIÓN	PATÓGENOS	PARÁSITOS
		Coliformes fecales	Salmonella spp NMP/g en base seca
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2000000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables

Cuadro 3: Aprovechamiento de biosólidos

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	<ul style="list-style-type: none">• Usos urbanos con contacto público durante su aplicación• Los establecidos para la 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 la clase C
Excelente o bueno	C	<ul style="list-style-type: none">• Uso forestal• Mejoramientos de suelo• Uso agrícola

Sustratos

El término “sustrato” se refiere a todo material sólido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que colocado en contenedor de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de un sistema radicular. El sustrato puede o no intervenir en el proceso de nutrición de la planta, clasificándolo así en químicamente inerte (Perlita, lana de roca, roca volcánica) y químicamente activo (como la turba, fibra de coco, la corteza de pino, el aserrín, entre otros) (Pastor, 2000).

La elección del sustrato es de especial interés para producir plántulas en vivero, debido a que su composición física y química está directamente relacionada con el crecimiento, vigor y producción de materia seca y supervivencia de las especies (Prieto, 1999). Las propiedades físicas y químicas del sustrato o medio de cultivo, tienen efecto en la disponibilidad de agua, la nutrición y la capacidad de aireación, por lo que la selección de éste es de suma importancia para obtener una óptima germinación y el desarrollo de las plantas (Ayala, 2006).

Estas propiedades fisicoquímicas pueden verse modificadas por la utilización de fertilizantes o mejoradores de suelo, pues estos incluyen micronutrientes y macronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

Los nutrientes vegetales son aquellos elementos químicos que en mayor o menor proporción son necesarios para el desarrollo de las plantas. Estos nutrientes se toman del suelo a través de las raíces o del aire a través de las hojas.

Aunque se han identificado veinte elementos químicos en la mayor parte de las plantas, se ha visto que solamente dieciséis son realmente necesarios para un adecuado crecimiento y una completa maduración de las plantas. A estos 16 elementos se les considera como los nutrientes esenciales.

Carbono, oxígeno e hidrógeno, constituyen la mayor parte del peso seco de las plantas. Estos elementos provienen del CO₂ atmosférico y del agua. Les siguen en importancia cuantitativa el nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, fósforo y azufre los cuales son absorbidos del suelo.

La materia orgánica es la encargada de aportar al suelo estos nutrientes, los que se clasifican en macronutrientes (nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, sodio, potasio y magnesio) y micronutrientes (hierro, zinc, cobre, boro, cobalto y manganeso) (García, 2004). Dentro de los macronutrientes más importantes encontramos al nitrógeno, fosforo según lo reportado por Fourcard (1997; citado por Prieto, 2012). Algunos ejemplos de los beneficios de estos nutrientes en el crecimiento de las plantas los vemos en el siguiente cuadro.

Cuadro 4- Se muestran las funciones de estos elementos en las plantas y sus síntomas de deficiencia:

NUTRIENTE	FUNCIÓN	SÍNTOMA DE DEFICIENCIA
NITRÓGENO (N)	Estimula el crecimiento rápido; favorece la síntesis de clorofila, de aminoácidos y proteínas.	Crecimiento atrofiado; color amarillo en las hojas inferiores; tronco débil; color verde claro.
POTASIO (K)	Acentúa el vigor; aporta resistencia a las enfermedades, fuerza al tallo y calidad a la semilla.	Oscurecimiento del margen de los bordes de las hojas inferiores; tallos débiles.
CALCIO (Ca)	Constituyente de las paredes celulares; colabora en la división celular.	Hojas terminales deformadas o muertas; color verde claro.
MAGNESIO (Mg)	Componente de la clorofila, de las enzimas y de las vitaminas; colabora en la incorporación de nutrientes.	Amarilleo entre los nervios de las hojas inferiores (clorosis).
AZUFRE (S)	Esencial para la formación de aminoácidos y vitaminas; aporta el color verde a las hojas.	Hojas superiores amarillas, crecimiento atrofiado.
BORO (B)	Importante en la floración, formación de frutos y división celular.	Yemas terminales muertas; hojas superiores quebradizas con plegamiento.
COBRE (Cu)	Componente de las enzimas; colabora en la síntesis de clorofila y en la respiración.	Yemas terminales y hojas muertas; color verdeazulado.
CLORO (Cl)	No está bien definido; colabora con el crecimiento de las raíces y de los brotes.	Marchitamiento; hojas cloróticas.
HIERRO (Fe)	Catalizador en la formación de clorofila; componente de las enzimas.	Clorosis entre los nervios de las hojas superiores.
MANGANESO (Mn)	Participa en la síntesis de clorofila.	Color verde oscuro en los nervios de las hojas; clorosis entre los nervios.
MOLIBDENO (Mo)	Colabora con la fijación de nitrógeno y con la síntesis de proteínas.	Similar al nitrógeno.
ZINC (Zn)	Esencial para la formación de auxina y almidón.	Clorosis entre los nervios de las hojas superiores.

Además de estos elementos, existen otras propiedades que un sustrato debe de tener para considerarlo de buena calidad. Entre ellas están: a) el pH, del cual mencionan autores como Ruano (2008) que su principal efecto en el suelo mineral y en un medio orgánico, es su influencia en la disponibilidad de micronutrientes, pues el máximo nivel de absorción de nutrientes por la planta se da ente 5.5 y 7; b) densidad real, definida como el peso de las partículas del suelo por unidad de volumen,

indicando el grado de porosidad del suelo y los minerales predominantes (Muñoz; et, al, 2012); c) densidad aparente, es la masa del suelo dividida entre el volumen total del mismo y está relacionada con la gravedad específica de las partículas minerales y las partículas orgánicas; d) la porosidad resulta de suma importancia para la producción en vivero, pues tiene que ver con el drenaje y aireación del sustrato (Maldonado, 2010); e) la capacidad de intercambio catiónico (CIC) refleja la reserva de nutrientes, entre mayor sea el sustrato será más fértil.

El uso de diferentes sustratos ha sido una alternativa que han buscado los viveristas con la finalidad de obtener una producción más grande en un tiempo menor y con costos más bajos. En México se han utilizado como sustratos a la tierra de hoja, la cascarilla de arroz, corteza de pino (García *et al.*, 2001) y Peat Moss, este último se emplea en forma limitada debido a que es un sustrato importado de Canadá y Estados Unidos, lo que lo hace costoso. De igual manera se han utilizado tezontle, agrolita, fibra de coco y lombricomposta.

Los resultados que ha tenido el uso de estos sustratos ha sido variable, pues va a depender de cada especie el éxito o el fracaso de su uso. Además de la adaptación de la especie, existen otros factores que deben de ser tomados en cuenta para la elección de un buen sustrato como: costos, facilidad de obtención, facilidad de manejo y reacciones secundarias por contaminación.

El género *Pinus* en México

Las gimnospermas comprenden alrededor de 900 especies, la mayoría situadas en el hemisferio norte, al rededor de 60% de coníferas son del genero *Pinus* (Farjon, 2003; Earle, 2007). La riqueza aproximada de especies de pinos a nivel mundial es de 111 especies, 46 de estas se encuentran en México. (Price *et al.*, 1998). Los pinos son árboles o arbustos, monoicos de hasta 40 m, siempre verdes, más o menos resinosos. Hojas lineares o aciculares, solitarias o agrupadas en hasta 8 hojas por fascículo, dispuestas de manera helicoidal o con disposición irregular

sobre las ramas, protegidas en la base por una vaina caediza o persistente (Martínez, 1953). La semilla de los pinos es generalmente morena o negruzca, oval o vagamente triangular, algunas no tienen ala.

En México, los pinos tienen gran importancia ecológica, económica y social. A menudo son el componente dominante de la vegetación, de bosque templado y de bosque de pino-encino, influyen en los procesos funcionales del ecosistema tales como los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos, los regímenes de fuego, y son hábitat y fuente de alimento para la fauna silvestre. Tiene un fuerte valor económico, además ofrecen importantes servicios ambientales (agua, oxígeno, recreación, captura de carbono) e influyen en el clima regional (García y González, 2003).

Se dice que para México el género *Pinus* se distribuye en 5 regiones principales:

- I) Baja California Norte y Sur.
- II) Sierra Madre Occidental: Chihuahua, Durango, Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Sonora y Zacatecas.
- III) Sierra Madre Oriental: Coahuila, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí y Tamaulipas.
- IV) Faja Volcánica Transmexicana: Aguascalientes, Colima, Distrito Federal, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Veracruz.
- V) Sierra Madre del Sur. Macizo de Oaxaca, Sierra de San Cristóbal, Sierra de Oaxaca, Península de Yucatán, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Campeche, y Quintana Roo.

Ecología

Los bosques mexicanos de pinos son en su mayoría resistentes a las heladas, periodos de sequías, incendios frecuentes, al pastoreo y a otros tipos de disturbios.

Se puede establecer sobre sustratos someros, rocosos pero prefieren suelos derivados de rocas ígneas también se puede encontrar sobre gneiss, esquistos, margas, areniscas, lutitas y calizas. Algunos pinares se desarrollan sobre suelos pobres en minerales, donde es probable que la micorrización se presente. La distribución altitudinal varía entre los 1500 y 3000 m, pero pueden alcanzar el límite superior de la vegetación arbórea (3650 m en el norte y 4000 en el centro y sur de México).

Germinación

La semilla es un óvulo fertilizado y maduro que tiene la capacidad de dar origen en condiciones favorables a un nuevo individuo, a lo cual se le denomina proceso de germinación (Camacho, 1994). Debido a que en este proceso la semilla adquirirá un metabolismo que es fundamental para reiniciar el crecimiento y transcribir las porciones del programa genético que lo convertirá en una planta adulta, son necesarias ciertas condiciones que harán que el proceso de germinación tenga éxito.

El proceso de germinativo involucra 6 etapas:

1. Absorción de agua o imbibición: depende del tipo de semillas, pues existen aquellas que necesitan niveles de humedad menores a 20% o aquellas que requieren más del 20%, dependiendo siempre del ambiente donde se desarrollen.

2. Activación de los sistemas de información y síntesis: la imbibición puede realizarse aún en semillas muertas, para que ocurra la germinación es necesario que la semilla sea viable, lo cual implica la activación de la información genética presente en los cromosomas, la activación de los sistemas enzimáticos y la creación de algunos de estos.

3. Digestión de los compuestos complejos presentes en los tejidos nutritivos: los alimentos se encuentran almacenados como almidones, grasas y

proteínas, los cuales deben separarse como azúcares sencillos y aminoácidos, con el fin de que pueda ser asimilados por el embrión.

4. Translocación de los compuestos sencillos de los tejidos nutritivos al eje embrionario: los primeros pasos de la germinación se realizan con los compuestos nutritivos presentes, conforme avanza la necesidad de estos compuestos es necesario que cantidades mayores estén disponibles en forma asimilable.

5. Crecimiento de plántula: el proceso germinativo culmina cuando la semilla se transforma en una plántula, lo que implica desarrollo y crecimiento del embrión, debido al crecimiento de la raíz, tallo y hojas.

6. Establecimiento: cuando se activan los órganos fotosintéticos el peso de las plántulas deja de disminuir. Llega el momento en que la fotosíntesis produce una tasa positiva de asimilación, se dice que la plántula se ha establecido, cuando deja de depender de los tejidos nutritivos legados por la planta madre.

Para la germinación es importante considerar diferentes variables ambientales y características propias de la semilla como lo son la viabilidad y la ausencia de dormición, entre las ambientales tenemos la temperatura, luz y agua.

1. Temperatura. En términos generales y en el intervalo de 6 a 35°C se crecen la mayoría de las plantas; se sabe que las temperaturas constantes son menos favorables que las oscilantes, siempre y cuando estas diferencias no sobrepasen los 15°C.

2. Luz: Aunque algunas semillas pueden germinar fácilmente en la oscuridad, la luz puede tener un efecto definitivo en las semillas durmientes; una exigencia de luz para inducir la germinación indica dormición.

3. Agua: Con un contenido de humedad de 40 a 60% del peso fresco de las semillas, no se realiza la germinación. Durante el proceso de germinación se realiza primero un consumo rápido de agua; posteriormente se estabiliza, y después vuelve a aumentar con el crecimiento de la planta (Camacho, 1994).

Además, es importante considerar la concentración de iones, aireación, tamaño de las semillas, posición de las semillas y profundidad de la siembra.

Crecimiento

Con la penetración de las envolturas de la semilla por parte de la radícula, se marca el final del proceso de germinación y el inicio del crecimiento de la plántula (Herrera, 2006), este crecimiento se da con el establecimiento de la semilla ya germinada en un sustrato; en un sentido estricto, se considera que la etapa de establecimiento comprende el desarrollo de una planta desde la fase inmediatamente posterior a la germinación y el momento en que la planta ha desarrollado una superficie fotosintética y es capaz de mantener una existencia independiente de las reservas de la semilla (Harper, 1977); sin embargo, también se puede considerar que una plántula se ha establecido cuando alcanza la máxima tasa de crecimiento relativo (Hanley et al., 2004) o ha sobrevivido el primer periodo largo de sequía posterior a la germinación (Jordan y Nobel, 1979). Durante el establecimiento el crecimiento puede estar determinado por la fijación de CO₂; esta fijación va a estar determinada a su vez por la disponibilidad de agua, nutrientes y por el flujo de fotones para la fotosíntesis (Nobel, 1988). En el caso de los pinos, se podría decir que el crecimiento de las plántulas se da desde que aparece la raíz, cuyo eje principal se alarga rápidamente, emitiendo poco después raicillas secundarias, y el talluelo brota arrastrando la cáscara, la cual cae al poco tiempo extendiéndose, entonces las hojas cotiledonares. Enseguida aparecen las hojas primarias, que asumen las funciones foliares y duran de uno a tres años, siendo remplazadas por brácteas escamosas, en cuyas axilas aparecen las hojas secundarias en grupos llamados fascículos, protegidos en su base por una vaina. Tales son las hojas definitivas que se observan en los árboles adultos, pues las otras son transitorias (Martínez, 1992).

Durante esta etapa de crecimiento, un factor a tomar en cuenta es la sobrevivencia de las plantas, pues es esta junto con otros factores los que van a determinar el éxito de la especie. La sobrevivencia va a depender de otros factores

como la tolerancia de los individuos a daños ocasionado por condiciones ambientales extremas (Rangel, 2009).

Al igual que el crecimiento, la sobrevivencia va a estar regida por las condiciones que haya en el ambiente y las adaptaciones fisiológicas que posea la especie, pues en diversos estudios realizados con el propósito de elevar la productividad de plantaciones forestales mediante la manipulación o modificación de algún factor ambiental, como densidad de plantación, disponibilidad de nutrientes, o cantidad de radiación solar disponible (Kurth, 1994; Godin, 2000), se ha demostrado que en respuesta a dicha manipulación las especies modifican la asignación de recursos y sus características morfométricas (Mutke et al., 2003, 2005).

Pinus devoniana Lind. (Tomado de Gil de María, 2014).

Sinónimos: *P. michoacana* Martínez, *P. michoacana* var. *Cornuta* Martínez, *P. michoacana* Quevedo Martínez.

Nombres locales: Pino blanco, pino lacio, pino prieto.

Árbol. Mide de 20 a 30 cm de alto y 80 a 100 cm de DAP.

Corteza. Placas de color café divididas por fisuras profundas y largas.

Copa. Irregular redondeada.

Ramas. Persistentes de 2 a 3 años, muy ásperas.

Ramillas. Con bases largas para los fascículos, estos están ligeramente caídos.

Acículas. En fascículos de 5 acículas, a veces en 4 o 6, de 25 a 45 cm de largo; bráctea decurrente, vaina persistente.

Conos. Ligeramente curvos y largos de 15-35 y 8-15 cm cuando abren, son solitarios o en grupos de 2 a 4.

Color. Café oscuro u ocre.

Pedúnculos. Persistente en la rama con algunas escamas.

Escamas. De 175 a 225, se abren gradualmente, de 2 a 4 cm de largo.

Umbo. Dorsal, plano sin espina.

Apófisis. Levantada, transversal quillada.

Semillas. Están colocadas en depresiones de las semillas, son subcilíndricas y vagamente triangulares; morenas negruzcas abultadas en la parte superior y delgadas hacia la base, de 8-10 mm x 5 a 7 mm.

Alas. Articuladas de 25-35 x 10-15 mm.

Distribución. Se distribuye desde México (Nuevo León, Durango, Zacatecas, Nayarit, Jalisco, Michoacán, México, Hidalgo, Morelos, Puebla, Veracruz, Oaxaca y Chiapas) hasta Guatemala. Su distribución altitudinal va desde 1500 a 3000 msnm, con precipitaciones anuales de 1,000 a 1,700 mm y temperatura de 16° a 21°C.

Hábitat. Crece en suelos tanto pobres como fértiles, pero alcanzan su mayor desarrollo en suelos profundos de textura franco arenosa.

Vegetación asociada: Estas taxa se encuentran con diversas especies de hojosas, pinos y otras coníferas. Al *P. devoniana* se le reporta en México asociado con *P. ayacahuite*, *P. michoacana* var. *cornuta*, *P. chiapensis*, *P. douglasiana*, *P. elliotii*, *P. herrerae*, *P. lawsonii*, *P. leiophylla*, *P. lumholtzii*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. pseudostrobus*, *P. tenuifolia*, *Abies guatemalensis*, *A. oaxacana*, *A. religiosa*, *Juniperus* spp. y *Cupressus lindleyi*, así como con un gran número de especies hojosas como *Quercus candicans*, *Q. castanea*, *Q. crassifolia*, *Q. crassipes*, *Q. deserticola*, *Q. laeta*, *Q. laurina*, *Q. peduncularis*, *Q. obtusata*, *Q. resinosa*, *A. rugosa*, *Q. scytophylla*, *Alnus jorullensis*, *Arbutus xalapensis*, *Cornus excelsa*, *Crataegus mexicanus*, *Fraxinus uhdei*, *Ilex toluicana*, *Liquidambar styraciflua*, *Persea* spp., *Phoebe arsenii*, *Prunus capuli*, *Salix bonplandiana*, *S. oxylepis* y *Tilia mexicana*, etc. Así como algunas hierbas y arbustos como *Artemisia mexicana*, *Coriaria* spp., *Festuca* spp., *Rhamnus mucronata*, *Rhus radicans*, *Rubus oligospermus*, *Salvia* spp., *Stevia ovata* y *Vaccinium* spp.; algunas especies indicadoras de disturbios como *Acacia pennatula*, *Agave* spp., *Baccharis conferta*, *B. heterophylla*, *Eupatorium mairitianum*, *Muhlenbergia* sp., *Pteridium aquilinum*, *Rhamnus hintonii*, *Senecio*

praecox, *Senecio salignus*, *Verbesina sphaerocephala*, entre otras (PRODEFO, 2001).

Producción de estróbilos. En la Sierra Purépecha en Michoacán y en Jalisco, la producción de estróbilos de *Pinus michoacana* generalmente se presenta de febrero a marzo, los conos normalmente inician su apertura en noviembre y la concluyen en diciembre o a principios de enero, por lo que la dispersión de las semillas se lleva a cabo en diciembre-enero. Se menciona que existen años semilleros cada cuatro años, por lo que la producción de conos es variable anualmente (Patiño et al., 1983; García, 1996; PRODEFO, 2001).

Usos. Su madera es muy utilizada debido a que es fácil de trabajar, es utilizada para muebles finos, ebanistería, mangos para herramientas, postes para servicios públicos y muebles. Constituyen en México una de las principales especies para la obtención de resina.



Figura 1. Ejemplar de *Pinus devoniana*

Pinus pseudostrobus Lindl. (Tomado de Gil de María, 2014)

Sinónimos. *P. pseudostrobus* var. *estevezii* Martínez, *P. pseudostrobus* var. *coatepencis* Martínez, *P. nubicola* J. P. Perry, *P. yecorensis* Debrecz y & Rac.

Nombres comunes. Pino blanco, Pino Chalmaite, Pino lacio, Pino Liso.

Árbol. Este árbol mide de 20 a 40 m de alto por 80 a 100 cm de DAP.

Corteza. Tiene una corteza lisa durante mucho tiempo, después con placas alargadas divididas por profundas fisuras.

Ramas. Delgadas y frágiles.

Acículas. Generalmente en grupos de 4 a 6 predominando 5, de 20^a 30 cm de largo, muy delgadas, con un ligero tinte amarillento glauco, finamente aserradas, tiene de 2 a 3 canales resiníferos medios, rara vez con uno interno o externo, sus vainas son persistentes, anilladas y miden de 12 a 15 mm de largo. Tiene 2 haces vasculares, perennifolias. Bráctea decurrente.

Conos. Sus conos son ovoides, miden de 7-16 x 7-10 cm cuando abren, extendidos muy levemente, encorvados, un poco asimétricos, solitarios o en pares, no son pronto caedizos, maduran de noviembre a diciembre.

Color. Los conos pueden ser de color café claro, amarillento o café oscuro.

Pedúnculos. Los pedúnculos miden de 10 a 15 mm de largo, con frecuencia estos quedan en la ramilla conservando algunas escamas basales.

Escamas. Tiene de 140 a 190, abren gradualmente.

Umbo. dorsal.

Apófisis. Levantada.

Semillas. Son vagamente triangulares, oscuras, miden 6mm x 4mm de ancho.

Alas. Articuladas, cubren parte de la semilla por uno de los lados, con una medida de 23 mm de largo por 6-9 de ancho.

Distribución: Se distribuye escasamente en el norte de México (Sinaloa y Jalisco) pero comúnmente en la planicie central y en el estado de Chiapas. Su rango altitudinal varía entre 1900 y 3200 m, temperaturas entre 18 a 21°C.

Hábitat: En bosques de *Pinus* y *Pinus-Quercus*, se le puede encontrar en vegetación secundaria. Crece en suelos profundos derivados de material volcánico, ácidos a moderadamente ácidos; no crece en suelos con problemas de drenaje.

Vegetación asociada: Se distribuye en el bosque de coníferas y bosque de pino-encino (CATIE, 1997), también constituye asociaciones con otras especies, siendo la más frecuentes: *Pinus montezumae*, *P. ayacahuite* var. *veitchii*, *P. maximartinezii*, *P. douglasiana*, *P. leiophylla*, *P. lawsonii*, *P. pringlei*, *P. michoacana* var. *cornuta*; además, se asocia con *Abies religiosa*, *Arbutus* sp. *Buddleja* sp., *Alnus* sp. y *Cupressus lindleyi*. Así como con *Quercus rugosa*, *Q. laurina* y *Q. candicans* (Eguiluz, 1978; Madrigal, 1982).

Producción de estróbilos: Ocurre desde febrero a marzo, la maduración de los conos se presenta de noviembre a diciembre y la apertura de conos entre octubre y noviembre, aunque también es posible colectarla en algunas localidades en diciembre y aún en enero, y a partir de esas fechas se presenta la dispersión de la semilla (Patiño et al., 1983)

Usos: Es utilizada en la construcción, ventanas flexibles, muebles, artesanías y para la fabricación de papel, la madera es de color amarillo claro, grano recto, textura fina, moderadamente liviana, suave y poco resinosa.

Uso de efluentes de una planta de tratamiento de residuos sólidos en la propagación de Pinus

Pinus pseudostrobus está considerada como una de las especies de *Pinus* con mayor importancia comercial y en la reforestación (Aparicio, 1999).



Figura 2. Ejemplar de *Pinus pseudostrobus*

ANTECEDENTES

Entre los trabajos importantes para este estudio están los siguientes:

❖ Aparicio (1999), realizó un estudio para evaluar el sustrato en relación a la germinación de *Pinus patula*, *Pinus montezumae* y *Pinus pseudostrobus*, encontrando que la tierra de monte obtuvo los mejores resultados. Sin embargo, este trabajo no describe el comportamiento germinativo en términos de tiempo de germinación, uniformidad germinativa y calidad de germinación, ni describe el crecimiento de las plantas obtenidas.

❖ Flores (2013), estudió el comportamiento germinativo y el crecimiento en vivero de *P. maximartinezii*, en el cual encontró que el tiempo medio de germinación es de 12.47 días, la capacidad germinativa que se obtuvo fue de 20.3 %; indicador de una mala germinación comparado con trabajos anteriores, además de que menciona que el comportamiento germinativo de los pinos es sumamente variable.

❖ Grajales (2006), realizó un programa de tratamiento para lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales, utilizando como tratamientos el secado, compostaje y lombricomposta; aplicando pruebas físicas y químicas y de germinación que al final arrojaron que el tratamiento con lombricomposta fue el mejor, para la mejora de suelos.

❖ Muñoz Flores (2011), describió el crecimiento en plantaciones de *Pinus greggii* y *P. pseudostrobus*, reportando como sano el 95% del arbolado y el 4% afectado por la presencia de la mariposa resinera *Dioryctria sp.*

❖ Rubio (2006), caracterizó en términos de estructura, diversidad y composición florística a dos comunidades de encino en el estado de México, además evaluó la germinación y propagación de semilla de dos especies, encontrando que las comunidades estudiadas difieren notablemente y que en ambas especies la germinación se inició un día después del establecimiento. Las semillas de Q

crassifolia tuvieron un 98.66 de germinación al día 18, mientras que *Q. candicans* registro un porcentaje de germinación del 72 %; concluyendo que es de suma importancia el estudio de las diferentes especies de *Quercus* pues esto llevará a tomar medidas prácticas para fomentar la conservación en zonas protegidas.

❖ Vega (2009), hizo una evaluación de diferentes sustratos, como fuentes orgánicas se emplearon: cachaza (testigo), fertilizante órgano-mineral, composta, composta enriquecido con roca fosfórica parcialmente acidulada, composta enriquecido con superfosfato triple y lombricomposta. Se evaluó análisis químico final del suelo, el rendimiento y sus componentes. Los resultados demostraron que los mejores sustratos agronómica y económicamente fueron composta enriquecido con roca fosfórica parcialmente acidulada, composta enriquecido con superfosfato triple y lombricomposta.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el crecimiento acelerado de la población, los niveles de consumo y la necesidad de productos son unos de los problemas mas graves a los que se enfrenta el ser humano; debido a los problemas ambientales que estos generan diectamente o indirectamente. La busqueda por alternativas que minimicen o erradiquen el efecto de estos problemas es una de las principales tareas que tenemos. El mejor aprovechamiento de los subproductos que generan las plantas de tratamiento ha sido una opción muy eficaz pues de esta manera se puede dar solucion a la problemática que estos tiene sobre su dispocisión final y a la vez dar solucion a la problemática de encotrar sustratos adecuados que nos proporcionen de las características físicas y químicas necesarias para una optima propagacion y produccion de especies con importancia forestal y de mejor calidad.

Este presente trabajo es pate del proyecto “generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM)” que realiza la facultad de química de la UNAM. Dicha planta piloto que se ubica en la CUSI Almaraz de la FES Iztacala en Cuautitlán Izcalli, Estado de México, estará en funcionamiento en febrero de este año.

OBJETIVO GENERAL

- ❖ Evaluar el comportamiento germinativo de *Pinus devoniana* y *Pinus pseudostrobus* utilizando efluentes de una planta de tratamiento de residuos sólidos.

OBJETIVOS PARTICULARES

- ❖ Realizar una caracterización física y química de los efluentes sólidos utilizados como sustratos para la germinación.
- ❖ Describir el comportamiento germinativo de semillas de *P. devoniana* y *P. pseudostrobus* a través de su capacidad germinativa, tiempo de germinación, uniformidad germinativa y calidad de germinación, utilizando los efluentes sólidos de la planta de planta de tratamiento.
- ❖ Evaluar la viabilidad de las especies después de 2 meses de almacenamiento.
- ❖ Evaluar el crecimiento de ambas especies durante ocho meses.
- ❖ Describir la morfología de plantas a los seis y 12 meses de ambas especies.

METODOLOGÍA

Caracterización física y química de biosólidos

Se proporcionó 20 litros de residuos sólidos provenientes de las pruebas hechas para el diseño de la planta piloto de tratamiento, provenientes de la Facultad de Química (UNAM), los cuales se centrifugaron a 2000 rpm durante 15 minutos, con la finalidad de separar la fase líquida y sólida. Una vez que se obtuvieron estas dos fases, al biosólido obtenido (fase sólida) se le realizaron pruebas fisicoquímicas al igual que al suelo de vivero (tierra negra) que fue utilizado para el tratamiento control, todo esto se realizó en el laboratorio de edafología de la FES Iztacala.



Figura 3: Imágenes del proceso de separación de los biosólidos.

Comportamiento germinativo: con biosólidos.

Prueba preliminar

Se realizó el diseño preliminar de sustratos con lodos provenientes de las pruebas para la planta piloto de la Facultad de Química, el cual quedó conformado por dos tratamientos; el primero en una proporción 2:1 (v/v) (tierra-agrolita y los biosólidos) y el segundo en una proporción 3:1 (v/v) (tierra- agrolita y biosólidos) y un grupo control, que consistió en una mezcla de tierra negra y agrolita en una proporción 2:1 (v/v); la elección de este grupo control se realizó debido a que este es el sustrato que se utiliza como base en el vivero de la FESI.

Se probaron 3 concentraciones de biosólidos 5, 7 y 10%; para ello se preparó un sustrato base de tierra negra y agrolita en proporción 2:1 (peso). A esta se le adicionó biosólido en un 5, 7 y 10 % según el tratamiento (Cuadro 5) El porcentaje de biosólido fue calculado utilizando el peso como variable. Se establecieron 3 lotes (repeticiones) con 50 semillas cada uno, teniendo un total de 150 semillas por especie, cada tratamiento (5, 7 y 10% de biosólido) se mantuvo a una temperatura de 25°C, en imbibición y en un foto-periodo de 24 horas luz, El comportamiento germinativo se estudió de acuerdo a Camacho y Morales (1992), se calculó capacidad germinativa, tiempo medio de germinación, uniformidad germinativa y calidad germinativa (Índice de Maguire).

Cuadro 5: Diseño de los tratamientos utilizando los biosólidos.

	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento control
P.pseudostrobis	5 % de lodo 95% de mezcla agrolita- tierra (2:1)	7 % de lodo 93% de mezcla agrolita- tierra (2:1)	10 % de lodo 90% de mezcla agrolita- tierra (2:1)	100 %Mezcla agrolita- tierra (2:1)
P. devoniana	5 % de lodo 95% de mezcla agrolita- tierra (2:1)	7 % de lodo 93% de mezcla agrolita- tierra (2:1)	10 % de lodo 90% de mezcla agrolita- tierra (2:1)	100 % Mezcla agrolita- tierra (2:1)

Comportamiento germinativo: sin biosólidos.

Se establecieron 5 lotes (repeticiones) con 50 semillas cada uno en domos de plástico, teniendo un total de 250 semillas por especie, el sustrato utilizado como base fue de tierra agrolita en una proporción 2:1 (v/v). Se mantuvieron a una temperatura de 25°C, en imbibición y en un foto-periodo de 24 horas luz, El comportamiento germinativo se estudió de acuerdo a Camacho y Morales (1992).

Con la finalidad de evaluar la viabilidad las semillas de las especies, se refrigeraron durante dos meses; posteriormente se extrajeron 250 semillas y se evaluó su comportamiento germinativo.

Crecimiento en vivero

Se realizó el monitoreo de las plántulas resultantes de la prueba de germinación sin biosólidos de ambas especies durante 8 meses, en los cuales se midió cada mes la altura del tallo, las coberturas y el diámetro del tallo. El sustrato

usado para establecer las plantas en vivero fue una combinación de tierra negra y agrolita en proporción 2:1 (v/v).

Descripción de las especies

Se realizaron las descripciones de ambas especies a los seis y 12 meses de edad; para ésto se extrajeron las plantas de su sustrato procurando no afectar la raíz, mismas que se herborizaron.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física y química de biosólidos.

A pesar de que se sabe que no existe el sustrato ideal, pues cada especie va a tener diferentes requerimientos, es necesario realizar pruebas físicas y químicas para obtener un conocimiento más amplio sobre los elementos que contiene el biosólidos, con la finalidad de poder encontrar las condiciones más óptimas (agua, aire y minerales) para la producción de las especies deseadas.

Se realizó una prueba de coliformes en la muestra 1, encontrándose una concentración de 1600 (NMP *100ml), lo que indica que se encuentra dentro de los límites permisibles establecidos por la **NOM. 004 SEMARNAT-2002, Protección ambiental-lodos y biosólidos-especificaciones y límites permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final**, esta prueba no fue posible realizarla a la muestra 2, debido a que el tiempo de refrigeración fue inadecuado. En cuanto a metales pesados (Cuadro 6), el elemento con mayor concentración en la muestra 1 fue el cobre con 9.30 mg/l; mientras que en la muestra 2 la concentración de éste disminuyó hasta los 1.128 mg/l, todos los demás elementos considerados se encontraron dentro de los límites permisibles. En la muestra 2 la presencia de éstos disminuyó considerablemente y el único elemento que no se encontró fue el cadmio. En la muestra 2 se detectó la presencia de otros elementos como el hierro y el aluminio; es probable que en la muestra 1, debido a fallas técnicas y al poco material con el que se contaba no se hayan detectado éstos.

Los resultados obtenidos, de acuerdo a la NOM. 004, indican que estos biosólidos pueden ser utilizados en la agricultura y en actividades forestales.

Cuadro 6. Resultados de la cuantificación de metales pesados en los biosólidos analizados.

Elemento	Muestra 1 (Contenido mg/l)	Muestra 2 (Contenido mg/l)	Límites máximos permisibles
Cobre	9.303	1.128	1500---4300
Cromo	0.173	34.8	1200---3000
Zinc	0.289	6.566	2800---7500
Niquel	1.251	0.641	420---420
Plomo	6.399	0.259	300---840
Mercurio	1.272	/	
Cadmio	/	/	
Fierro	/	13.974	
Aluminio	/	1.01	

Se le realizaron diferentes pruebas físicas y químicas tanto a los biosólidos como al sustrato de tierra-agrolita que se utilizó como tratamiento control y como sustrato base. Como se puede ver en el siguiente cuadro, el sustrato de tierra negra y agrolita presentó una cantidad muy grande de materia orgánica, por lo que se encuentra dentro de la categoría de extremadamente rico, además presentó un pH ligeramente ácido (5.6).

Cuadro 7. Caracterización física y química de las muestras de biosólidos y suelo de vivero.

Prueba realizada	Lodo 1	Lodo 2	Tierra de vivero
Materia orgánica (%)	17.28 extremadamente rica	70.03 Extremadamente rico	15.36 % Extremadamente rico
pH	6.9 pH neutro	8.47 Moderadamente alcalino	5.61 Acido
Densidad aparente Kg/m ³	0.403 +- 0.026 Densidad Aparente baja	0.6837 Densidad Aparente baja	0.7638 Kg/m ³ Bajo
Densidad real Kg/m ³	1.48 +- 0.0385 Densidad Real baja	0.74 +- 0.0251 Baja	2.59 Kg/m ³ Medio
Porosidad total (%)	73.3% +- 2.357 Alto	91% +- 3.05 Muy alto	/
CIC Cmol/Kg ⁻¹	40.88+- 1.856 Alto	38.68 +- 4.049 Alto	20.9 cmoles/Kg ⁻¹ Medio
Calcio intercambiable (%)	13.20 +- 3.19 Bajo contenido de Calcio	5.69 +- 1.40 Bajo contenido de Calcio	/
Magnesio intercambiable (%)	0 Bajo contenido de Magnesio	3.62 + -0.463 Bajo contenido de Magnesio	/
Retención de humedad (%)	47.58	215.03	/
Fosforo(ppm)	45.13 Extremadamente rico	15.76 Extremadamente rico	/
215.Potasio (cmol) Kg ⁻¹	1.99 Muy pobre	14.92 Muy pobre	/
Nitrógeno	0.46 Medianamente rico	7.43 Extremadamente rico	0.20 % Moderadamente rico

Autores como Prieto (2012), menciona que la finalidad de los sustratos es asegurar un crecimiento óptimo de la planta y para que esto se cumpla los sustratos

deben contar deben tener ciertas características; como tener una porosidad entre un rango de 60 a 80 % , una retención de humedad de 25 a 55 %, un pH menor a 7, debe de estar libre de impurezas, debe de tener un facilidad de mezclado , una facilidad de rehundimiento además de estar libre de plagas y enfermedades y por supuesto, estar a un costo accesible y tener una disponibilidad suficiente. Los biosólidos utilizados para el experimento con los sustratos, presentaron un pH superior a 7; por lo que no sería adecuado para el crecimiento de las plantas. Ruano (2008), menciona que el principal efecto del pH en un suelo mineral y en un medio orgánico es su influencia en la disponibilidad de los micronutrientes.

Aunque a las muestras de biosólidos no se les realizaron pruebas para detectar organismos dañinos para las plantas, se esperaría que su incorporación a sustratos favorecería la propagación de especies antagónicas a los patógenos. Sin embargo, sería conveniente que en cuanto se adquirieran más muestras de estos biosólidos se realicen las pruebas correspondientes; también deberán analizarse los sustratos diseñados con los otros componentes.

En lo que respecta a la porosidad ambas muestras tiene valores superiores a los recomendados por el autor con una porosidad de 73 % para la muestra 1 y del 91 % para la muestra 2, la porosidad va a ser importante ya que esta va a permitir la asimilación del agua y la respiración de las raíces de la planta. Al igual ambas muestras tiene una retención elevada de humedad, una elevada retención de humedad puede tener efectos nocivos en la raíces de las plantas y de esta manera ven afectado su crecimiento, pues pueden provocar pudrición y por tanto la muerte de la planta.

La CIC y el fósforo de la muestra 1 fueron mayores que en la muestra 2, lo cual indica que la muestra 1 es la que tiene una mayor retención de nutrientes pues la CIC constituye un depósito de reserva para los nutrientes, mientras que los materiales con un CIC bajo retienen cantidades reducidas de nutrientes y requieren de una aplicación frecuente y regular de fertilizantes (Maldonado, 2010). Mientras que el fosforo tuvo un

valor de 45.13 ppm; lo que lo cataloga como extremadamente rico, este nutriente es necesario en el diseño de un sustrato adecuado, pues contribuye al desarrollo del sistema radical, pero su deficiencia puede propiciar enrojecimiento del tallo, acortamiento de entrenudos y enanismo general de la planta; en cambio, el exceso provoca amarillamiento general, ennegrecimiento del borde de las hojas seguido de necrosis (Prieto, 2012). A pesar de que la muestra 1 presenta cantidades elevadas de algunos importantes nutrientes como el nitrógeno, fósforo y un pH que se encuentra dentro de lo recomendado para un buen sustrato, carece de otros nutrientes esenciales para el crecimiento de la planta, como el magnesio intercambiable y el potasio; el primero, no se detectó y el valor del segundo (1.99 cmol) lo cataloga como muy pobre. Estos resultados van ligados con lo reportado por Maldonado (2010), el cual menciona que una CIC alta no va a asegurar la presencia de cantidades suficientes de todos y cada uno de los nutrientes, puesto que el sustrato puede estar abastecido de uno o varios de los nutrientes, e incluso puede estar ocupado por un exceso de cationes indeseables o tóxicos.

Las cantidades de magnesio y potasio en la muestra 1 se catalogan como muy pobres.

El nitrógeno en ambas muestras se encontró en cantidades elevadas, por lo que se clasifican en la categoría de medianamente rica y extremadamente rica, para la muestra 1 y 2 respectivamente. El porcentaje de materia orgánica coloca a ambas muestras dentro de la categoría de extremadamente ricas.

Se puede decir que el uso de estos lodos, de manera directa, sería poco recomendable, ya que mientras más alta sea la relación C/N habrá más problemas de disponibilidad de nitrógeno, llegando en casos extremos a provocar lo que se llama "hambre de nitrógeno"; es decir, los microorganismos al tener nutrientes disponibles incrementan el consumo de nitrógeno del suelo para su propio desarrollo, provocando deficiencias en las plantas (Rojas, 2004); en cambio, una cantidad de nitrógeno adecuado ayudará al crecimiento del follaje.

Ejemplo de esta afectación la pudimos observar en la prueba preliminar hecha con los lodos de la muestra 1, que a pesar de presentar niveles inferiores a los de la muestra 2, el exceso provocó que la mayoría de las semillas no germinaran y las que lo lograron murieran en poco tiempo.

Lo anterior indica que los lodos o biosólidos pueden ser útiles por la cantidad de nutrientes que poseen; sin embargo deben diseñarse sustratos con otros componentes que mejoren sus características físicas y químicas.

Resulta importante mencionar que para un adecuado diseño de sustratos con fines forestales es necesario que los lodos o biosólidos de una planta de tratamiento se sometan a un tratamiento de estabilización con el fin de producir sustratos con características físicas y químicas no muy variables y adecuadas.

Diseño de sustratos

La elección del sustrato es de especial interés para producir plántulas en vivero, debido a que su composición física y química está directamente relacionada con el crecimiento, vigor y producción de materia seca y supervivencia de las especies (Prieto, 1999). Comúnmente en el diseño de estos se buscan sustratos que nos aporten una textura liviana que facilite el drenaje y la aireación, y que presenten un medio apropiado donde la planta desarrolle un sistema radical adecuado para prosperar en el terreno definitivo (García *et al.*, 2001).

La prueba preliminar mostró los siguientes resultados: después de 28 días, sólo se observaron plántulas en los tratamientos control de ambas especies, ya que en los demás tratamientos solo hubo una pequeña cantidad de semillas en proceso de germinación, debido a que no lograron completar su germinación, pues, la raíz sufrió “quemaduras”, provocando la muerte de las semillas; en base a esto se cambió el diseño de los tratamientos.

Comportamiento germinativo con biosólidos.

El comportamiento germinativo de *P.pseudostrobis*, para todos los tratamientos incluyendo el tratamiento control, mostró un tiempo medio de germinación que va de los 4 a los 5 días, lo que indica que el mayor número de semillas geminadas ocurrió en esos días. Se obtuvo una desviación relativamente pequeña y un índice de Maguire que supera los 10 días (cuadro 8).

Cuadro 8: Índices de germinación para *P.pseudostrobis* en los diferentes tratamientos.

Índices De germinación	<i>P. pseudostrobis</i> 5%	<i>P. pseudostrobis</i> 7%	<i>P. pseudostrobis</i> 10 %	<i>P. pseudostrobis</i> control
Índice de Maguire	10.89	1.03	12.44	10.48

Desviación del TMG (días)	2.1	2.78	3.32	2.60
Tiempo medio de germinación TMG(días)	4.6	4.83	5.59	4.51
Porcentaje de germinación	80.6%	75.3%	78%	76.6%

El comportamiento germinativo de *P. devoniana* fue muy similar, pues no hubo grandes diferencias entre los tratamientos (Cuadro 9); pero si se compara con el obtenido para *P. pseudostrobus*, podemos observar que mientras que las anteriores germinaron entre los días 4 y 5, esta última tuvo el mayor número de semillas germinadas entre los días 5 y 8. Lo anterior influyó en el índice de Maguire, por lo que *P. devoniana* obtuvo el valor más alto (14.46), por lo cual se considera que es una especie con una calidad germinativa superior a la de *P.pseudostrobus*. es necesario que para la producción de plantas en programas de reforestación se tomen en cuenta variabes que determinen su calidad, pues estas repercutiran directamente en su sobrevivencia.

Cuadro 9: Tabla: índices de germinación para *P. devoniana* en los diferentes tratamientos.

Índices De germinación	P. devoniana 5%	P. devoniana 7%	P. devoniana 10 %	P. devoniana control
Índice de Maguire	14.46	11.68	12.75	11.60
Desviación del TMG (días)	2.69	3.97	3.51	3.53
Tiempo medio de germinación TMG(días)	5.87	8.26	6.85	6.03
Porcentaje de germinación	66%	65.3 %	82%	70%

En cuanto al porcentaje de germinación, el tratamiento en el que se utilizó 5 % de lodos fue el que tuvo un mayor porcentaje de germinación con el 80.6 % seguido por el tratamiento de 10 % con un porcentaje del 78 % , aunque cabe señalar que tanto el tratamiento de 7 %, 10 % y el tratamiento control mostraron un número muy similar en el porcentaje de germinación (Figura 4).

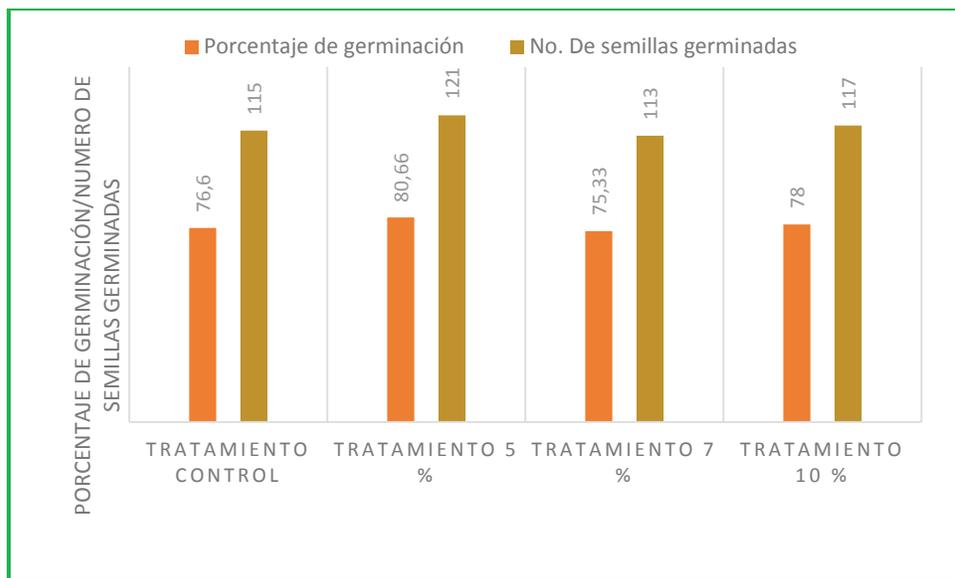


Figura 4: Número de semillas germinadas y porcentaje de germinación de *P.pseudostrobus*.

En *P. devoniana*, el tratamiento que mostró una mayor germinación fue en el que se utilizó un 10% de lodos con un 82 % (123 semillas), mientras que el tratamiento menos exitoso fue el que tiene un 7% de lodos con un 65.3 % de germinación (98 semillas) (Figura 5), tanto los tratamientos de 5% , 7% y el tratamiento control tuvieron un porcentaje de germinación que oscila entre los 65 y 70 %, lo que demuestra que incluso el tratamiento de 10 % tuvo un mejor porcentaje de germinación que el grupo control.

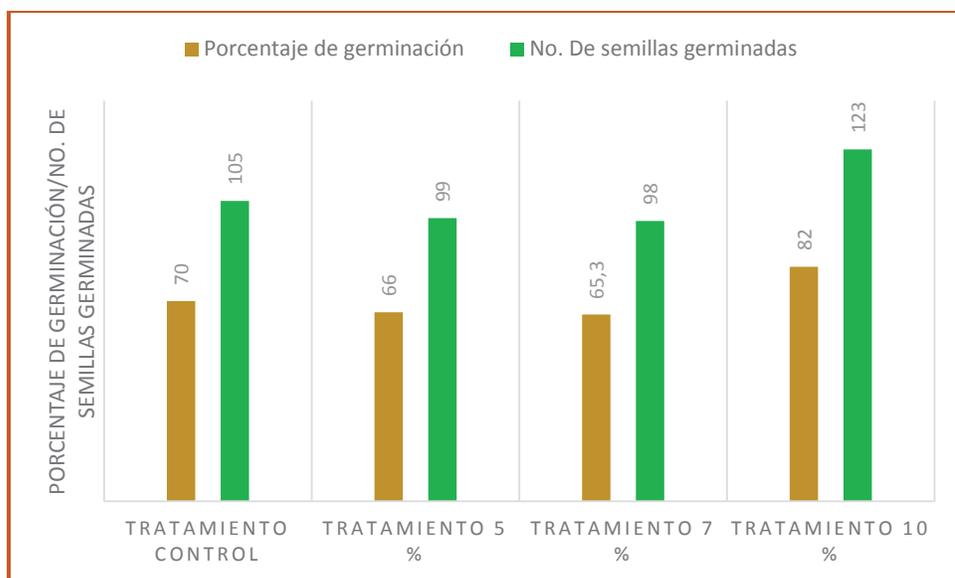


Figura 5: Germinación de *P. devoniana*.

De acuerdo con Biesdale, (1979) las condiciones de germinación en el suelo, son buenas cuando se tiene una relación de germinación-emergencia de 80% y malas cuando es de 40 %, bajo este criterio el tratamiento del 5%, es el que presentó las mejores condiciones para la germinación para *P. pseudostrobis* y el tratamiento con el 10% para *P.devoniana*.

Comportamiento germinativo sin biosólidos

En lo que respecta el peso de las semillas, se obtuvieron los siguientes resultados: 10 semillas de *P. pseudostrobis* pesaron 0.20 g y la misma cantidad de semillas de *P. devoniana* pesaron 0.49 g.

El porcentaje total de germinación para *P. devoniana* fue del 66.4% (166 semillas) y para *P.pseudostrobis* fue del 74% (187 semillas) (Figura 6).

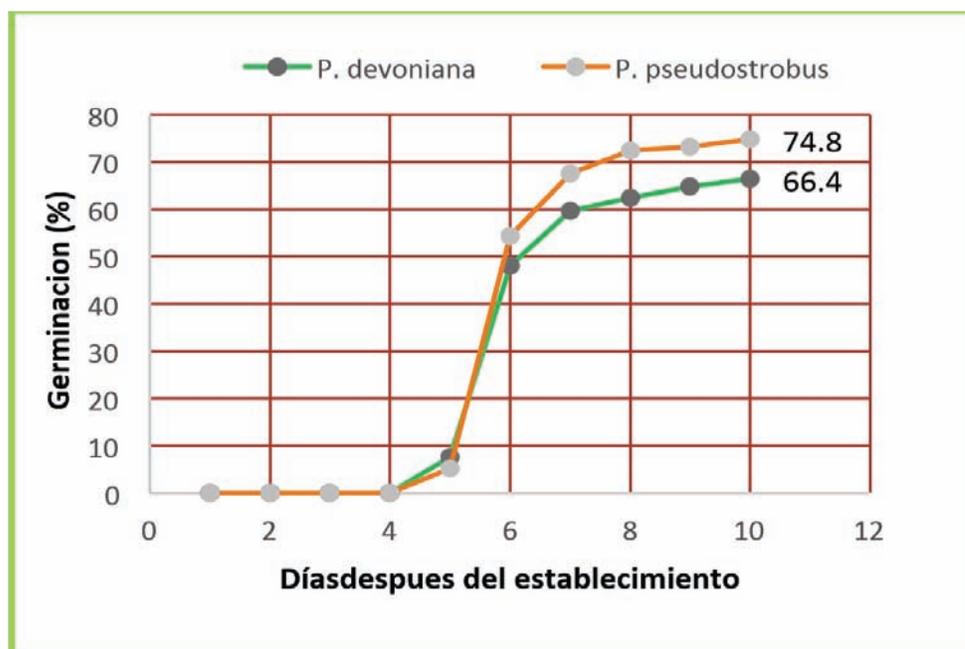


Figura 6. Porcentaje de germinación a diferentes tiempos

El mayor porcentaje de germinación acumulada para ambas especies se observó entre los días 4 y 5, aumentado del 7.8% a un 48% con un incremento del 40.4% para el caso de *P. devoniana*, mientras que para *P. pseudostrobus* el incremento fue de 5.2% a 54% con un aumento de 48.8%. En ambas especies la germinación se inició a partir del día cuatro después del establecimiento. Se calculó el tiempo medio de germinación, desviación del TMG (cuadro 10) y el índice de Marguire. Con respecto a este último índice, la especie *P. devoniana* obtuvo un valor de 9.81 y para *P. pseudostrobus* un valor de 10.73. Teniendo en cuenta que el índice de Maguire es un indicador de la calidad de germinación, la especie *P. pseudostrobus* mostró mejor calidad germinativa que *P. devoniana*.

Estos datos indican que la germinación presentada por las especies es buena; pues en otros trabajos, se reportan porcentajes muy bajos; por ejemplo Flores (2013) reporta un porcentaje de germinación del 20.3 % en *P. maximartinezii* con un tiempo medio de germinación de 12.47 días y un índice de Marguire de 1.49 días, aunque cabe señalar que esta especie se encuentra en un estatus diferente a las trabajadas

en esta tesis, pues se encuentra en la categoría de peligro de extinción, por lo que se hace evidente la diversidad de comportamiento entre especies. Es importante mencionar, que la germinación exitosa de una semilla depende de la calidad del germoplasma, el tamaño y peso de la semilla, su viabilidad (Bewley y Black 1994).

Cuadro 10. Características del comportamiento germinativo.

Variable	P. devoniana	P. pseudostrobus
Capacidad germinativa		
Tiempo medio de germinación TMG(días)	6.01	6.05
Desviación del TMG (días)	1.20	0.97
Índice de Maguire	9.81	10.73

Prueba de viabilidad

La viabilidad puede expresarse como el porcentaje de germinación potencial, que marca el número máximo de plántulas producidas por un número dado de semillas Hartman y Kester (2002).

La germinación para *P. devoniana* fue de 53.2 %, mientras que para *P. pseudostrobus* fue de 63 % (Figura 7). La germinación de *P. devoniana* se inició en el día 3 y en *P. pseudostrobus* en el día 4. En comparación de la primera prueba de germinación existe una diferencia de 13% menos de germinación para *P. devoniana*, mientras que para *P. pseudostrobus* la diferencia es de 11%; lo cual nos indica que la especie que pierde viabilidad después de un tiempo de refrigeración es *P. devoniana*.

Flores (2013), obtuvo mejores resultados en el porcentaje de germinación en la prueba de viabilidad con respecto a este estudio, debido probablemente a que la respuesta a este tipo de pruebas va a depender de diferentes factores como propiedades genéticas de las especies, desarrollo incompleto de la planta, daños durante la cosecha, procesamiento inadecuado, enfermedades, envejecimiento y almacenamiento inapropiado (Karssen 1981).

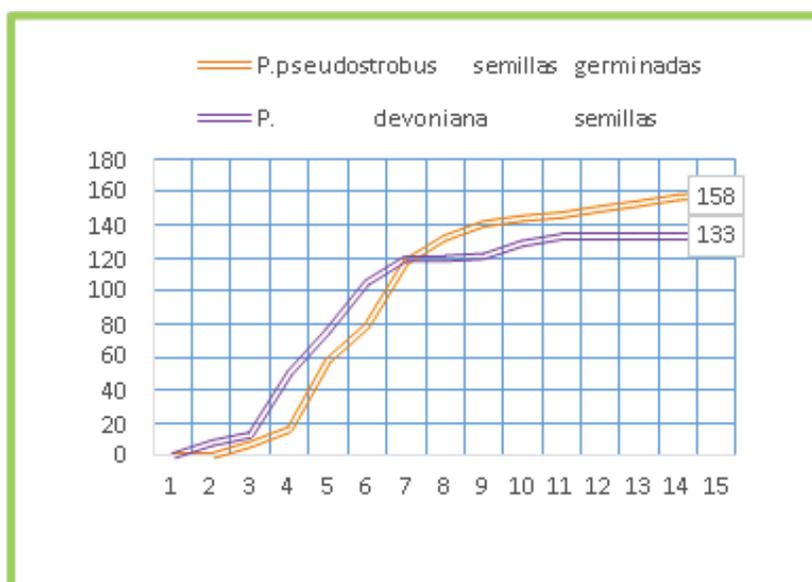


Figura 7. Numero de semillas germinadas después de 4 meses de refrigeración para ambas especies.

El conocimiento de los aspectos básicos para la propagación de especies nativas, entre ellos el comportamiento germinativo, permitirá contar con una base sólida para desarrollar estrategias eficientes para la recuperación de superficies deterioradas; por supuesto, deberán realizarse evaluaciones de sobrevivencia en condiciones naturales (Godínez y Flores 1999; citado por flores, 2013).

Crecimiento En Vivero

Una vez que se obtuvieron las plantulas se trasplantaron a suelo (tierra negra y agrolita) y fueron colocadas en el vivero de la FESI, ahí se realizaron mediciones mensuales de altura, coberturas y diámetro del tallo, las cuales se promediaron y se realizaron gráficos.

La altura de *P. pseudostrobus* se mantuvo sin grandes cambios en los primeros 4 meses, presentando un cambio significativo hasta el último mes; pues se incrementó de 4 cm a 9 cm en promedio, observándose algunos individuos con alturas mayores a los 10 cm (Figura 8); este mismo comportamiento se observó en las coberturas (Figura 9).

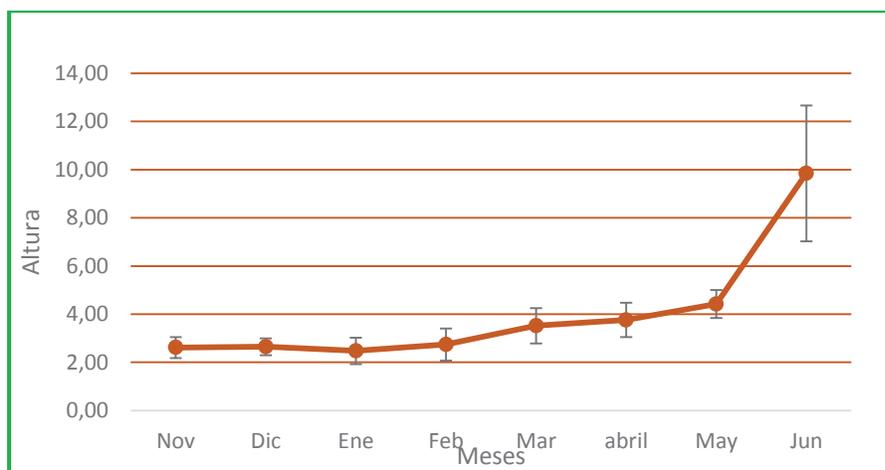


Figura 8: Altura promedio presentada por *P. pseudostrobus* durante 8 meses.

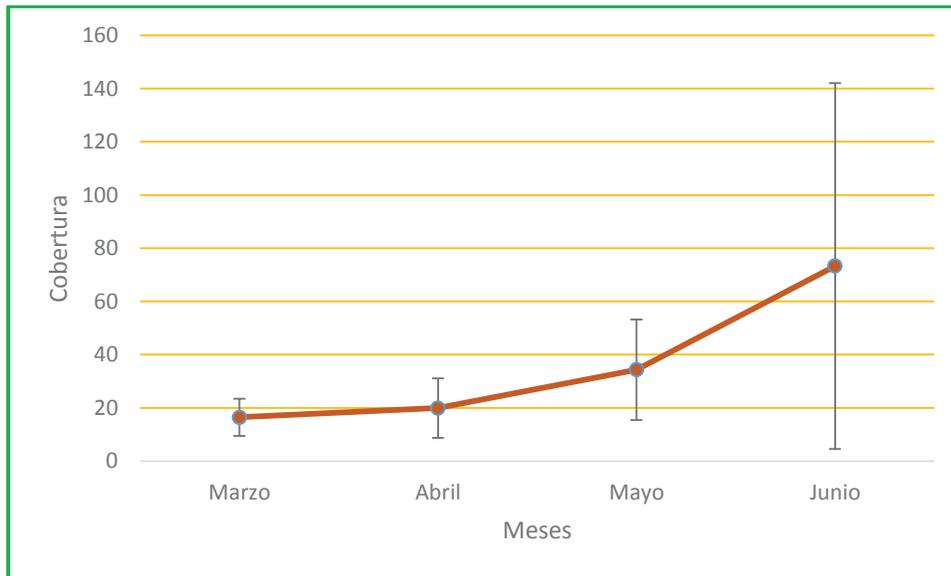


Figura 9: Coberturas promedio de *P. pseudostrobus* en los últimos cuatro meses de monitoreo.

El diámetro del tallo se mostró muy similar en los primeros meses, teniendo un cambio considerable en los últimos dos, donde era ya posible ver la aparición de crecimiento secundario; en la Figura 10 se muestra una disminución del promedio del diámetro del tallo debido a la muerte de individuos.

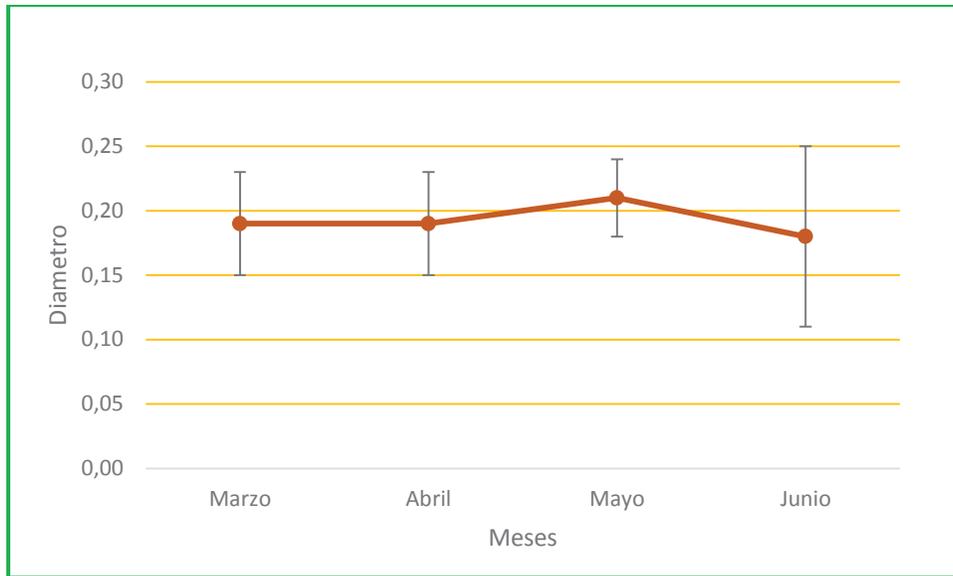


Figura 10: Diámetro promedio de *P. pseudostrobus*.

La altura del tallo de *P. devoniana* mostró un comportamiento muy similar al de *P. pseudostrobus*, en los primeros meses el comportamiento es muy uniforme y en el último mes, es cuando se evidencia un incremento significativo (Figura 11).

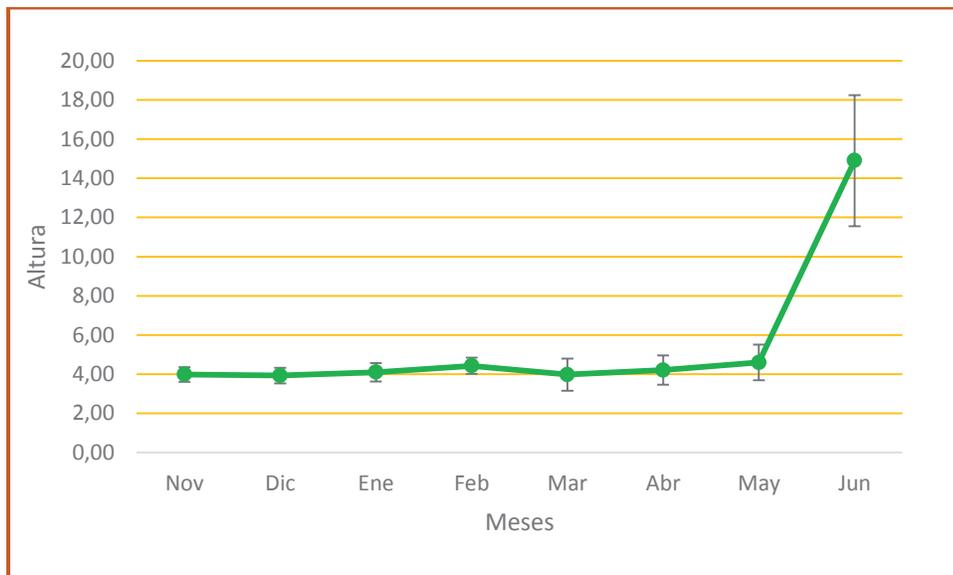


Figura 11: Altura promedio de *P. devoniana* durante los 8 meses de monitoreo.

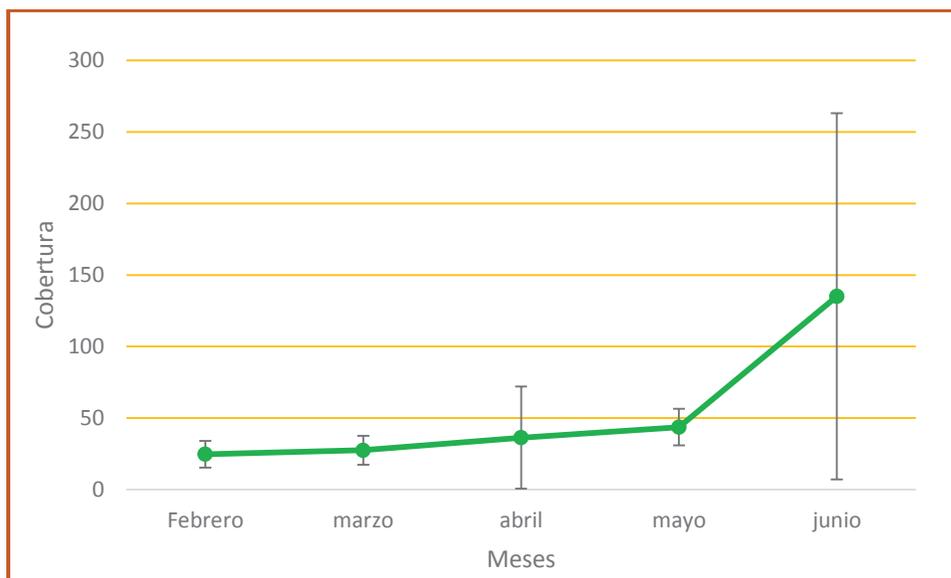


Figura 12: Cobertura promedio de los últimos 5 meses de monitoreo de *P. devoniana*.

El diámetro mostró en los meses de febrero y marzo (Figura 13) un comportamiento uniforme, mientras que en el mes de abril se vio una disminución debido a la muerte de individuos, lo que afectó el promedio de la especie. En los últimos dos meses se observó un ligero incremento. Algunos individuos presentaron un diámetro de hasta 4 mm.

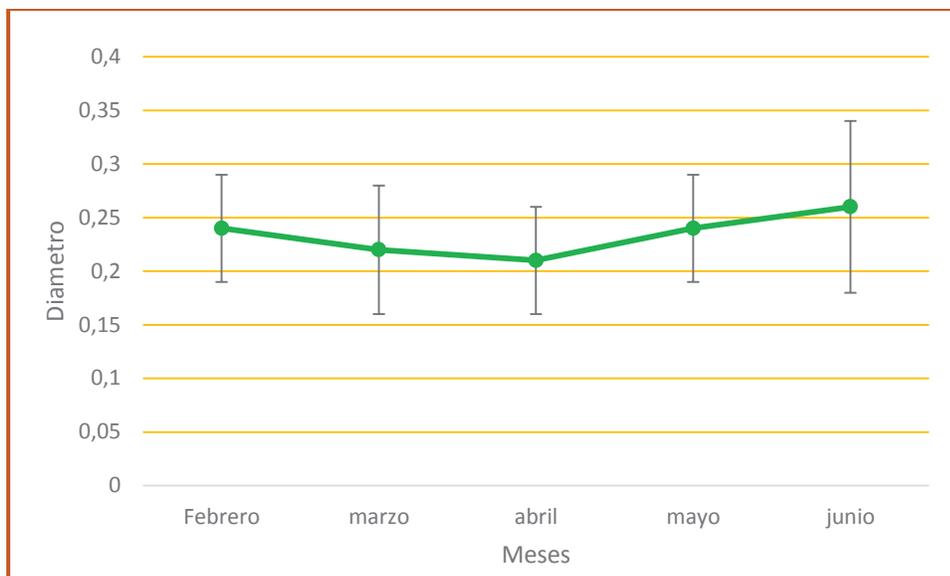


Figura 13: Diámetro promedio de *P. devoniana*.

Sandoval (2010), reporta una altura promedio para *P.hartwegii* a los 5 meses de 7.9 cm y un diámetro del tallo de 3.38 mm, datos superiores a los que se reportan en este trabajo; pues en *P. pseudostrobus*, también a los 5 meses, se observó una altura promedio menor a los 5 cm y un diámetro menor a los 2 mm y las plantas de *P. devoniana* mostraron una altura promedio de 4 cm y un diámetro menor a 2.5 mm, lo anterior indica que estas dos especies tienen un crecimiento más lento que *P.hartwegii*. *P. pseudostrobus*. En el presente estudio *P. devoniana* tuvo un incremento considerable en la altura en el octavo mes, fenómeno reportado también por el mismo autor en *P. hartwegii*.

La sobrevivencia presentada fue de 32% para *P.devoniana* y de 35% para *P. pseudostrobus*. Mexal y Landis (1990), indican que con diámetros entre 5 y 6 cm es posible lograr tasas de supervivencia superiores al 80 %, por lo que se podría decir que la poca sobrevivencia que se tuvo es debido a los diámetros que mostraron nuestras especies. Se ha encontrado que un mayor diámetro indica mayor transporte de agua y nutrientes, también un tallo más lignificado y grueso indica que es más

resistente a daños por temperaturas altas (Prieto *et al.*, 1990). Probablemente la muerte de plantas de ambas especie se debió a un riego inadecuado.

Descripción de las especies

***PINUS PSEUDOSTROBUS* A LOS 6 MESES**

Planta con una altura hasta la presencia de las primeras hojas de 3.08 cm, altura total de 10.44 cm, diámetro del tallo 0.16 cm, ancho 7.09 cm, largo de la raíz 14.38 cm, largo de las hojas 3.15 cm, aun no presenta vainas por lo que no se pueden contar las hojas por fascículo, sus hojas son de color verde claro, tallo de color café claro.

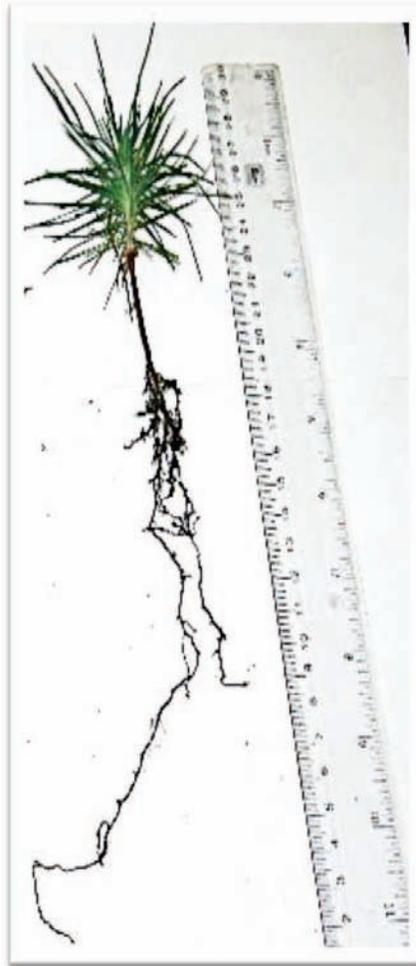


Figura 14: Imagen de *P.pseudotrobus* a los 6 meses de edad.

***PINUS DEVONIANA* DESCRIPCIÓN A LOS 6 MESES**

- Planta con una altura hasta la presencia de las primeras hojas de 5.38 cm, altura total de 9.38 cm, diámetro del tallo 0.66 cm, ancho 6.22 cm, raíz fibrosa de 13.76 cm de largo, hojas con 3.1 cm de largo, aun no presenta vainas por lo que no se pueden contar las hojas por fascículo, sus hojas son de color verde claro y aún existen evidencias de las primeras hojas, tallo de color café claro.

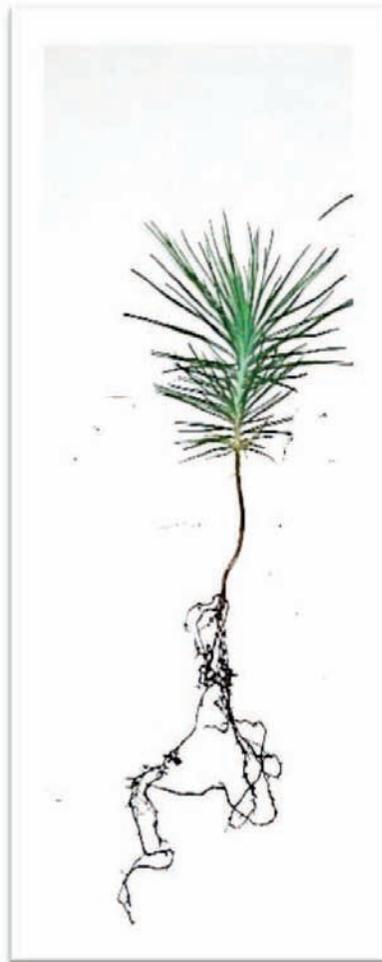


Figura 15: Imagen de *P.devoniana* a los 6 meses de edad

***PINUS PSEUDOSTROBUS* A LOS 12 MESES**

Planta con una altura hasta la presencia de las primeras hojas de 5.63 cm, altura total de 25.75 cm, ancho 19 cm, raíz fibrosa de 32 cm de largo, hojas con 25.89 cm de largo, presentando en promedio 5 hojas por fascículo, tallo de color café claro, ya no se observa la presencia de cotiledones.



Figura 16: Imagen de *P.pseudostrobus* a los 12 meses de edad

***PINUS DEVONIANA* DESCRIPCIÓN A LOS 12 MESES**

Planta con una altura hasta las primeras hojas de 4 cm y una altura total de 22.65 cm, raíz fibrosa de 34 cm de largo, hojas con 27.48 cm de largo; y sus fascículos son caedizos, 4 a 5 hojas por fascículo. Hojas nuevas de color verde claro con una longitud promedio de 5.68 cm, no presenta cotiledones, tallo de color café claro.



Figura 17: Imagen de *P.devoniana* a los 12 meses de edad

CONCLUSIONES

- Las muestras de biosólidos, mostraron amplias diferencias entre los valores de los elementos analizados, por lo que es recomendable que los efluentes sean sometidos a un tratamiento de estabilización.
- Ambas muestras (biosólidos) presentaron características fisicoquímicas que las hacen potencialmente útiles en el diseño de sustratos con fines forestales.
- *Pinus pseudostrobus* presentó mejor capacidad germinativa que *P. devoniana*.
- La viabilidad después de un periodo de estratificación disminuyó la calidad germinativa en las dos especies.
- Ambas especies mostraron un mayor aumento en altura, cobertura y diámetro del tallo en el mes de junio.
- *Pinus pseudostrobus* mostró mayor porcentaje de semillas germinadas en el tratamiento del 5 % con el uso de biosólidos.
- *Pinus devoniana* presentó mayor porcentaje de semillas germinadas en el tratamiento del 10 % con el uso de biosólidos.
- Se obtuvo información que puede ser una referencia en el estudio del crecimiento de especies de *Pinus*, utilizando sustratos con biosólidos obtenidos de la planta piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos que se funcionará en la CUSI Almaraz de la Fes Iztacala.

LITERATURA CITADA

- Aparicio, A. 1999. Efecto De Seis Sustratos Sobre La Germinación De *Pinus patula* SCH. ET. CHAM. *Pinus Moctezumae* LAMB. *Pinus pseudostrobus* LINDL. En condiciones de vivero. Foresta veracruzana. Vol. 1. Numero. 002. Universidad Veracruzana, Xalapa México. Pp.31-34.
- Ayala, S. y Valdez. A. 2006. El polvo de coco como sustrato alternativo para la producción de plantas ornamentales para trasplante. Universidad Autónoma de Chapingo. Edo de Mex. México.
- Bewley, J. D. y M. Black. 1994. Seeds physiology of development and germination. Segunda edición. Plenum Press, New York, Estados Unidos.
- Camacho, M y Morales V. 1992. Métodos para el análisis del efecto de la germinación. INIFAP. Campo experimental Coyoacán, 282-290 p.
- Cruz, C. 2012. Efecto de las mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento del tomate. Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit. Revista Mexicana de Ciencias. Agrícola.Vol.3.Num. 7.p1361-1373.
- Cruz. J. 2010. Germinación de ocho especies de la familia Fabaceae, bajo diferentes regímenes de temperatura. Tesis. Lic. Zaragoza. UNAM. México.
- Earle, J. C. 2007. Gymnosperm Data-Base. www.conifers.org/index.htm. Fecha de actualización 13 de junio del 2006.
- Farjon, A. 2003. The reamaining diversity of coníferas. Acta Horticultura. 615: 78-89.
- Flores, M. 2013. Comportamiento germinativo y crecimiento en vivero de *Pinus maximartinezii* Rzedowski (Pinaceae) Tesis Lic.; Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. México. 79Pp.

- García A. y González M. 2003. Pináceas de Durango. Instituto de Ecología, A.C. Comisión Nacional Forestal. Durango, México. 187 p.
- García F. 2004. "Germinación y establecimiento en condiciones de invernadero de: *Agave lechuguilla* (Torr.), *A. salmiana* Otto & Salm-Dyck var. *salmiana*, *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) M.C. Johnston y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit; de importancia para la comunidad del Dexthí - San Juanico, Ixmiquilpan, Hidalgo. Tesis de Licenciatura UNAM.
- Gil de María C. J. E. 2014. Iconografía de los Pinos del centro de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. Edo. de Mex. México.
- Grajales, J., Monsalve. J., Castaño. M. 2006. Programa De Manejo Integral De Los Lodos Generados En La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales De La Universidad Tecnológica De Pereira. Scientia Et Technica. Vol. XII, núm. 31, agosto, pp. 285-290.
- Hanley, M. E., M. Fenner, H. Whibley y B. Darwill. 2004. Early plant growth: indentifying the end point of the seedling phase. *New Phytologist* 163:61-66.
- Harper, J. L. 1977. Population biology of plant. Academic Press. Inglaterra.
- Hartman, T. H y E. D. 2002. Propagación de las plantas principios y prácticas. Editorial continental. México D. F. 880p.
- Herrera, J y R. Alizaga. 2006. Germinación y crecimiento de la planta, Editorial Universidad de Costa Rica, Villalobos Enrique Rodríguez (edt) 18-41pp.

- Jordan, P.W. y J. C. Nobel. 1979. Infrequent establishment of seedlings of *Agave deserti* (Agavaceae) in the northwestern Sonoran Desert. *American Journal of Botany* 66:1079-1084.
- Karssen C. M. 1981. Environmental conditions and endogenous mechanism involved in secondary Dormancy of Seeds. *Jour. Bot.* 29:45-64.
- Landis, T. D. 1990. Containers. Types and functions. In: Landis, T. D., W. Tinus R., E. McDonald S. and P. Barnett. J. The containers tree Nursery Manual, Volumen 2. *Agric. Handbook.* 674. Washington, D. C. USDA. Forest Service. USA. Pp:1-40.
- Maldonado. K. R; A. Aldrete, J. López, H. Vaquera y V. M. Cetina. 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm. En mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. *Agrociencia.* 45:389:398. Edo. De Mex. México.
- Muñoz, F. 2011. Evaluación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus greggii* Engelm. Con dos densidades de plantación en Michoacán, México. *Redalyc.* Vol.13. Xalapa México. pp. 29-35.
- Muñoz, I. D., C. A. Mendoza., G. F. López., A. A. Soler., M. M. Hernández. 2012. Manual de métodos de análisis del suelo. UNAM. FES-I. México.
- Nobel, P.S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press, New York, Estados Unidos
- Oliveira, S., Wilson J., José. M. 2000. Lodo de Esgoto: en el uso de la agricultura, compostaje, en otros destinos finales. En: *Memorias Curso Internacional de Sistemas Integrados Sostenibles.* Cali: Universidad del Valle, IHE, SIDIAT,
- Pastor N. S. 2000. Utilización de sustratos en vivero. Universidad de Lleida. *Terra* 17 (3):231-235.

- Perry, J. P. 1991. The pines of Mexico and Central América. Timber. Press. Portland, Oregón. 231. p
- Price, R. y Strauss S. 1998. Phylogeny and Systematics of *Pinus*. In. M. D. Richardson (ed). Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press. Cambridge, Uk. pp49-68.
- Prieto, R., Vera C. y E. Merlin B. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto técnico No. 12. Campo experimental Valle de Guadiana . INIFAP. Durango, Mex. 23p.
- Prieto R., García R. Monárrez G. E.2002. Madrid A. Producción de la planta del genero *Pinus*. Folleto técnico No. 50. Campo experimental Valle de Guadiana. INIFAP. Durango, Mex.
- Prieto R. Cornejo O., Domínguez C., Návar C., Marmolejo M. y Jiménez P. 2004b. Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr. Producido en vivero. Invest. Agrar: Sist. Recur. For 13 (3): 443-451.
- Prieto R., Ramírez. G., Cornejo O. 2006.Evaluación de tres tamaños de envases en la producción de *Pinus durangensis* Mart. En vivero. Folleto científico Núm.11. Campo Experimental del Guadiana. INIFAP.
- Rangel, L. S. 2009. Germinación y establecimiento de *Agave potatorum* Zucc. En el valle de Tehuacán: bases ecológicas para la reforestación. Tesis Maestría. UNAM. Morelia. Mich. México.
- Ramírez-Herrera, C., J. J. Vargas-Hernández y J. López-Upton. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta botánica Mexicana. 72: 1-6.

- Reyes, R. 2005. Producción De Plántulas De Pinos *Pseudostrobus* var. *Apulcensis* en sustratos a base de aserrín. Revista Chapingo. Chapingo, México. Vol. 11 Núm. 002. pp 105-110.
- Rojas, L. 2004. Reparación y utilización de composta en hortalizas. Informativo INIA INTIHUASI. Núm. 19. Chile.
- Ruano J. F. 2008. Viveros forestales. . Ed. Mundi-Prensa. España. 2da. ed. 285p.
- Rubio, L. 2006. Estudio ecológico de *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl. y *Quercus Née* (Fagaceae) en Bosques de Encino del Estado de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. Edo. de Mex. México.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa, México.
- Sáenz, J. T, H. J. Muñoz y A. Rueda. 2011. Especies promisorias del clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. Libro técnico Núm. 10. INIFAP. Uruapan, México.
- Sáenz-Romero., C. Snively y L. Cisneros. 2003. Conservation and restoration of pine forest genetic resources in Mexico. *Silvae Genetica* 52:5-6.
- Sandoval, G. 2010. Efecto de los hongos ectomicorizógenos en el crecimiento y supervivencia de plántulas *Pinus hartwegii* Lindl. Y *Abies religiosa* (Kunth Scldl. Et Cham): Un Enfoque Para La Restauración De Ambientes Deteriorados en La Cuenca Del Rio Magdalena D.F. Tesis de Maestría. UNAM.
- Sánchez-G. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques*. Redalyc. UAEM. Xalapa, México 14: 107-120.

- SEDESOL, 1999. Características De Los Residuos. Dirección General De Normatividad Y Apoyo Técnico. Publicación De La Secretaria De Desarrollo Social. México DF, México.
- SEMARNAT, 2002. Guía Para La Presentación De Impacto Ambiental Del Sector Eléctrico. Modalidad. Particular Publicación De La Secretaria Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales. México, DF, México.
- SEMARNAT, 2009. Anuario forestal de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Styles, T. 1998. El género *Pinus*: su panorama en México. *In*: T. P. Ramamorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds). La diversidad biológica de México, orígenes y distribución. Instituto de Biología, UNAM, México. pp. 385-408
- Toledo, V. M., J. Carabias, C. Toledo y C. González-Pacheco. 1993. La producción rural en México: alternativas ecológicas. Fundación universo veintiuno y prensas de ciencias. México. 402 p.
- Water Environment Federation (Estados Unidos). Biosolids Success Stories [online]. WEF, 2000. [Cited: 15 february 2003]. Available from the World Wide Web).
- Zavala, Ch. 1990. Los encinos de México: un recurso desaprovechado. Ciencia y Desarrollo. Vol. XVI (95): 43-51.

ANEXO

Cuadro 11: Medidas promedio en los meses de monitoreo para *P.devoniana*.

Pinus devoniana	Altura (promedio)	Diámetro (promedio)	Cobertura al cuadrado (promedio)
Noviembre	3.99	/	/
Diciembre	3.93	/	/
Enero	4.10	/	/
Febrero	4.43	0.24	25.62
Marzo	3.98	0.22	28.14
Abril	4.21	0.21	39.9
Mayo	4.60	0.24	38.36
Junio	14.9	0.26	155.82

Cuadro 12: Medidas promedio en los meses de monitoreo para *P.pseudostrobus*.

Pinus pseudostrobus	Altura (promedio)	Diámetro (promedio)	Cobertura (promedio)	X
Noviembre	2.61	/	/	
Diciembre	2.65	/	/	
Enero	2.48	/	/	
Febrero	2.74	0.17	16.4	
Marzo	3.52	0.19	17.23	
Abril	3.76	0.19	21.09	
Mayo	4.42	0.21	36.55	
Junio	9.85	0.18	85.56	