



# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

---

**BUAP**

## Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

Evaluación de la composta del residuo del hongo Shiitake en

la producción de *Pinus pseudostrobus*

Lindl. var *pseudostrobus* en vivero.

INSTITUTO DE CIENCIAS (ICUAP)

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**MAESTRO EN MANEJO SOSTENIBLE DE  
AGROECOSISTEMAS**

**Presenta:**

ADRIANA DEL PILAR FLORES FLORES

**Director de Tesis**

**Dr. OMAR ROMERO ARENAS**

**FECHA: NOVIEMBRE 2015**



## **DEDICATORIA**

A Dios; por darme la fortaleza y determinación de continuar cuando más vulnerable me he sentido, por permitirme concretar un logro más en mi vida profesional, por poner en mi camino a cada persona que me ayudo en la elaboración de esta investigación, por todo esto y más, con todo mi corazón te dedico mi trabajo primeramente a ti.

A mi familia; a mi madre por su incondicional apoyo, motivación a seguir adelante y por el amor que en todo momento me has dado, a mi hermana por su apoyo durante mi trayecto y a mis hijas Nataly y Monserrat que me motivan siempre. Las amo con todo mi corazón.

A mis amigas que me han brindado su apoyo en momentos difíciles, por compartir conmigo este trayecto y hacerlo aún más inolvidable.

A mis profesores por compartir su conocimiento, por su paciencia y la confianza que depositaron en mí y en mi trabajo

# Evaluación de la composta del hongo Shiitake en la producción de plántula de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var *pseudostrobus* en vivero.

## INDICE GENERAL

<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	<b>V</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VIII</b>
<b>CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO II. ANTECEDENTES</b> .....	<b>3</b>
2.1 Reforestación. ....	3
2.1.1.    Programas de reforestación en Puebla. ....	4
2.2. Factores que influyen en el éxito de los programas de reforestación o plantaciones forestales..4	
2.2.1 Germoplasma utilizado .....	5
2.2.2 Producción y Manejo de planta en vivero bajo un sistema tecnificado. ....	5
2.2.2.1 Riego .....	6
2.2.2.2 Sustrato utilizado y régimen de fertilización.....	6
2.2.2.3 Control de plagas y enfermedades .....	8
2.2.3 Condiciones ambientales del sitio de plantación .....	9
2.3 Principales especies utilizadas en programas de Reforestación.....	10
2.3.1 Generalidades de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. var <i>pseudostrobus</i> .....	12
2.3.2 Sustratos utilizados en la producción de Plántula forestal.....	13
2.3.3 Sustratos alternativos en la producción de plántula del genero <i>Pinus</i> .....	14
2.4 Producción de hongo shiitake ( <i>Lentinula edodes</i> ). ....	15
<b>CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.</b> .....	<b>16</b>
3.1 Importancia de las plantaciones forestales en la Agroecología .....	16
3.1.1 Impactos ambientales de plantaciones forestales.....	19
3.1.2 Impactos Sociales de plantaciones forestales.....	20
3.2 Características de los sustratos.....	21
3.2.1 Características físicas.....	22
3.2.2 Características químicas.....	22
3.2.3 Características biológicas.....	23

3.3 Calidad de planta forestal.....	24
3.3.1 Evaluación de la calidad de plántula a través de criterios morfológicos y su interacción.....	24
<b>CAPITULO IV. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>27</b>
<b>CAPITULO V. OBJETIVOS E HIPOTESIS.....</b>	<b>28</b>
5.1 Objetivo general.....	28
5.1.1 Objetivos Específicos.....	28
5.1 Hipótesis .....	28
<b>CAPÍTULO VI. METODOLOGÍA .....</b>	<b>29</b>
6.1 Descripción del área de estudio. ....	29
6.2 Elaboración de la Composta de Residuos de hongo Shiitake. ....	29
6.3 Caracterización de la composta de los residuos de la producción de hongo Shiitake.....	30
6.3.1 Caracterización Físicoquímica.....	30
6.3.2 Caracterización Microbiológica.....	30
6.4 Proceso de Evaluación de germinación y desarrollo de plántula de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lind. var. <i>pseudostrobus</i> en tratamientos.....	32
6.4.1 Determinación de capacidad germinativa .....	33
6.4.2 Determinación de calidad de planta.....	34
<b>CAPITULO VII. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>36</b>
7.1 Proceso de Compostaje.....	36
7.2 Caracterización físicoquímica.....	36
7.3 Caracterización microbiológica. ....	41
7.4 Evaluación de la capacidad germinativa.....	46
7.5 Evaluación de calidad de planta.....	48
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>CAPITULO VIII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>CAPITULO IX. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>56</b>
<b>CAPITULO X. ANEXOS.....</b>	<b>71</b>
10.1 Composición del sustrato para la producción de hongo Shiitake.....	71
10.2 Características físicas y químicas de la agrolita y vermiculita.....	72
10.3 Análisis estadísticos.....	73
10.4 Galería fotográfica.....	80

## INDICE DE CUADROS

<b>Figura</b>		<b>Pg.</b>
1	Tipos de vegetación y superficie forestal estimada en México para el 2002 y 2007, así como pérdida de cobertura en este periodo (FAO, 2010) .....	11
2	Características morfológicas deseables para plántulas de <i>Pinus pseudostrabus</i> .....	13
3	Integración y sinergias en agroecosistemas.....	17
4	Impactos ambientales positivos brindados por plantaciones forestales.....	19
5	Impactos sociales positivos aportados por plantaciones forestales.....	20
6	Proporciones de los componentes a probar utilizando composta a base de residuos de la producción de Shiitake como sustituto del Peat Moss.....	33
7	Resultados de la Caracterización fisicoquímica de residuos de la producción de Shiitake ( <i>Lentinula edodes</i> ) composteados.....	38
8	Bacterias identificadas al final del proceso de compostaje.....	42
9	Porcentaje de germinación de semillas de <i>P. pseudostrabus</i> .....	45
10	Comparación de Medias en respuesta a los tratamientos para el crecimiento inicial de <i>Pinus pseudostrabus</i> .....	46
11	Comparación de Medias en respuesta a los tratamientos para el crecimiento inicial de <i>Pinus pseudostrabus</i> .....	52

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Pg.</b>
1	Diluciones para conteo de Unidades formadoras de colonias (UFC).....	31
2	Siembra en el medio no selectivo Infusión Cerebro Corazón (ICC) por cada dilución.....	31
3	Inoculación de 1g en 10 mL de Caldo Nutritivo (CN).....	42
4	Siembra en Infusión Cerebro Corazón ICC.....	42
5	Aislamiento de colonias.....	42
6	Identificación en CHROMagar Orientation.....	42
7	Prueba de tinción de Gram en colonia aislada Gram negativa (100x) .....	44
8	Identificación de género bacteriano mediante CHROMagar, <i>Klebsiella</i> .....	44
9	Prueba de tinción de Gram en colonia aislada Cocus positiva (100x).....	44
10	Identificación de colonia en CHROMagar genero <i>Enterococcus</i> .....	44
11	Prueba de tinción de Gram en colonia aislada Bacilo Negativa (100x).....	45
12	Identificación de colonia en CHROMagar genero <i>Pseudomonae</i> .....	45
13	Prueba de tinción de Gram en colonia aislada Bacilo Negativa (100x).....	45
14	Identificación en CHROMagar, <i>Proteus mirabilis</i> .....	45
15	Porcentajes de germinación al término de 30 días.....	47
16	Comparación de medias de altura .....	49
17	Comparación de medias de altura .....	49
18	Comparación de medias de diámetro.....	50
19	Desarrollo de plántula en tratamiento 1.....	53
20	Desarrollo de plántula en tratamiento 2.....	53
21	Desarrollo de plántula en tratamiento 3.....	54
22	Desarrollo de plántula en tratamiento 4 (testigo).....	54

## RESUMEN

La producción de plántula forestal ha adquirido gran importancia a nivel global debido a la obtención de productos maderables y a los servicios ambientales que aportan las plantaciones forestales. En México cerca del 90% de la producción de planta forestal se realiza bajo un sistema tecnificado, en donde se utilizan turba (Peat Moss) y tierra de monte como sustratos principalmente; sin embargo, los altos costos de la producción forestal, crean la necesidad y búsqueda de sustratos alternativos capaces de producir plántula sana y de buena calidad. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la composta de los residuos de la producción de hongo Shiitake, como sustituto de turba (Peat Moss) para la producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var *pseudostrobus*.

Se comenzó con el proceso de compostaje de los residuos obtenidos de la planta de producción de hongos “Nanacatlan” ubicada en la ciudad de Puebla, Puebla. Una vez alcanzados los tres meses de composteo se procedió a la caracterización física, química y microbiológica de la composta para después establecer el experimento utilizando un diseño experimental completamente al azar, donde se evaluó el efecto de tres mezclas de sustratos a base de composta + agrolita y vermiculita, asignando como tratamiento 1 al compuesto por 80% de composta y 20% de agrolita+vermiculita, tratamiento 2 con 50% de composta y 50% de vermiculita+agrolita y el tratamiento 3 con 33% de composta y 66% de agrolita+vermiculita. El tratamiento testigo fue la mezcla utilizada en el vivero “Flor del Bosque”, lugar donde se estableció el experimento, la cual consta de 33% de Peat moss y 66% de agrolita+vermiculita.

La composta mostro un contenido de N de 4,37%, K de 0,904 %, y P de 0,117%, MO 45.7%, CIC 45.72 meq/g, además, presento una porosidad del 30%, densidad aparente  $< 1,0 \text{ g/cm}^3$  y una retención de humedad al 42.7%. La caracterización microbiológica mostro un contenido total de  $3.6 \times 10^3$  UFC/g, dentro de las cuales se identificaron a los géneros bacterianos *Klebsiella* y *Pseudomonas* (60%), los cuales están asociados al proceso de compostaje y al grupo de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV).

Para determinar la calidad de planta y así establecer el mejor tratamiento se recolectaron y procesaron datos a los seis meses de crecimiento. Se utilizaron el índice de calidad de

Dickson (ICD) y otros parámetros morfológicos como el diámetro del cuello de la raíz, la altura, peso seco radicular, peso seco aéreo, relación parte aérea/raíz (RPA/R) e índice de esbeltez (IE) para establecer la calidad de planta por cada tratamiento. Las diferencias entre los tratamientos se



determinaron a través de un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el paquete estadístico SPSS Statistics versión 17 (Statistical Package for the Social Sciences) y posteriormente una prueba de comparación múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Los resultados muestran que las plántulas desarrolladas en el T3, obtuvieron el valor más alto para el ICD (0.277), seguido por T2 y el testigo (0.255 y 0.245 respectivamente), por último, T1 (0.138). El mejor valor para el índice de esbeltez lo obtuvo el tratamiento testigo seguido por T3, los cuales no mostraron diferencias estadísticamente significativas. Por último para la relación parte área/radicular, el valor más aceptable se obtuvo para T2, seguido por T3, continuando con T testigo y finalmente T1. Por lo anterior se concluye que el mejor tratamiento es T3, ya que permite la obtención de planta sana y de buena calidad, sin embargo, se sabe que la formación del cepellón es sumamente importante para la extracción de la planta fuera de las charolas de siembra, su empaquetado y el traslado hasta el lugar de la plantación, lo cual influye en gran medida en el índice de supervivencia de las plantas, en el caso del T3 se muestra una baja consistencia, ocasionando desmoronamiento del cepellón, por otro lado T2 muestra la formación de un cepellón aceptable. Por esta razón se recomiendan posteriores experimentos para la obtención de una mezcla óptima que no solo permita la obtención de planta de buena calidad sino además un cepellón que permita el transporte de la planta hasta el lugar de plantación.

Palabras claves: sustrato alternativo, *Lentinula edodes*, composta, *Pinus pseudostrobus*

## ABSTRACT

Forestry seedling production has become globally important due to the obtaining of timber products and the environmental services they provide as forest plantations. In Mexico, about 90% of the total production of forest plants is under a modernized system where peat (Peat Moss) and forest soil are mainly used as substrates; however, the high costs of forest production, creates the need and search for alternative substrates capable of promoting healthy and good quality seedling. The objective of this research was to evaluate the waste compost of Shiitake mushroom production as a substitute for peat (Peat Moss) for the production of seedlings of *Pinus pseudostrobus* Lindl. Var *pseudostrobus*

It started with the composting process of residues obtained from the mushroom production plant "Nanacatlán" located in the city of Puebla, Puebla. Once achieved three months of composting we proceeded to the physical, chemical and microbiological characterization of the compost. We continued with the setup of the experiment using a completely randomized experimental design, where it was evaluated the effect of three mixtures of substrates based on compost + agrolita and vermiculite, assigning as treatment 1 the one consisting of 80% compost and 20% perlite + vermiculite, treatment 2 with 50% compost and 50% vermiculita + perlite and treatment 3 with 33% compost and 66% of perlite + vermiculite. The control treatment was the mixture used in the nursery "Flor del Bosque", where the experiment was established, which consists of 33% Peat moss + 66% of vermiculita and perlite.

The compost showed a N content of 4.37%, K 0.904% and 0.117% of P, OM 45.7%, CEC of 45.72 meq / g, in addition, it presented a porosity of 30%, bulk density 1.0 g / cm<sup>3</sup>, and a moisture retention to 42.7%. Microbiological characterization showed a total content of 3.6X 10<sup>4</sup> CFU / g, in which it was identified the bacterial genera *Pseudomonas* and *Klebsiella* (60%), which are associated with the composting process and the group of growth plant promoting bacteria (PGPR).

To determine the quality of plant and establish the best treatment, we collected and processed data within six months of growth. The Dickson quality index (ICD) and other morphological parameters such as diameter of the root collar, height, root dry weight, shoot dry weight, aerial / root part relationship (RPA / R) and slenderness index (IE) were used to determine plant quality for each treatment. Differences between treatments were determined by analysis of variance (ANOVA) using the statistical package SPSS version 17 (Statistical Package for the Social Sciences) and then a test of multiple comparison of Tukey ( $p < 0.05$ ).

The results show that the seedlings developed in T3, had the highest value for the ICD (0.277), followed by T2 and the control (0.255 and 0.245 respectively), and finally the T1 (0.138). The best

value for the slenderness index was gained by the control treatment followed by T3, which showed no statistically significant differences. Finally, for the aerial / root part relationship, the most acceptable value was obtained in T2, followed by T3, continuing with the witness treatment and finally T1.

Therefore it is concluded that the best treatment is T3, allowing the obtainment of healthy and good quality plant, however, it is known that the formation of the root ball is extremely important for the extraction of the plant outside the trays seeding, their packaging and transfer to the place of planting, which greatly influences the survival rate of the plants, in the case of T3, low consistency was shown, causing collapse of the root ball, on the other hand T2 shows the formation of an acceptable rootball. For this reason, we recommended further experiments for the obtainment of the optimum mixture that not only allows to obtain good quality plant also but an acceptable rootball that allows transportation of the plant to the place of plantation.

Key words: alternative substrate, *Lentinula edodes*, compost, *Pinus pseudostrobus*

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de la historia, los bosques han sido uno de los recursos naturales más imprescindibles para el desarrollo del hombre. Los bosques no solamente proporcionan diferentes productos de forma directa como la madera y sus subproductos, sino que han proveído de alimentos a las comunidades que los han habitado (hongos, insectos, frutos, etc). Actualmente y de suma importancia, juegan una pieza importante dentro de los bienes y servicios ambientales (Velázquez *et al.*, 2002).

Una de las actividades antropogénicas más dañinas a este ecosistema es la deforestación. Esta actividad tiene consecuencias que contribuyen al calentamiento global, a la erosión del suelo, a la pérdida de biodiversidad, inundaciones, colmatación y reducción de captación de CO<sub>2</sub> entre otras (Kanninen *et al.*, 2008). Existen diferentes razones por las que se da la pérdida de bosques, entre las más recurrentes se encuentran: el cambio de uso de suelo, la explotación de los recursos maderables y el desmantelamiento para la construcción de infraestructura. Dentro de las mencionadas se considera a la primera como la más dañina ya que no permite la regeneración natural del ecosistema, además de ser la más extensiva (Morant, 2008).

México cuenta con 33.5 millones de hectáreas de bosques, 32.11 millones de hectáreas de selvas, 58.08 millones de hectáreas de zonas áridas y semiáridas, 2.58 millones de hectáreas de vegetación hidrófila, 6.95 millones de hectáreas de vegetación inducida y 12.38 millones de hectáreas de pastizales. Los diferentes ecosistemas con los que cuenta hacen que exista una gran biodiversidad, por lo que México se considera como uno de los 12 países megadiversos. En cuanto a su superficie total (1, 972,550 Km<sup>2</sup>), el 18% pertenece a bosques con pino, encinos, cedros blancos y oyameles (CONABIO 2008; INEGI 2013).

A pesar de la riqueza potencial con la que el territorio mexicano cuenta, la carencia de estrategias efectivas sobre la planeación del aprovechamiento, conservación y restauración de los ecosistemas forestales, ha causado que México sea uno de los países que contribuye más a la deforestación. Anualmente se pierden 500 mil hectáreas de bosques y selvas, lo cual lo coloca en el quinto lugar de deforestación a nivel mundial, Puebla contribuye en este aspecto teniendo una tasa anual de 15,000 ha de deforestación (Céspedes y Moreno 2010; Greenpeace, 2012; INEGI, 2013).

La reforestación es una actividad que se lleva a cabo para mitigar las consecuencias de la pérdida de bosques y selvas, en México se ha llevado a cabo anualmente, sin embargo, los costos de producción de plántula forestal resultan ser muy altos, especialmente cuando se realiza bajo el sistema tecnificado, donde se utiliza Peat Moss como principal sustrato. Por este motivo surge la necesidad de evaluar sustratos, los cuales produzcan plántula sana, de buena calidad y, además, reduzca los costos de producción en vivero (Wightman y Santiago, 2003; Sánchez *et al.*, 2008).

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo caracterizar las propiedades físicas, químicas y biológicas de la composta de los residuos de la producción de hongo Shiitake, para evaluar posteriormente su viabilidad como sustituto del sustrato comercial Peat Moss en la producción de plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var *pseudostrobus* en el vivero de “Flor del Bosque” ubicado en Amozoc de Mota Puebla, México.

## CAPITULO II

### ANTECEDENTES

#### 2.1 Reforestación.

La deforestación es una actividad que ha contribuido al desarrollo de la sociedad mundial obteniendo múltiples beneficios a corto plazo. Durante los siglos pasados esta actividad era promovida constantemente, sin embargo, hoy en día, debido a la presión mundial sobre los ecosistemas que representa la carga poblacional, la deforestación se considera un problema e incluso se ha establecido legislación para la protección de la masa arbórea. En el año 1926 se promulgo la primera ley forestal, la cual tenía por objetivo reglamentar y fomentar la conservación, la restauración y el aprovechamiento de los bosques y los recursos asociados. Sin embargo, su contenido solo se enfocaba en recomendaciones técnicas o sanitarias para el cuidado de los bosques más no en la reglamentación de su aprovechamiento (Banco Mundial, 1995; Challenger y Sobreon, 2008, 1998).

Una creciente población aumento la demanda de tierra y recursos, aunado a ello una legislación carente de contenido contribuyo a que hoy en día México sea uno de los países con amplia deforestación, perdiendo anualmente aproximadamente 500 mil hectáreas de bosques y selvas (Greenpeace, 2012). Ante esta situación, es hasta la mitad del siglo pasado que se le da importancia a las actividades de reforestación, lo cual consiste en el establecimiento de vegetación arbórea en terrenos con aptitud forestal. Al inicio de estas actividades, la reforestación se enfocaba solo en la siembra de árboles, sin embargo, se demostró mediante la experiencia y varios estudios que no era suficiente, por lo que la metodología se ha ido modificando constantemente hasta establecer que la reforestación debía ser planeada de forma integral, considerando desde la obtención de semilla o elección de árboles padres, condiciones ambientales de la zona a reforestar, actividades de mantenimiento post siembra, entre otras (Navarro *et al.*, 2006).

Desde su nacimiento, en el 2001, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) se ha preocupado por el restablecimiento de áreas arbóreas en donde los ecosistemas han sido desmontados y se ha enfrentado al gran reto de ser la primera institución pública encargada de promover programas públicos para fortalecer el sector forestal a nivel federal (INEGI, 2013).

En México, la reforestación ha tomado una gran importancia, ya que permite recuperar la superficie en donde la vegetación natural se ha perdido, promoviendo la conservación de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades que se encuentran inmersas en las actividades de reforestación. Por esta razón se creó el Programa Nacional de Reforestación (Pronare) en 1995, con lo cual no se obtienen los resultados esperados y en 2007 se crea el programa Proárbol, ambos se conjuntan y actualmente dependen de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Estos programas han significado un cambio importante en las estrategias de reforestación, dando mayor énfasis al uso de especies nativas y al incremento en la supervivencia de los árboles plantados mediante acciones encaminadas a la protección de los mismos (Wightman *et al.*, 2003).

### **2.1.1. Programas de reforestación en Puebla.**

El estado de Puebla lleva a cabo actividades de reforestación anualmente, en total se cuenta con 33 viveros forestales bajo la supervisión de CONAFOR, los cuales se encargan de la producción de plántula utilizada en actividades de reforestación. Para el 2013, la CONAFOR programó apoyar una superficie de 34 mil ha para la ejecución de acciones de restauración de suelos, reforestación y otras actividades necesarias para la restauración integral. Sin embargo, para finales del mes de junio solo se habían asignado recursos a 9,233 mil ha alcanzado el 27.1 % de la meta anual (CONAFOR, 2013).

Para considerar exitosas las actividades de reforestación se deben de contemplar todas las etapas de este proceso, que van desde la planeación, producción de plántula, establecimiento de la plantación, protección contra incendios y mantenimiento de la plantación. El proceso de producción de plántula es una etapa sumamente importante, ya que la calidad de la misma determinará en gran medida el éxito del proceso de reforestación, así mismo, la calidad de la planta dependerá de los nutrientes brindados por medio del sustrato de crecimiento y las actividades que se realizan durante su desarrollo (Veras, 2010).

### **2.2 Factores que influyen en el éxito de los programas de reforestación o plantaciones forestales.**

Actualmente las plantaciones forestales muestran una supervivencia menor al 50%, por lo que no se pueden considerar exitosos a los programas de reforestación, más de la mitad de los árboles que son plantados no alcanzan la edad adulta. Existen ciertos factores que están relacionados con la

supervivencia de las plantaciones, dentro de los cuales podemos mencionar los siguientes: las condiciones ambientales del sitio de plantación, el manejo que se le otorga a la planta durante su producción, la calidad de la planta y el germoplasma utilizado (South, 2001; INIFAP, 2010).

En algunas especies de coníferas se ha demostrado que los factores que más influyen en la supervivencia de las plantas son las condiciones ambientales del sitio de la plantación y el manejo en vivero que se le da a la planta, además se encontró que el crecimiento en campo durante los primeros meses se ve directamente afectado por su manejo en vivero. Es importante reconocer que el manejo que se le da a la planta en vivero determina en gran medida la calidad de la misma, por lo que prácticas como el riego, podas, control de enfermedades y plagas, programa de fertilización y la elección de un sustrato adecuado que permita un desarrollo óptimo inicial deben ser supervisadas (Ortega *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2011).

### **2.2.1 Germoplasma utilizado.**

Una planeación correcta de los programas de reforestación contempla la importancia del germoplasma a utilizar, este debe cumplir con ciertos criterios de calidad y su procedencia debe ser conocida (CONAFOR, 2010). Es importante en primera instancia conocer el lugar que se pretende reforestar ya que de ser posible la mejor práctica será la obtención del germoplasma de lugares cercanos ya que se facilita el proceso de adaptación de la planta. Se elegirán individuos sanos y vigorosos que cumplan con las características deseadas de acuerdo con el objetivo de la reforestación. En caso de no ser posible la obtención del germoplasma en el mismo sitio de plantación, es recomendable utilizar aquellas que se encuentran en bancos semilleros certificados ante CONAFOR eligiendo aquella semilla de procedencia apropiada al sitio y fisiológicamente vigorosa. Además de la importancia que tiene la elección de germoplasma en cuanto a la calidad de la planta, Prieto y López (2006) mencionan que el germoplasma forestal elegido también favorecerá la diversidad genética y la conservación de especies en peligro de extinción.

### **2.2.2 Producción y Manejo de planta en vivero bajo un sistema tecnificado.**

Los métodos de producción de plántula forestal se dividen en dos: plántulas a raíz desnuda y plántulas en contenedor. El primer método las plantas son cultivadas en camas de suelos naturales a cielo abierto, expuestas a las condiciones ambientales mismas del lugar. Posteriormente estas son



cosechadas para su plantación final. El segundo método se realiza mediante la utilización de un sustrato elaborado a partir distintos materiales ya sean orgánicos, inorgánicos o una combinación de ambos, todo bajo condiciones ambientales controladas, donde los factores limitativos pueden ser manipulados. Esta producción inicia con la germinación en almácigos o con siembra directa en charolas, en caso de utilizar almácigos para la germinación de plántula, es necesario realizar un trasplante en charolas una vez que la planta germine. La siembra directa es el método más utilizado debido a las ventajas que representa al no exponer la raíz de la planta al aire y la luz solar cuando se lleva a cabo el trasplante, sin embargo, el método elegido también dependerá de los objetivos de la plantación y de la especie a utilizar (CIEFAP y CFI, 2010).

La elección correcta del método de producción y las prácticas de manejo establecidas durante el desarrollo inicial de la plántula definirán en gran parte del éxito de la plantación forestal ya que influye en la calidad de la planta. Esta calidad de planta de acuerdo a Prieto *et al.*, (2009) se puede definir como la capacidad que tienen las plantas para adaptarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación, la cual viene dada por las características genéticas del germoplasma utilizado y por el manejo que se le da en vivero, desde la técnica utilizada para su reproducción hasta el método de transporte de la misma al lugar de la plantación (Leyva *et al.*, 2008, FAO, 2010). Una vez elegida la especie y el método de siembra es necesario el establecimiento de las principales técnicas de manejo en vivero:

1. Elección de un régimen de riego.
2. La elección del sustrato óptimo, así como un esquema de fertilización.
3. Tratamiento de plagas y enfermedades.

#### **2.2.2.1 Riego.**

El principal factor promotor del desarrollo de una planta es el agua, desde el proceso de geminación el agua interviene de forma insustituible, ya que solo mediante la imbibición en agua de la semilla esta puede germinar. Posteriormente el régimen adecuado de riego ayudara a mantener un nivel de agua óptimo disponible para la planta, ayudando a la absorción de nutrientes e interviniendo en otros procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la respiración celular y termorregulación foliar (Landis *et al.*, 2000).

El agua presente en el sustrato debe reflejar un balance integrado entre la absorción a través de las raíces y las pérdidas por transpiración del follaje. De no existir un balance se provoca una tensión hídrica en la planta provocando que la planta deje de desarrollarse para la conservación de las reservas nutricionales, esta tensión es controlada mediante el riego durante la etapa de desarrollo inicial, estimulando el crecimiento de la planta (Landis *et al.*, 1995). Una planta forestal permanecerá en vivero de 4 a 8 meses dependiendo de la especie, durante las últimas semanas se incorpora como práctica de manejo la suspensión de riego, sometiendo a la planta a un estrés hídrico lo cual tiene como propósito ir aclimatándola a condiciones carentes de agua, de esta forma el impacto que reciba la planta en el sitio de plantación será menor y tendrá más posibilidades de adaptarse y sobrevivir. El estado del agua en las plantas puede ser descrito en varias formas: contenido de humedad, potencial hídrico y movimiento del agua. Las mediciones más útiles del estado del agua en las plantas, son los dos primeros (Spomer, 1985; Avila *et al.*, 2014).

#### **2.2.2.2 Sustrato utilizado y régimen de fertilización.**

Se entiende por sustrato a aquel material orgánico o inorgánico que se utiliza en forma pura o en mezcla como medio de crecimiento de una planta, siendo sus funciones principales brindar anclaje a las raíces y proporcionar los nutrimentos necesarios para el desarrollo inicial de la planta. Por lo tanto, un buen sustrato no solo debe contar con un balance óptimo de nutrientes sino además con las características físicas que permitan su anclaje, reparación de las raíces y retención de humedad principalmente, aunado a lo dicho, tomando en cuenta que la mezcla utilizada actualmente en la mayoría de los viveros forestales en México, representa casi el 50% del gasto total en la producción de planta forestal, la elección del sustrato se convierte en un paso esencial para la rentabilidad de esta actividad (Mateo *et al.*, 2010).

En México se utilizan diversos materiales para la conformación de sustratos, siendo los más comunes la turba de musgo, perlita, vermiculita, agrolita y tezontle en la producción bajo un sistema tecnificado, mientras que en un sistema tradicional se hace uso de la tierra de monte. Ambos, la turba y la tierra de monte forman la parte orgánica del sustrato siendo su función principal proveer los nutrimentos necesarios, mientras que la agrolita, perlita, tezontle y vermiculita (parte inorgánica del sustrato) dan soporte a la planta, además de fomentar propiedades físicas ideales como la retención de humedad, porosidad entre otras. La proporción de las mezclas que se elijan irán en función a la especie utilizada, es conveniente recordar que no se puede estandarizar un sustrato a

todas las plantas, ya que las necesidades de aire, nutrimentos y agua varían de acuerdo a la especie (Pastor, 2000; Valenzuela *et al.*, 2005; CIEFAP y CFI, 2012).

Probablemente la fertilización es la práctica cultural más importante después del riego y elección de sustrato ya que controla la velocidad de crecimiento en plantas de contenedor en vivero, por lo tanto, es importante el establecimiento de un plan de fertilización. Esta actividad tiene como objetivo proporcionar nutrientes extras a la planta, lo cual ayudará a acelerar su crecimiento, además, le proporcionará una reserva de nutrientes, permitiendo enfrentar condiciones ambientales adversas como la escasez de agua, el frío, competencia con otras plantas e incluso resistir enfermedades y plagas una vez establecida en campo. Las plantaciones que se destinan para la conservación o restauración de ecosistemas deben tener gran cantidad de nutrientes de reserva ya que la cantidad disponible en los sitios de destino puede ser escasa (Landis *et al.*, 1989; Oliet, 1997).

### **2.2.2.3 Control de plagas y enfermedades.**

El control de plagas y enfermedades dentro de un vivero es esencial, por lo que se debe establecer un manejo integral de las mismas, tomando en cuenta la obtención de semilla sana, almacenamiento correcto de la misma, tratamientos para su desinfección, manipulación indicada durante la siembra, desinfección de sustratos (orgánicos) y vigilancia continua durante el desarrollo de la planta. Las enfermedades están divididas en bióticas y abióticas, considerando como causa de las primeras a patógenos como hongos, virus, bacterias, nematodos e insectos (los cuales normalmente dentro de un vivero se considera plaga cuando causan grandes daños reduciendo la rentabilidad de la producción). Se les llama enfermedades abióticas a aquellas que se desarrollan debido cualquier factor ambiental dentro del vivero: agua, temperatura, nutrientes, pH, sales etc. (Jones y Benson, 2001).

Los principales problemas sanitarios que presentan los viveros forestales son los producidos por hongos y a su vez el moho gris (*Botrytis cinerea*) y el damping off (*Pythium*, *Phytophthora*, *Fusarium* y *Rhizoctonia*) en forma conjunta engloban casi las dos terceras partes de los problemas de enfermedades fungosas. El hongo con mayor incidencia en pino es *Fusarium oxysporum*, aunque es posible encontrar a otras especies de este género como *F. quaeductuum*, *F. longipes*, *F. rigidiuscula*, *F. solani*, *F. chlamydosporum*, *F. culmorum*, *F. lateritium* y *F. moniliforme*. Las condiciones en vivero que favorecen la aparición de estas enfermedades son: el uso de sustratos

como tierra de monte donde no se conoce sus características microbiológicas; suelos pesados, con deficiencia de aireación y drenaje; alta humedad en el ambiente y sombra continua durante más de un día (Tovar *et al.*, 2008).

El control de las enfermedades bióticas mencionadas anteriormente, radica en la prevención, se debe contar con prácticas estandarizadas desde la entrada de la semilla al vivero como se mencionó previamente. El sustrato juega un papel importante ya que es el principal medio por donde se infectan las plantas, por lo tanto, estos deben ser previamente desinfectados. Una vez hecha la siembra es recomendable la aplicación de un tratamiento preventivo, el cual puede efectuarse utilizando fungicidas, insecticidas, nematicidas, herbicidas y bactericidas. Sin embargo, es imprescindible capacitar a los trabajadores sobre el procedimiento adecuado ya que pueden derivarse enfermedades, envenenamiento o accidentes en el personal debido a la incorrecta manipulación de los químicos, así mismo, una dosificación errónea puede llegar a causar daño en las plantas e incluso generar resistencia en patógenos. Actualmente es recomendable establecer un control biológico, el cual trata de la utilización de enemigos naturales del patógeno en cuestión. En el caso de la producción del género *Pinus*, se sabe que los hongos afectan de forma importante su producción por lo que un método ideal para evitar el uso de fungicidas es la aplicación de *Trichoderma harzianum* o *T. lignorum* ya que estos hongos son antagonistas de *Fusarium* y otros hongos patógenos de raíz (Reid *et al.*, 2002; Molina *et al.*, 2006).

### **2.2.3 Condiciones ambientales del sitio de plantación.**

El conocimiento de las condiciones climáticas del sitio debe establecerse previo a la producción de planta y elegir la especie más apta para las mismas, incluso, de manera más controlada y efectiva, la semilla a utilizar debe ser recolectada del sitio elegido, ya que de acuerdo a diversos estudios efectuados por Del Campo (2002), la supervivencia inicial de la planta está relacionada directamente con el régimen de precipitación y la adaptabilidad de la planta al sitio. Aunque la precipitación del lugar a reforestar es importante, está demostrado que la influencia de los factores meteorológicos va más allá que simplemente la precipitación, siendo necesario considerar otros factores como la temperatura, humedad relativa o la radiación solar (South *et al.*, 2001).

Las condiciones edáficas del sitio representan otro factor importante para las plantaciones forestales, es mediante el suelo que obtendrán los nutrimentos necesarios para su desarrollo y al igual que un sustrato, este debe contar con características básicas para cumplir con el objetivo de

éxito en la plantación. Si el suelo no cuenta con estas características es muy probable que la plantación fracase (de ahí la importancia de la elección de especie o la elección del sitio). Se pueden establecer actividades de preparación de suelo y cuidado post siembra para asegurar la supervivencia de las plantas. Dentro de las características importantes del suelo se puede mencionar las siguientes: la textura, su profundidad y presencia de nutrientes (Maestre, Bautista y Cortina, 2003; Setterfield, 2002).

Así mismo, otro factor a considerar es la vegetación y fauna presente en el lugar. La competencia por nutrientes, agua y radiación solar se da de manera importante una vez ubicándose en campo, por lo que se debe incorporar la remoción de arvenses como actividad de preparación del suelo y por un periodo continuo post siembra. La micro y macro fauna presente puede llegar a representar un problema si no se les pone atención ya que pueden derivarse enfermedades o plagas que impidan el desarrollo saludable de la planta hasta la fase adulta.

Resumiendo lo anterior descrito la planeación de las actividades de reforestación debe contemplar antes que nada el sitio en donde se llevarán a cabo ya que de esta forma se conocerán las características ambientales del sitio y se podrá elegir correctamente las especies forestales a reproducir en vivero. Utilizar el germoplasma adecuado incrementara las posibilidades de supervivencia de la planta. Por otro lado, las características morfológicas y fisiológicas de la planta también influyen en el éxito de una plantación forestal, por lo que durante su desarrollo inicial se deben establecer prácticas de cuidado y de aclimatación. Aunque previamente se conoce el sitio y en el mejor de los casos se eligieron especies aptas para el mismo, a la hora de iniciar una plantación se debe tomar en cuenta las condiciones climáticas y de suelo que favorezcan su desarrollo; así como las exigencias ecológicas del material a plantar que hasta donde sea posible debe coincidir con las condiciones ambientales del sitio de la plantación. Entre las condiciones ambientales que pueden condicionar el desarrollo de la planta se encuentran las siguientes: características fisicoquímicas de suelo, distribución y cantidad de precipitaciones anuales, energía radiante y la vegetación presente en el sitio (Gonzalez, Barrero, Y Carrasco, 2013).

### **2.3 Principales especies utilizadas en programas de Reforestación.**

México cuenta con una gran diversidad de especies forestales, siendo las especies de pino las que más destacan por su importancia económica. El género *Pinus* cuenta con más de 100 especies en el mundo, de las cuales más del 50% son nativas de México. Debido a las características de estas

especies como su resistencia a las sequías, su alta adaptabilidad y su importancia industrial, los pinos, son los más utilizados en la actividad de reforestación ya sea para conservación o para fines industriales. Las principales especies de pino que podemos encontrar son: *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus durangensis*, *Pinus douglasiana*, *Pinus devoniana*, *Pinus patula*, *Pinus maximinoi*, *Pinus ayacahuite* y *Pinus greggii* (FAO, 2011).

Durante las actividades de reforestación realizadas en el periodo 2008-2012 se emplearon 176 especies vegetales, siendo las más frecuentes: *P. pseudostrobus* (17.5%), *P. cembroides* (7.69) y *P. moctezumae* (6.18). De los 33 viveros forestales con los que cuenta CONAFOR en el estado de Puebla, 23 llevan a cabo la producción de plantas de *Pinus pseudostrobus*, esto debido a la importancia ecológica que tiene esta especie en diferentes zonas del estado (CONAFOR, 2013; Pronatura, 2012).

Por otro lado, las especies utilizadas en actividades de reforestación están relacionadas con la superficie que abarcan de forma natural en el país, por lo tanto, debido a que las áreas forestales están cubiertas principalmente con bosque de coníferas se busca la conservación de las mismas especies a través de su reintroducción a un sistema deforestado. A continuación, se muestra cual fue la superficie forestal total en México para el año 2007 y que especies la cubren (Cuadro 1).

**Cuadro 1:** Tipos de vegetación y superficie forestal estimada en México en 2002 y 2007, así como pérdida de cobertura en este periodo (FAO, 2010).

Tipo de vegetación	Superficie (Mha)		Pérdida	
	2002	2007	Mha	%
Bosque de coníferas	16,468.70	16,442.30	26.50	0.16
Bosque de encino	15,327.50	15,315.40	12.10	0.08
Bosque mesófilo de montaña	1,711.60	1,702.60	9	0.52
Bosque cultivado	0	33	-33	
Selva perennifolia	9,205.90	8,968.40	237.50	2.58
Selva subcaducifolia	4,392.50	4,236.30	156.20	3.56
Selva caducifolia	16,797.30	16,474.60	322.70	1.92
Selva espinosa	1,714.40	1,663.40	50.90	2.97
Vegetación hidrófila	2,585.10	2,577	8.10	0.31
Otros tipos de vegetación	491.90	491	0.92	0.19

Con base en la información previa, se entiende que las coníferas son de gran importancia ecológica y económica en México, por lo que es de esperarse que la mayoría de los estudios sobre ecosistemas forestales, reintroducción de especies, mejoramiento genético entre otros se enfoquen al género *Pinus*.

### **2.3.1 Generalidades de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var *pseudostrobus*.**

Una de las especies más utilizadas en los programas de reforestación es *P. pseudostrobus* Lindl. var. *pseudostrobus*. Esto debido a la importancia del papel que juega dentro de los ecosistemas naturales de México y su importancia económica. Al *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *pseudostrobus*, se le conoce como patingo y mocohtaj (lengua tojolobal), pino ortiguillo, pino blanco, pino triste, ocote, pino canís y pino real (Martínez, 1948; Martínez, 1979). Esta especie es de las que presentan mayor variación geográfica en la República Mexicana y parte de Centroamérica; se cree posible la cruce con las especies del grupo *Montezumae*. Tiene parecido con *P. maximinoi* y *P. douglasiana*, especialmente en sus fascículos y conos, además, se les ha encontrado asociados en diversas ocasiones (Martínez, 1948).

*P. pseudostrobus* Lindl. var. *pseudostrobus* es un árbol siempre verde de 25 a 40 m de altura, de 40 a 80 cm en diámetro normal, fuste recto, presenta buena poda natural con el 30 a 50% de su altura total libre de ramas, moderadamente exigente a la luz y con corteza lisa durante mucho tiempo y en la vejez áspera y agrietada (Martínez, 1948; CATIE, 1997).

Se reporta como originario de México, Guatemala y Honduras; en general en latitudes que van de 14° N a 26° N. En la República Mexicana se localiza en la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y en la Sierra Madre del Sur, Sierra Madre de Chiapas y parte de la Sierra Madre Occidental. Se ha registrado en las siguientes entidades federativas: Jalisco, Colima, Estado de México, Hidalgo, Distrito Federal, Puebla, Guerrero, Morelos, Oaxaca, Coahuila, Chihuahua, Guanajuato, Chiapas, Puebla, Querétaro, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz y Tlaxcala. Puede localizarse desde 2,400 a 2,800 msnm, sin embargo, en México se ha encontrado en laderas de montaña con elevaciones de 1,600 a 3,200 msnm (Martínez, 1948; Eguiluz, 1978; Perry, 1992 y CATIE, 1997).

Los suelos aptos para el desarrollo de la especie son profundos de 1 a 3 m, ácidos, pardos o café amarillento, con una capa de humus de 10-30cm, alto contenido de nitrógeno, bajo contenido de fósforo, medianos contenidos de calcio y potasio, buen drenaje y textura arena migajosa,

características que corresponden al tipo andosol, aunque también se le puede localizar en otros tipos de suelos como regosol, cambisol, acrisol y luvisol y se desarrolla de manera aceptable en suelos con pH neutro a ligeramente ácidos (4.5 a 7.0) (Eguiluz, 1978; CATIE, 1997).

Estudios realizados por García (1996), con *P. pseudostrobus* y *P. douglasiana*, indican que para poder ser consideradas como material dentro de los programas de reforestación, deben contar con las siguientes características: altura de 15-20 cm, un diámetro del cuello de la raíz de 3 a 4 mm, una proporción parte aérea: sistema radical de 1.5-2:1 y una relación de materia seca aérea: materia seca radical de 2:1. Posteriormente, INIFAP (2011), propone las siguientes características como deseables para *Pinus pseudostrobus* a los 8 meses de edad (Cuadro 2.)

**Cuadro 2:** Características morfológicas deseables para plántulas de *Pinus pseudostrobus*.

Altura (cm)	Relación a/d*	Diámetro de collar (mm)	Longitud radical (cm)	Relación raíz/tallo**	No. De raíces laterales***
20-25	32-42	4-6	12-15	0.15-0.5	>10

*Donde:*

- \* Relación altura/diámetro del collar, ambos en mm.
- \*\* Relacionada en peso seco.
- \*\*\* Raíces originadas desde la raíz pivotante y de más de 1 mm de diámetro.

Aunado a lo anteriormente descrito por INIFAP (2011), es preferible la selección de plántulas que cuenten con hojas secundarias y abundante presencia de micorrizas.

### **2.3.2 Sustratos utilizados en la producción de Plántula forestal.**

Existen principalmente dos tipos de materiales orgánicos utilizados para la conformación del sustrato en la producción de plántula bajo el sistema tecnificado; la turba (Peat Moss) y la tierra de monte, ambos en combinación con agrolita y vermiculita (Sanchez *et al.*, 2008). La turba (Peat Moss) es un material altamente utilizado, se forma a partir de la descomposición parcial de las plantas acumuladas bajo el agua en zonas con bajas temperaturas, poca oxigenación y niveles bajos de nutrimentos. Las condiciones ambientales en donde se forme el material condicionara la calidad de turba. Este material es importado por lo que su consumo eleva significativamente los costos de producción, esto se convierte en el principal problema para los productores, así mismo al



considerarse a la turba como un recurso natural no renovable, se han emitido leyes cuyo objetivo es regular su extracción (Ruano, 2003).

Por otro lado, estudios recientes han demostrado que la tierra de monte sola o combinada con diferentes materiales, utilizada para la formación de sustratos, cuenta con la calidad necesaria para la obtención de plántula sana, sin embargo, existen casos en donde se ocupó este material y se generaron altos índices de enfermedad en las plántulas, esto se debió a que la tierra de monte no es un material estéril, pudiendo acarrear con la misma patógenos que impiden el sano crecimiento de la planta. Además, considerando que actualmente la producción de planta forestal se da de forma importante y que continuara en aumento; el uso intensivo de tierra de monte causaría la desmantelación de ecosistemas impactando negativamente el medio ambiente (García, 2001).

### **2.3.3 Sustratos alternativos en la producción de plántula del genero *Pinus*.**

El aserrín es un residuo que se genera a partir del proceso de aserrío de la madera. De acuerdo a Mejía (2007) y Sanchez *et al.* (2008) este material posee características que lo hacen deseable para la preparación de sustratos. La especie de árbol del cual deriva el aserrín influye en la descomposición y asimilación de los nutrimentos presentes en el mismo. Mejía (2007), realizo experimentos estableciendo diferentes tratamientos los cuales consistían de aserrín y una mezcla de peat moss, vermiculita y agrolita (la mezcla de peat moss, vermiculita y agrolita tenía una composición de 60:20:20 respectivamente) en proporciones de aserrín que variaron desde cero a 100% con rangos de 10%. Como resultado obtuvo que la mejor mezcla fue la que contenía 70% de aserrín, incluso supero al tratamiento testigo.

Por otro lado, Sánchez *et al.* (2008) demostraron que al utilizar una mezcla de corteza de pino y aserrín (20% de corteza y 80% de aserrín) se puede obtener un sustrato prometedor para la producción de planta forestal.

Otro residuo que fue caracterizado para su uso como sustrato es la cascara de nuez. Este material es considerado como un residuo sin aprovechamiento. Romero *et al.* (2012) demostraron mediante la evaluación del crecimiento inicial de *Pinus patula* que la composta de la cascara de nuez en combinación con agrolita y vermiculita puede ser utilizada como sustrato para la sustitución paulatina de Peat Moss, ya que se obtuvieron plantas sanas y de buena calidad.

Reyes *et al.* (2005) evaluó el efecto de diferentes mezclas de aserrín y otros materiales sobre el crecimiento inicial de *Pinus pseudostrobus var. apulcensis*. A los siete meses y medio de edad se

evaluaron las características morfológicas de las plantas y se obtuvieron valores más altos en diámetro, altura, peso seco radicular y peso seco aéreo en aquellas que se desarrollaron en el tratamiento con 80% de aserrín. Esto demostró que la turba puede ser sustituida por otro material alternativo reduciendo costos de producción y brindando un valor adicional a los residuos de la industria maderera y otras.

#### **2.4 Producción de hongo Shiitake (*Lentinula edodes*).**

Los hongos comestibles representan una excelente alternativa para el consumo de alimentos sanos, inocuos, altamente benéficos para la salud humana y con propiedades importantes para la industria farmacéutica. La producción de hongos comestibles ha tomado gran importancia a nivel mundial no solo debido a los beneficios que este producto aporta al hombre como alimento, sino también debido a que las metodologías que se utilizan para su producción son rentables, controladas, eficientes en la utilización del agua, adaptables al cambio climático y pueden utilizarse en pequeña o gran escala, por lo que se le considera una cadena agroalimentaria competitiva, con amplia dinámica de crecimiento y que genera grandes beneficios; económicos, sociales y ecológicos. Las especies más cultivadas y comercializadas son los champiñones (*Agaricus*), las setas (*Pleurotus*) y el hongo shiitake (*Lentinula*) (Mayett *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2010).

Actualmente los volúmenes producidos de hongos en México ascienden a más de 62, 374 ton anuales, convirtiéndolo en el mayor productor de Latinoamérica, cuenta con los desarrollos tecnológicos más avanzados logrando generar alrededor de 80.8% de la producción total de esa región. La importancia ecológica de esta actividad económica radica en la utilización y reciclaje de más de 500,000 ton anuales de subproductos agrícolas y forestales. El hongo Shiitake ocupa el tercer lugar en producción para México, por lo que los volúmenes de materia orgánica que se generan a partir de este proceso pueden ser de gran importancia para la elaboración de compostas a las que posteriormente se les puede caracterizar y evaluar como posible sustrato en la producción de planta forestal (Martínez *et al.*, 2007).

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Importancia de las plantaciones forestales en la Agroecología.

Actualmente el hombre enfrenta las consecuencias del uso irracional de los recursos naturales, aunque México es un país megadiverso no está excluido de estas consecuencias, por el contrario, existen procesos crecientes de deforestación, pérdida y degradación de los ecosistemas, generalmente relacionados con los avances de las fronteras agrícola y pecuaria, con una mala o nula gestión de los recursos y el aumento de la pobreza. La huella ecológica es cada vez mayor, especialmente de aquellos países primermundistas en donde el nivel de vida requiere de la extracción masiva de los recursos disponibles. Es claro que la disminución de la calidad y cantidad de los recursos en México ha afectado directamente la calidad de vida de sus habitantes. El problema crece con las relaciones multinacionales que el gobierno establece en donde se permite la satisfacción de la demanda de bienes y servicios de aquellos países en donde ya no se cuentan con gran disponibilidad. Las fronteras delimitadas entre los países solo han abierto más las brechas entre las naciones ricas y pobres, ya que se han hallado formas de explotación afectando a los grupos sociales más vulnerables (Reyes y Marti, 2007; Troll, 2010).

La valorización económica que se le otorga a los bienes naturales ha llegado a formar una nueva conciencia en el hombre, olvidándose del vínculo que existe entre el hombre-naturaleza, donde se depende mutuamente el uno del otro, el hombre no puede continuar desarrollándose a costa de la destrucción de los ecosistemas ya que está llegando al límite de poner en riesgo su propia existencia. Por esta razón el sistema de desarrollo ha demostrado ser insostenible, no se ha logrado un equilibrio entre los aspectos prioritarios para la vida: el bienestar y la conservación de la naturaleza y la igualdad social. Existe una mayor fragilidad y menor resiliencia de los ecosistemas. El progreso de la sociedad debe estar basado en los principios de conservación y restauración de los sistemas naturales, tomando en cuenta el valor ecológico y económico de los recursos naturales, es decir la función biocultural del ecosistema, el vínculo existente entre el hombre y la naturaleza, ya que no se puede ignorar el hecho de que el uso que se ha dado a la misma ha contribuido a la

generación de conocimientos acumulados hasta la fecha, los cuales sirven para la implementación de estrategias que nos permitan continuar su uso pero de manera sostenible (Muñoz, 2004).

La agroecología está definida como una disciplina científica que enfoca el estudio de la agricultura desde una perspectiva ecológica, pretendiendo construir un marco teórico cuyo fin es analizar los procesos agrícolas principalmente, desde una perspectiva holística, donde los ecosistemas agrícolas son considerados la unidad de estudio, además, se incluyen las perspectivas del espacio y del tiempo como también los problemas sociales, económicos y políticos como partícipes activos y pasivos en la configuración y desarrollo de los sistemas agrarios (Altieri y Nicholls, 2013). Mediante este enfoque, la agroecología busca no solo la maximización de la producción del agroecosistema, sino además busca la optimización del sistema total, empleando estrategias para generar equilibrio dentro del mismo, por lo que es necesario el conocimiento de los elementos y procesos clave que regulan el funcionamiento de los agroecosistemas, así mismo, la agroecología retoma un enfoque de ingeniería ecológica, cuidando cada componente del agroecosistema: cultivos, animales, suelo, arboles, etc. de manera que se establezca equilibrio y sinergia entre los mismos, lo cual se manifestara en mejores rendimientos, conservación del ecosistema, beneficios económicos y de salud para el productor, logrando mediante esta forma un uso sustentable de los recursos. Para lograr el cumplimiento de los principios en los que se basa la agroecología (conservación de los recursos, uso limitado de productos tóxicos, manejo adecuado de la biodiversidad, maximización de los beneficios a largo plazo y conexión directa entre agricultores) es necesario la implementación de prácticas y estrategias dentro de las cuales se contemplan las indicadas en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Integración y sinergias en agroecosistemas.

**Niveles de integración y diversificación en agroecosistemas:**

- Mezcla de cultivos anuales (policultivos y rotaciones).
- Incorporación de árboles frutales o forestales (sistemas agroforestales).
- Incorporación de animales (ganado mixto, mezclas cultivo-ganado, etc.).
- Integración de piscicultura (estanques de peces, etc.).
- Incorporación de vegetación de apoyo (abono verde, mulch, plantas medicinales, etc.).
- Incorporación de diversidad genética (multilíneas, mezclas de variedades o razas, etc.)

**Complementariedades en agroecosistemas:**

- Exploración por raíces de diferentes profundidades en el perfil del suelo.
- Utilización diferencial de nutrientes y humedad.
- Utilización diferencial de intensidades de luz y humedad del aire.
- Adaptabilidad diferencial a heterogeneidad edáfica y microclimática.
- Susceptibilidad o tolerancia diferencial a plagas, enfermedades y malezas.

**Sinergias en agroecosistemas:**

- Creación de microclimas favorables o desfavorables.
- Producción de sustancias químicas para estimular componentes deseados y suprimir componentes indeseables (sustancias aleloquímicas, repelentes, etc.).
- Producción y movilización de nutrientes (micorrizas, fijación de nitrógeno, etc.).
- Producción de biomasa para alimento, abono verde o mulch.
- Raíces profundas que recuperan y reciclan nutrientes.
- Provisión de cobertura de suelo para conservación de suelo y agua.
- Promoción de insectos benéficos y antagonistas mediante adición de diversidad y materia orgánica.
- Promoción de biología del suelo por adición de materia orgánica y excreciones radiculares.

(Altieri y Nicholls, 2000).

Aunque la agroecología se enfoca principalmente en los agroecosistemas para la producción de alimentos, no deja a un lado la importancia de los servicios ambientales que estos también brindan; dentro de las estrategias que plantea se encuentran el establecimiento de sistemas agroforestales. Se sabe que los árboles juegan varios papeles importantes tanto en ecosistemas naturales como en agroecosistemas, incluyendo: sombra y rompe-vientos, movilización y reciclaje de nutrientes particularmente desde capas profundas del suelo, secuestro de carbono, hábitat para muchas especies de aves, insectos, pequeños mamíferos y plantas epifitas. Sin embargo, estos beneficios no son lo único que hace importante las plantaciones forestales, está demostrado que el aumento de la producción de alimentos es una consecuencia positiva del aumento en la tasa de productividad de la tierra cultivada. Lo que significa que, al establecer programas efectivos de reforestación o plantaciones forestales dentro de las áreas de cultivo, acarreará consigo al suelo los beneficios

citados y como respuesta, la tasa de productividad de la tierra será mayor, obteniendo finalmente alimentos de mejor calidad y cantidad, lo cual fomenta la estabilidad económica del productor. Aunado a lo anterior, si una plantación logra tener éxito con planta de buena calidad, se podrán obtener productos maderables, asegurando a largo plazo ingresos económicos (Jiménez *et al.*, 2001).

### 3.1.1 Impactos ambientales de plantaciones forestales.

La actividad forestal representa gran importancia a nivel mundial ya que se obtienen múltiples productos directa o indirectamente. La preocupación por la preservación de las áreas boscosas también radica en los servicios ambientales que estas brindan. Dentro de los más importantes encontramos los siguientes (Cuadro 4):

**Cuadro 4:** Impactos ambientales positivos brindados por plantaciones forestales.

<p><b>Reducción de la erosión del suelo y mantenimiento de la fertilidad:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Función del Árbol para el control de la erosión: barreras vivas en terrenos con pendiente pronunciada; protección del suelo por capa de hojarasca (reducción del impacto erosivo de las gotas de lluvia, efecto de la copa y del fuste en la reducción de la velocidad de caída de las gotas de lluvia).</li> <li>• Función del Árbol para el mantenimiento de la fertilidad: fijación biológica de nitrógeno, reciclaje de nutrientes desde las capas más profundas, formación de materia orgánica para el suelo. Barbechos mejorados, SAF con especies fijadoras de nitrógeno.</li> </ul>
<p><b>Mantenimiento de la cantidad y calidad del agua:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aunque el potencial de los SAF para ayudar a asegurar el aprovisionamiento de agua (cantidad y calidad) es la función de servicio menos estudiada, si se conoce que los árboles ejercen su influencia sobre el ciclo del agua a través de la transpiración y retención del agua en el suelo, la reducción del escurrimiento y el aumento de la filtración.</li> </ul>
<p><b>Retención de carbono y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las plantaciones forestales altamente productivas pueden tener una importante función en la retención de carbono en los suelos y en la biomasa de madera (en superficie y subterránea).</li> </ul>

**Mantenimiento y ordenación de la diversidad biológica en el paisaje agrícola:**

- Los árboles pueden desempeñar una función importante en la conservación de la diversidad biológica dentro de los paisajes deforestados y fragmentados suministrando hábitat y recursos para las especies de animales y plantas, manteniendo la conexión del paisaje (y, de tal modo, facilitando el movimiento de animales, semillas y polen), creando las condiciones de vida del paisaje menos difíciles para los habitantes del bosque, reduciendo la frecuencia e intensidad de los incendios, disminuyendo potencialmente los efectos colindantes sobre los fragmentos restantes y aportando zonas de amortiguamiento a las zonas protegidas.

(CATIE, 2001).

**3.1.2 Impactos Sociales de plantaciones forestales.**

La producción y el consumo de productos maderables han ido en aumento a nivel mundial, principalmente aquellos provenientes de plantaciones forestales. En México la producción maderable no alcanza a cubrir su demanda interna, actualmente solo se producen cerca de 3.9 millones de m<sup>3</sup>, cubriendo aproximadamente solo el 33% de la demanda, la cual corresponde a más de 11 millones de m<sup>3</sup>, lo que lo convierte en un país dependiente de importaciones para cubrir esta carencia (Fuentes, García y Hernández, 2006).

Esta situación puede representar una oportunidad para los pequeños productores, si se llega a producir planta de calidad y plantaciones exitosas, no solo se obtendrán beneficios al ambiente sino a las comunidades en donde se establezcan o a aquellos productores que decidan implementar sistemas agroforestales. Los impactos sociales que implica una plantación se resumen en el Cuadro 5.

**Cuadro 5:** Impactos sociales positivos aportados por plantaciones forestales.

<b>Ingreso de dinero en efectivo por:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Empleo (entrada de dinero: sueldo).</li><li>• Venta de producto (entrada de dinero).</li><li>• Sustitución de artículos adquiridos por productos propios (menos gasto de dinero).</li><li>• Intercambio de productos (trueque) (menos gasto de dinero).</li></ul>	<b>Suplemento alimenticio:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Aumento de la cantidad de alimento.</li><li>• Suplemento de alimento durante el año.</li><li>• Alimentación de mejor calidad.</li></ul>
---	--

<p><b>Suplemento de energía:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del suplemento de leña.</li> <li>• Leña de mejor calidad.</li> <li>• Fuentes de leña más convenientes.</li> </ul>	<p><b>Estructuras de refugio:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material de construcción.</li> <li>• Sombra.</li> <li>• Protección contra el viento.</li> <li>• Protección para animales.</li> <li>• Definición de límites.</li> </ul>
<p><b>Ahorros e inversión:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formas nuevas de ahorro e inversión (árboles cultivables, productos arbóreos, huertos, negocios agrícolas, mejoramiento de los pastizales).</li> <li>• Mejores ganancias o seguridad de existencia de ahorros e inversiones.</li> </ul>	<p><b>Materia prima de construcción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del suministro de materiales y aseguramiento futuro.</li> <li>• Nuevos tipos de materiales.</li> </ul>

(Proyecto Manejo Sostenible de los Recursos Naturales MAG – GIZ, 2011).

Los productores que deciden implementar arboles dentro de sus sistemas de cultivo, se ven beneficiados a mediano y largo plazo, ya que las características físicas, químicas y biológicas del suelo que cultivan se ven impactadas de forma positiva y por ende la productividad también mejora. Existen diversos estudios de los años 2005 al 2010 donde se demuestra que los campesinos que optan por sistemas productivos incluyendo árboles, aumentaron sus rendimientos ayudando a la economía familiar. Bajo estos resultados, los campesinos aprecian más la tierra que cultivan dejando de forma paulatina la idea de venderlas y emigrar hacia las grandes urbes (PROYECTO MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES MAG – GIZ, 2011).

### 3.2 Características de los sustratos.

Los sustratos en viveros forman una parte esencial para la producción de planta de calidad. Además de proporcionar las condiciones adecuadas para el óptimo desarrollo de la planta, en la cuestión económica es importante ya que este insumo representa casi el 50 % de los gastos efectuados para el mismo fin. El sustrato puede intervenir en el proceso de nutrición de la planta en el caso de los químicamente activos (turba u orgánicos), los inorgánicos solo intervienen en las características físicas de la mezcla que se decida utilizar (Pastor, 2000). Con base en lo anterior, un viverista debe analizar las características del mejor sustrato de acuerdo a la especie a cultivar. En la caracterización de sustratos se suelen distinguir las propiedades físicas, químicas y biológicas, el conocimiento de lo anterior será de suma importancia ya que de ellas dependerá el manejo adecuado de la fertilización y riego, y, por lo tanto, del éxito del cultivo. No existe un sustrato ideal,



ya que cada combinación depende del tipo de especie, lugar, contenedor, tipo de manejo y duración del cultivo, factores que generaran los requerimientos necesarios (Ansorena, 1994).

### **3.2.1 Características físicas.**

Las características físicas están determinadas por la estructura y granulometría de las partículas, dentro de las más importantes se pueden encontrar: densidad real y aparente, porosidad, aireación, retención de agua y permeabilidad. La densidad real es la relación entre la masa o peso de las partículas y el volumen real que estas ocupan, por su parte la densidad aparente es la relación entre la masa o peso de las partículas (secas o húmedas) y el volumen aparente que estas ocupan. Es importante conocer la densidad aparente, ya que algunas funciones vitales de la planta, como la respiración se ven afectadas por este valor. En un sustrato esos valores no deben sobrepasar  $1 \text{ g/cm}^3$  y en el mejor de los casos será siempre menor a lo mencionado. Las partículas que forman un sustrato tienen diferentes tamaños, mismos que conforman su granulometría, el tamaño y la relación entre los tamaños de las partículas determina el tamaño de los poros entre las mismas, por lo que a veces se intenta correlacionar la granulometría con la porosidad. Por su parte la porosidad es la cuantificación del espacio ocupado por poros en un sustrato y también se denomina espacio entre poros, se expresa como porcentaje respecto al volumen aparente del sustrato. La porosidad es importante ya que representa el espacio libre para la presencia de agua y aire en un sustrato. Finalmente, la permeabilidad es la capacidad que tiene un sustrato para permitir que el agua lo atraviese sin modificar su estructura. Las propiedades físicas de un sustrato son fundamentales para la planta, por lo que antes de llevar a cabo la siembra estas ya deben estar establecidas conforme a la necesidad de cada especie, una vez establecida la siembra, las características físicas no podrán ser modificadas (García *et al.*, 2001).

### **3.2.2 Características químicas.**

Las características químicas se derivan de la composición elemental de los materiales utilizados para el sustrato. Estas propiedades están relacionadas con la nutrición de la planta, la reactividad de un sustrato se plasma en un intercambio de materia entre los sólidos que forman el sustrato y la solución del mismo. Este material será capaz de reaccionar a través del tiempo liberando o absorbiendo nutrientes. Las propiedades químicas pueden ser modificadas a lo largo del desarrollo

de la planta, el ejemplo más común es el uso de fertilizantes. A pesar de lo anterior, es recomendable conocerlas antes de su uso ya que de no cumplir con las características necesarias se incurriría en el uso de insumos innecesarios representando un gasto económico. Entre las características químicas más importantes tenemos las siguientes: pH, contenido de Nitrógeno, contenido de Potasio, contenido de Fosforo, Magnesio, Calcio, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y materia orgánica (MO) (García *et al.*, 2001).

La capacidad de intercambio catiónico es la habilidad que posee el sustrato de absorber e intercambiar cationes, la CIC es la suma de todos los cationes intercambiables, misma que depende del pH. Los materiales muy ácidos o que tienen el complejo de cambio saturado de H<sup>+</sup>, liberan iones H<sup>+</sup> que se intercambian con los iones de la solución. De esta forma en un sustrato conviene mantener un pH neutro y una CIC elevada. La conductividad eléctrica se expresa en dS/m o mmho/cm, y se expresa de una manera aproximada la concentración de sales en la solución del sustrato. La concentración total de sales afecta al potencial osmótico, que está relacionado con la concentración de iones en la fase líquida del sustrato. Röben (2002), establece un valor que oscile entre 2-4 dS/m para un compost de buena calidad.

La capacidad de aportar nutrientes de un sustrato depende de la cantidad de elementos nutritivos que este posea y de la capacidad de intercambio catiónico. En sustratos orgánicos como la turba, la corteza de pino o la tierra de bosque, la cantidad natural de nutrientes asimilables es pequeña por lo que es importante el uso de fertilizantes, mientras que al utilizar sustratos orgánicos provenientes de excrementos animales o residuos urbanos, algunos de los nutrientes pueden presentar niveles elevados de nutrientes esenciales, sin embargo el no llevar a cabo un correcto proceso de compostaje estos materiales pueden contener patógenos que dañen a la planta (Pastor, 2000; Pire y Pereira, 2003).

### **3.2.3 Características biológicas.**

Las características biológicas se refieren a las propiedades dadas por los materiales orgánicos y a las reacciones químicas que se pueden dar entre estos o bien la acción que los microorganismos ejercen sobre el material (Pastor, 2000). Es importante conocer los organismos que habitan el sustrato ya que puede contener patógenos que impidan el crecimiento de la planta, por lo que en la preparación del sustrato se recomienda el uso de tratamientos preventivos, especialmente tratamientos fungicidas. Así mismo, el sustrato puede ser inoculado con organismos benéficos que fomenten el

crecimiento de la planta, como ejemplo tenemos a las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) o aquellos antagonistas de los hongos causantes de enfermedades (Reid, Hausbeck y Kizilkaya, 2002; Molina *et al.*, 2006).

### **3.3 Calidad de planta forestal.**

Dentro de los factores más importantes para el éxito de plantaciones forestales se encuentra la calidad de la planta. Existe una relación directa entre el comportamiento de la planta en campo y su calidad, es decir, su capacidad de soportar las condiciones del sitio y desarrollarse. Dicha calidad se determinada mediante el conocimiento de sus características genéticas, sanitarias, morfológicas y fisiológicas, lamentablemente la importancia que se otorga al empleo de materiales de calidad no suele ser la apropiada, ya sea porque es poco conocida, a veces minusvalorada o, lo que es peor, existe a menudo una idea errónea sobre cuáles son las características funcionales que deben poseer las plántulas para desarrollarse de manera óptima. Dicho caso aplica a los programas de reforestación federales en donde la cantidad de planta producida suele ser más importante que la calidad en sí. La calidad debe ser promovida desde el principio de las actividades de reforestación, la selección de la semilla a plantar debe pasar por ciertos procesos para la determinación de su viabilidad. El manejo que se le dé a la planta durante su desarrollo inicial debe estar encaminado a la obtención de planta de calidad (Wigthman Y Cruz, 2003).

Existen métodos que se aplican para determinar la calidad de planta, dentro de estos métodos se emplean mediciones obtenidas a partir de los atributos morfológicos de la planta: altura, peso seco aéreo, peso seco radicular y diámetro del tallo. A simple vista se puede obtener una idea de las condiciones de la planta, sin embargo, la interacción de estas variables establece de forma más asertiva la calidad que se tiene y por ende su capacidad de adaptarse y desarrollarse en el sitio de plantación (García, 2007).

#### **3.3.1 Evaluación de la calidad de plántula a través de criterios morfológicos y su interacción.**

Las características tanto internas como externas de la planta van a conformar la calidad de la misma. Aquellas características que se pueden observar a simple vista se les conoce como morfológicas y dentro de estas se encuentran las siguientes; la altura, el diámetro y el peso seco de

la parte aérea y radicular de la planta. El conocimiento de solo alguna de las características mencionadas provee una idea no tan precisa sobre el estado de la planta, sin embargo, existen índices establecidos los cuales integran dos a más variables y solo mediante su uso se establece una idea más certera en cuanto a la calidad de la planta y por ende las probabilidades que tiene de sobrevivir una vez establecida en el sitio de plantación. El Índice de robustez es la relación entre la altura de la planta (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (mm), el valor óptimo para este índice será siempre menor a 6, esto indica que el tallo es más grueso lo cual le brinda a la planta una resistencia a la desecación por el viento, es decir, un valor bajo indica que se trata de árboles más bajos y gruesos, aptos para sitios con limitación de humedad, valores superiores a seis indican una planta alta con tallo delgado predisponiéndola a los daños por viento, sequía y helada (Rodríguez, 2008).

La producción de biomasa refleja el desarrollo de la planta en vivero, una planta frondosa obtuvo una cantidad adecuada de nutrimentos y agua, al ser introducida en el terreno de plantación tendrá mayor capacidad fotosintética lo cual representa una ventaja para su supervivencia. Esta producción de biomasa puede ser estimada mediante la relación del peso seco aéreo entre el peso seco radicular. Un valor igual a uno, representa una biomasa aérea igual a la subterránea; si el valor es menor a uno, entonces la biomasa subterránea es mayor que la aérea; al contrario, si el valor es mayor a uno, la biomasa aérea es mayor que la subterránea (Rodríguez, 2008). Una buena relación debe fluctuar entre 1.5 y 2.5 ya que valores mayores indican desproporción y la existencia de un sistema radical insuficiente para proveer de energía a la parte aérea de la planta; el cociente de ésta relación no debe ser mayor a 2.5, particularmente cuando la precipitación es escasa en los sitios de plantación.

Dickson, Leaf y Horsen,(1960), desarrollaron un índice de calidad que permite evaluar de manera más exacta las diferencias morfológicas entre plantas de una muestra y predecir el comportamiento en campo de plántulas de *Picea glauca* y *Pinus strobus*. Este índice es el mejor parámetro para establecer la calidad de planta, ya que integra las relaciones previamente mencionadas y expresa el equilibrio entre la distribución de biomasa y la robustez, evitando seleccionar plantas que a simple vista parezcan sanas y vigorosas, pero que en realidad sean plantas desproporcionadas (García, 2007).

Este índice se obtiene mediante la siguiente operación:

$$\text{Índice de la calidad de Dickson} = \frac{PST}{\frac{A}{D} + \frac{PSA}{PSR}}$$

*Donde:*

PST: Peso Total de la planta (g).

PSA: Peso seco de la parte aérea de la planta (g).

PSR: Peso seco de la parte radical de la planta (g).

A: Altura de la planta (cm).

D: Diámetro de la planta (mm)

## CAPITULO IV

### JUSTIFICACIÓN

La reforestación en México es una actividad forestal de gran importancia para restaurar las áreas deforestadas y degradadas. Sin embargo, los costos de producción de plántula son muy altos, para el año 2013 la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) conto con un presupuesto de 6,937.4 millones de pesos, monto superior en 124.7 millones con respecto a los 6,812.7 millones de pesos aprobados en 2012 (CONAFOR 2013). La mayor preocupación de los productores son los costos que genera la utilización de sustratos importados como lo es la turba (Peat Moss) (Romero *et al.*, 2012).

Por otro lado, la tierra de monte también se utiliza como sustrato, sin embargo, esto contribuye al deterioro de los bosques al eliminar la materia orgánica del suelo. Además, puede contener patógenos que afecten el desarrollo de la plántula (García, 1999).

Actualmente se utilizan otros materiales que provienen de otros procesos productivos y que son considerados como residuos. Uno de los residuos que se pueden aprovechar en la actividad forestal, son los que se derivan de la producción de hongo Shiitake (*Lentinula edodes*), ya que su producción a nivel mundial ha tomado una gran importancia debido a sus múltiples usos en la dieta y la industria farmacéutica (Medina, 2006). A nivel mundial se tiene una producción mayor a 1.5 millones de toneladas anuales de Shiitake (Martínez *et al.*, 2007) y se estima que esta cantidad siga en continuo aumento lo cual implica el incremento en la generación de residuos orgánicos. Sin embargo, no se ha caracterizado la composta de los residuos, por lo tanto, se desconocen sus propiedades y su viabilidad como sustrato.

Puebla cuenta con 3 plantas productoras de hongo, las cuales han registrado un incremento en su demanda en los últimos años, así mismo, la producción de residuos se ha incrementado y no se les da un uso alternativo. Al hacer uso eficiente de este residuo para la sustitución de turba “Peat Moss” se podrán obtener plántulas de calidad a bajos costos de producción.

## CAPITULO V

### OBJETIVOS E HIPOTESIS

#### 5.1 Objetivo general:

Evaluar la composta de los residuos de la producción de hongo Shiitake, como sustituto de turba (Peat Moss) para la producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var *pseudostrobus*.

#### 5.1.1 Objetivos Específicos.

1. Analizar la calidad de composta de los residuos de la producción de hongo Shiitake a partir de una determinación biológica, física y química.
2. Evaluar el porcentaje de germinación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var *pseudostrobus*, en composta Shiitake con diferentes niveles de inclusión (80, 50 y 33% respectivamente) en combinación con sustratos convencionales.
3. Evaluar atributos morfológicos de la planta; altura, diámetro del cuello de la raíz, relación de la parte aérea/raíz, e índices de calidad de Dickson.
4. Determinar costos de producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* Lindl var *pseudostrobus*, de acuerdo a la sustitución del sustrato turba (Peat moss) por la composta de residuos de producción de hongo Shiitake.

#### 5.1 Hipótesis.

La composta de los residuos de la producción de hongo Shiitake, es un sustrato que permite la germinación, el desarrollo inicial y obtención de *Pinus pseudostrobus* Lind var *pseudostrobus* con buena calidad en vivero en un 80% de la producción, reduciendo de una manera significativa los costos de producción.

## CAPÍTULO VI

### METODOLOGÍA

#### 6.1 Descripción del área de estudio.

El proyecto de investigación consta de 3 etapas las cuales se llevaron a cabo en diferentes sitios. La primera etapa consto del proceso de compostaje de los residuos orgánicos obtenidos a partir de la producción de hongo Shiitake. Esta etapa se llevó a cabo en el Departamento de Investigación de Ciencias Agrícolas (DICA) ubicado en Av. San Claudio Esq. 14 Sur núm. 6301 Col. San Manuel, Puebla Pue., y se utilizaron residuos provenientes de la planta de producción de hongos comestibles “Nanacatlan” ubicada en la Col. La Paz, Puebla Pue.

La segunda etapa fue la caracterización física, química y microbiológica de la composta obtenida, las primeras dos se realizaron por parte del Centro Universitario de Vinculación y Transferencia de Tecnología (CUV y TT). La caracterización microbiológica se llevó a cabo en el Centro de Investigaciones Microbiológicas (ICUAP).

Por último, la etapa de evaluación de germinación y desarrollo de la plántula se estableció en el vivero ubicado dentro del parque estatal “Flor del Bosque” el cual se encuentra bajo la supervisión de SEMARNAT ubicado en Carril a San Bartolo S/N. Ex hacienda San Bartolo Flor del Bosque, Colonia Casa Blanca. Amozoc de Mota, Puebla.

#### 6.2 Elaboración de la Composta de Residuos de hongo Shiitake.

El proceso de composteo se realizó en el Centro de Agroecología del Instituto de Ciencias de la BUAP (ICUAP), el cual está ubicado dentro del Municipio de Puebla, sus coordenadas geográficas son: los paralelos  $18^{\circ} 50'42''$  y  $19^{\circ} 13'48''$  de latitud norte, y los meridianos  $98^{\circ} 00'24''$  y  $98^{\circ} 19'42''$  de longitud occidental. El municipio presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (C-w1) con una temperatura media anual entre  $12^{\circ}\text{C}$  y  $18^{\circ}\text{C}$  (INEGI, 2010).

Los sustratos residuales fueron obtenidos de la planta de producción de hongos Comestibles “Nanacatlán” ubicada en la ciudad de Puebla-México. Los residuos se colocaron en un contenedor de plástico negro de 3-x 8 m. Posteriormente se adiciono 1 kg de activador biológico a base de levaduras y actinomicetos disueltos en 10 L de agua, se realizaron 3 riegos por día para mantener la



humedad a 60% a través de movimientos oscilatorios realizados cada semana, se cubrió con plástico de color negro para incrementar la temperatura a 45°C. Al cabo de tres meses y medio se obtuvo un material color oscuro y de olor agradable, el cual fue secado y tamizado (utilizando tamiz de no. 8) para la obtención de un material homogéneo utilizado en la preparación de los tratamientos.

### **6.3 Caracterización de la composta de los residuos de la producción de hongo Shiitake.**

#### **6.3.1 Caracterización Físicoquímica.**

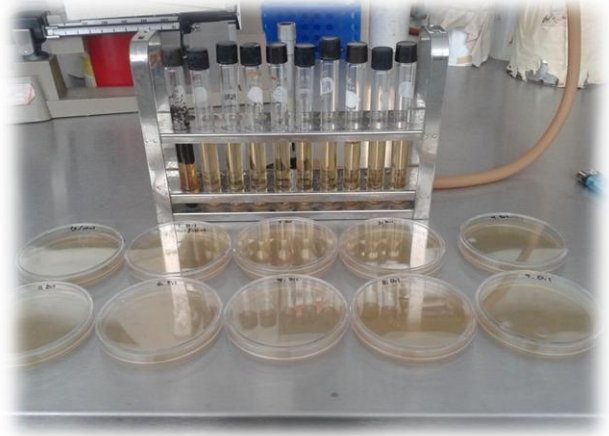
La caracterización Físicoquímica se realizó en el Centro Universitario de Vinculación y Transferencia Tecnológica (CUV y TT), ubicado en la ciudad de Puebla, México. Este centro cuenta con la tecnología adecuada para determinar los parámetros de interés y se fundamentó en la metodología establecida en la norma mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Se tomó una muestra representativa de 1 Kg de composta colocándola en una bolsa de polietileno identificada correctamente e inmediatamente fue llevada al lugar de análisis. Dicha determinación incluyó macronutrientes (N, P, K,) los cuales intervienen en el desarrollo de las plantas, retención de humedad, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, y % de humedad.

#### **6.3.2 Caracterización Microbiológica.**

Los análisis microbiológicos se realizaron en el Centro de Investigaciones Microbiológicas ICUAP de la BUAP. Se utilizó la metodología de dilución en placas petri para establecer un recuento de Unidades Formadoras de Colonias (UFC), el cual se basa en que cada organismo presente desarrollara una colonia visible. Se utilizaron diluciones seriadas con base en 10, tomando 1 g de composta e introduciéndolo en 10 ml de caldo nutritivo contenidos en tubos de ensaye, se mantuvo un movimiento circular por 5 min para después tomar 1 ml de esta primera dilución y verter en el siguiente tubo de ensaye con 9 ml de caldo nutritivo. Se repitió el procedimiento descrito hasta completar las 10 diluciones (Figura 1 y Figura 2).



**Figura 1:** Diluciones para conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC).



**Figura 2:** Siembra en el medio de cultivo no selectivo Infusión Cerebro Corazón (ICC) por cada dilución.

Se dejó reposar las mezclas por 5 min y al cabo de este lapso se tomaron 10  $\mu\text{l}$  de cada disolución colocándolos individualmente en el centro de cajas Petri con el medio de cultivo Infusión Cerebro Corazón (ICC) el cual es un medio no selectivo y permitiría el crecimiento de los diferentes microorganismos presentes.

El procedimiento se realizó por duplicado en tres ocasiones. El conteo de células se efectuó contando las UFC que crecieron en la superficie del medio de cultivo después de un periodo de incubación de 24 h a 37 °C. Posteriormente se transformaron a UFC  $\text{g}^{-1}$  de composta.

A partir de las colonias que se formaron en las cajas Petri se seleccionaron 50 colonias de acuerdo a características morfológicas de las mismas (color, diámetro, superficie rugosa o lisa), tomando colonias diferentes entre sí y totalmente aisladas sin tocar circunferencias con otras. Con un asa bacteriológica se tomó una pequeña muestra de cada una para ser resembrada en otra placa Petri identificada con el número de colonia correspondiente y su fecha de siembra. Después de 24 h de incubación a 37 °C, se supervisó visualmente el crecimiento de la colonia. El procedimiento anteriormente descrito se efectuó en tres ocasiones (cada vez que se realizó un conteo de UFC se seleccionaron colonias), durante el primero se seleccionaran 20 colonias, en el segundo y tercer conteo se seleccionaron 15, completando así un cepario de 50 colonias. De este modo se aseguró tener una muestra representativa de las bacterias presentes en la composta.

Para la identificación de las colonias seleccionadas se llevaron a cabo dos pruebas; tinción de Gram e Identificación con medios cromo genéticos. Durante la prueba de tinción de Gram se usó un asa bacteriana tomando una pequeña muestra de colonia (cepario de 50 colonias) y colocándola en una placa portaobjetos, se dejó secar unos segundos y se le agregó como colorante primario cristal

violeta, el cual tiene afinidad con el peptidoglicano de la pared bacteriana. Se dejó secar 30 s y se le agregó lugol, nuevamente se deja secar 30 s y se le agrega una mezcla de alcohol-acetona, la cual deshidrata la pared bacteriana y cierra los poros de la misma, también destruye la membrana externa de las bacterias Gram negativas debido a que ésta es soluble a la acción de solventes orgánicos, como la mezcla de alcohol-acetona. Las bacterias Gram positivas, al contener una gran cantidad de peptidoglicano, retienen con mayor fuerza este complejo, mientras que las Gram negativas no lo pueden retener por tener menos cantidad de peptidoglicano. Por último, se colocó safranina, la cual funciona como un colorante secundario o de contratinción y sirve para teñir las bacterias que no pudieron retener el complejo cristal violeta-yodo (Beveridge y Graham, 1991; Beveridge, 2001; Breakwell, Moyes y Reynolds, 2009).

Se finalizó la anterior prueba mediante la visualización de cada portaobjetos (conteniendo una colonia) bajo un microscopio electrónico con un acercamiento de 100 veces al ojo humano.

La prueba de identificación por medios cromogénicos se realizó utilizando un asa bacteriana de punta, tomando una muestra de cada colonia e inoculandola por el método de picadura en el medio de cultivo CHROMagar Orientation, mismo que es utilizado para la identificación de bacterias de la familia *Enterobacteriaceae* y *Pseudomonas*. Un medio de cultivo cromogénico es un medio microbiológico adecuado para la incubación, diferenciación o selección de muchos microorganismos ya que detecta enzimas específicas producidas por los microorganismos en estudio dando como resultado un color. Este color será característico de cada microorganismo siendo más fácil y precisa la diferenciación. Después de llevar a cabo la siembra se incubaron por 24 h a 32 °C y finalmente se realizó la lectura de resultados comparando las características obtenidas con el manual de usuario del fabricante (Merlino *et al.*, 1996).

#### **6.4 Proceso de Evaluación de germinación y desarrollo de plántula de *Pinus pseudostrabus***

##### ***Lind. var. pseudostrabus* en tratamientos.**

La última etapa de esta investigación consto de una prueba de capacidad germinativa y determinación de calidad de planta a través de características morfológicas. Esto se llevó a cabo en el vivero ubicado dentro del parque estatal “Flor del Bosque”, el cual se encuentra bajo supervisión de la SEMARNAT ubicado en Amozoc de Mota, Puebla, México. Sus coordenadas geográficas son 19° 00' 00'', 19° 01' 50'' de latitud norte y 98° 20' 35'', 98° 20' 53'' de longitud oeste. Su capacidad de producción de planta es de aproximadamente 50,000 plantas por ciclo, sin embargo,

durante el ciclo de producción 2013-2014 no llegó a esta cifra debido a problemas fitosanitarios y escasez de recursos para la ubicación de la planta. El sitio presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura promedio anual es de 18 °C y la precipitación promedio anual es de 800 mm (Arriola, Batlle y Mendoza, 2012). Se eligió el vivero para llevar a cabo el experimento debido a que es uno de los que produce planta para programas de reforestación, se igualaron las condiciones de manejo lo único que se sustituyó fue la turba por la composta de hongo Shiitake, de este modo se obtendrían datos que mostrarán únicamente el efecto del sustrato y no de condiciones ambientales o de manejo.

#### 6.4.1 Determinación de capacidad germinativa.

Para esta prueba se prepararon 3 tratamientos y un testigo, las proporciones fueron de 80%, 50 % y 33% de composta, siendo la última cantidad igual a la que se utiliza de Peat Moss en la formación del sustrato utilizado en el vivero (Cuadro 6). Previamente a la siembra se preparó la semilla donada por el mismo vivero mediante su colocación en agua durante 72 h, esta práctica se realizó con el fin de apegarse a la misma preparación que el personal le brinda a la semilla.

**Cuadro 6.** Proporciones de los componentes a probar utilizando composta a base de residuos de la producción de Shiitake como sustituto del Peat Moss.

Tratamientos	Componentes para la mezclas en %				Total (%)
	Composta de Shiitake	Peat Moss	Agrolita	Vermiculita	
T1	80		10	10	100
T2	50		25	25	100
T3	33.3		33.3	33.3	100
T4*		33.3	33.3	33.3	100

T4\* = Testigo, mezcla utilizada comúnmente en el vivero forestal de “Flor de Bosque” para la siembra en almacigo.

Utilizando un diseño experimental completamente al azar se llevó a cabo la siembra de forma directa en tubetes, colocándolos en charolas fabricadas de polipropileno con un 30% de fibra de vidrio, cuyas dimensiones son 37,0; 34,0 y 18,4 cm de largo, ancho y alto respectivamente. Cada

charola contiene 49 cavidades y se utilizó un total de dos charolas por cada tratamiento, es decir, 98 tubetes sembrados por cada tratamiento.

Se estableció un periodo máximo de 30 días, considerados suficientes para el proceso de germinación (Sáenz, Muñoz y Rueda, 2011). Los riegos se realizaron cada tercer día; al cabo de este periodo se evaluó el porcentaje de germinación para cada tratamiento, tomando como 100% las 98 repeticiones. El porcentaje de germinación final (CG) según la metodología de Camacho-Morfin (1994), sirvió para determinar las diferencias entre los tratamientos probados. La expresión para obtener la variable a analizar es la siguiente:

$$\text{Capacidad germinativa (CG)} = (\text{Ae} \times 100) / \text{M}$$

*Dónde:*

CG: Capacidad germinativa o Porcentaje de germinación final.

Ae: Germinación acumulada hasta la última evaluación.

M: Muestra evaluada, lo que corresponde al total de semillas sembradas.

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS Statistics versión 17 (Statistical Package for the Social Sciences), llevando a cabo una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis con una significancia al 00.05.

#### **6.4.2 Determinación de calidad de planta.**

Una vez concluida la etapa de determinación de capacidad germinativa, se continuó con el manejo de planta dentro del vivero. Iniciando con el retiro de una plántula en los tubetes donde germinaron ambas semillas. Durante el desarrollo el riego se estableció tres veces a la semana, así como el deshierbe. Es importante mencionar que no se estableció un programa de fertilización por parte del personal del vivero ya que no se contaron con los recursos económicos, por lo que, siguiendo las mismas condiciones, el experimento no aplicó fertilizantes y el desarrollo de la plántula dependió totalmente del sustrato utilizado y del riego.

A los dos meses posterior a la siembra, se presentó la muerte por marchitamiento de aproximadamente 1/8 de las plantas pertenecientes al vivero. En las plantas del experimento no se presentó el problema, sin embargo, para poder concluir la investigación, se implementó como

método preventivo el riego con una solución preparada a partir de cepas de *Trichoderma* spp. Se tomaron 3 cajas Petri inoculadas con *Trichoderma* spp y se colocaron en 15 litros de agua. Se dejó reposar durante 8 h. Se continuó con el riego de forma directa a la planta saturando el tubete. En total se utilizaron tres riegos con el tratamiento descrito anteriormente.

Al cabo de seis meses se seleccionó una muestra totalmente al azar de 20 plántulas por tratamiento. Cada una se extrajo del tubete con mucho cuidado para no dañar las raíces y se colocó en una bandeja de agua para eliminar por completo el sustrato adherido a las raíces. Posteriormente se colocaron de forma individual en bolsas de papel completamente identificadas. Fueron llevadas a laboratorio en donde se midió su peso, el tamaño de raíz (cm), el tamaño de la parte aérea (cm) y el diámetro (mm). Se prosiguió colocándolas nuevamente en la bolsa y en la estufa a 70 °C hasta obtener peso constante.

Nuevamente se tomaron los valores de las variables mencionadas para calcular los valores de índice de calidad de Dickson (ICD), índice de esbeltez (IE) y la relación parte aérea- radicular (A/R). Dichos valores fueron procesados en el paquete estadístico SPSS versión 17 (Statistical Package for the Social Sciences), se realizó un análisis de varianza y posteriormente se efectuaron pruebas de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ) con la finalidad de determinar diferencias significativas entre los tratamientos.

## CAPITULO VII

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 7.1 Proceso de Compostaje.

Durante el periodo de compostaje se vigilaron tres parámetros en donde destaca la variabilidad de la temperatura. El valor más alto se registró durante la tercera semana con un valor de 40°C a medio día. Después de cuatro semanas la temperatura comenzó a disminuir hasta estabilizarse entre los 18-20 °C. Es importante resaltar que la temperatura está estrechamente vinculada con la presencia de distintos microorganismos. Se considera que las temperaturas alcanzadas en general fueron bajas, por lo que la composta solo alcanzo la etapa mesofílica, la cual oscila entre los 10 y 45 °C (Pino, Varnero y Alvarado, 2005).

La composta no logro alcanzar la etapa termofílica, lo cual significa que los microorganismos que lograron proliferar son mesofílicos, los cuales se caracterizan por ser los más eficientes para la descomposición de la materia orgánica. Por otro lado, las temperaturas de 35-40 °C, son consideradas como ideales para la eliminación de microorganismos patógenos (Pierre *et al.*, 2009). Es posible que las temperaturas no se hayan elevado arriba de los 45 °C debido a las condiciones climatológicas de la zona, ya que solo se alcanzó una temperatura máxima de 22 °C durante los meses de composteo.

En cuanto a la humedad y aireación, fue posible controlarlas haciendo riegos y movimientos oscilatorios manuales del material. Esto aseguro un proceso aeróbico y por ende crecimiento de organismos aerobios principalmente y en menor proporción algunas especies facultativas.

#### 7.2 Caracterización fisicoquímica.

Un sustrato óptimo para el crecimiento de plántula deberá contar con ciertas características físicas que faciliten su desarrollo. Es importante la vigilancia de estas, ya que, si desde un principio no son las adecuadas, difícilmente podrán ser modificadas una vez realizada la plantación (Cabrera, 1999; García *et al.*, 2001). Los parámetros que se tomaron en cuenta para la caracterización física son los siguientes: densidad aparente, porosidad, retención de humedad y porcentaje de humedad.

Conociendo estas propiedades, se puede determinar las condiciones de aireación, drenaje, retención de agua y peso húmedo por volumen que presenta la composta. La densidad aparente refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire. Los resultados muestran un valor para la densidad aparente menor a  $1 \text{ g/cm}^3$ , el cual se encuentra dentro de los valores óptimos de un buen sustrato (Handreck y Black, 1994). De forma particular, la densidad aparente de un sustrato es importante en la producción de plántula forestal ya que una densidad alta representa altos costos en el transporte de la plántula a los lugares en donde será sembrada permanentemente (INIFAP, 2010). De acuerdo con Cabrera (1999), los valores para la porosidad no deben ser inferiores al 10%, ya que de ser así la planta no tendría suficiente aireación y más cuando se trata de una siembra en recipientes como el caso de viveros forestales con el uso de tubetes. Además, se señala que el valor óptimo de porosidad de aire está entre el 10% y 20%, en el caso de la composta se tiene un valor del 30%, por lo que se encuentra un poco elevado posiblemente debido al material con el que fue elaborada; 60% de aserrín de encino, 10% de rastrojo de maíz y 28.5% de olote de maíz, los cuales en general son materiales muy porosos.

El porcentaje de humedad y la capacidad de retención de humedad están relacionados con la densidad aparente. Estos valores representan en gran medida la disposición de nutrientes para la planta. La composta mostro valores de 37 y 42.7% respectivamente. La capacidad de retención de humedad se considera un poco baja ya que los valores ideales oscilan entre el 55-70%. Así mismo, la cantidad de agua disponible para la planta se representa mediante el porcentaje de humedad, el cual no debe ser menor al 30%, la composta muestra un 37% de humedad por lo que se encuentra por encima del límite inferior. Es importante recordar que los análisis fueron efectuados solo a la composta por lo que los valores antes mencionados se vieron impactados positivamente cuando se integraron los tratamientos con diferentes grados de inclusión de composta (Cabrera, 1999; Ortega-Martínez *et al.*, 2010). En general, en el cuadro 7 se muestran los valores que se obtuvieron para cada parámetro físico evaluado. Además, se identifican los valores para otras características químicas mencionadas.



**Cuadro 7.** Resultados de la Caracterización fisicoquímica de residuos de la producción de Shiitake (*Lentinula edodes*) composteados.

Parámetro	Unidades	Resultados
Retención de humedad	%	42.7
Humedad	%	37
Densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>	<1,0
Porosidad	%	30
Nitrógeno total	%	4,37
Contenido de materia orgánica	%	45,8
Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g	4572
Conductividad eléctrica	dS/m	13,7
Fósforo total	%	0,117
Potasio total	%	0,904
pH	pH	8,0

\*El método analítico que se utilizó para llevar a cabo la determinación de características físicas y químicas fueron de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 y el método EPA-6010.

\*g/cm<sup>3</sup> = gramos por centímetro cubico, meq/100g= ppm del catión /(peso equivalente x 10), dS/m=decisiemens por metro.

A diferencia de las propiedades físicas, las químicas pueden ser modificadas a lo largo del desarrollo de la planta, el ejemplo más común es el uso de fertilizantes. A pesar de lo anterior, es recomendable conocerlas antes del uso del sustrato ya que de no cumplir con las características necesarias se incurriría en el uso innecesario de insumos representando un gasto económico adicional (García *et al.*, 2001). Así pues, para la presente investigación se realizó la determinación del pH, CE, CIC, N, P, K y contenido de MO, considerando que son factores primordiales durante el desarrollo inicial de plántula forestal. El pH de un suelo o sustrato es un factor importante que interviene en el proceso de crecimiento de todas las plantas en dos sentidos, el primero es en cómo

influye en la capacidad de la planta para la absorción de nutrientes está demostrado que un pH alcalino limita la absorción de boro (B), fosforo (P), manganeso (Mn) y zinc (Zn) principalmente, y que en general el pH ideal es ligeramente ácido, aunque dependerá mucho también de la especie que se está cultivando. Por otro lado, es conveniente mencionar que el proceso de germinación también se ve afectado por el pH ya que este se favorece con un pH de 4.5 a 5.5 en el género *Pinus* (INIFAP, 2010). En el caso de planta forestal producida en contenedor, se tienen diversas opiniones en cuanto a la intervención del pH en la absorción de nutrientes, Gingrich (1984) sostiene que este factor si influye en el proceso de absorción de nutrientes mientras que Whitcomb (1983) menciona que el pH tiene poco efecto en la nutrición siempre y cuando se maneje un buen programa de fertilización. En este sentido Tinus (1980), establece que el pH solo interviene de manera importante cuando se trata de valores extremos, pudiendo dañar a la planta.

El valor que se obtuvo para la composta es ligeramente alcalino con un valor de 8, esto se puede explicar tomando en cuenta al carácter básico del material orgánico con el que se elaboró la composta, ya que se trata principalmente de aserrín de encino y rastrojo de maíz, el cual ya ha sufrido un proceso de degradación. A pesar de tener un pH con carácter alcalino, no se detectaron dificultades durante el proceso de germinación, ya que la semilla germinó antes del periodo establecido como máximo (30 días), además, uno de los tratamientos probados obtuvo mejores resultados en cuanto a calidad de plántula que el tratamiento testigo, lo cual permite establecer al igual que Tinus (1980), que el pH no influyó significativamente en el proceso de nutrición de las plantas ya que no se trata de un valor extremo, y con base en lo expuesto por Whitcomb (1983), si se hubiese aplicado un programa de fertilización, las plantas hubiesen tenido un mejor desarrollo en caso de que el pH haya sido una limitante.

Pérez, Céspedes y Nuñez (2008), reportan un valor promedio de pH de 8.13 para diferentes mezclas de materiales orgánicos y aserrín. Otros autores establecen valores por debajo de 7, sin duda los materiales utilizados para el compostaje y su manejo determinan el valor del pH (Rodríguez *et al.*, 2010).

La determinación de la conductividad eléctrica es una forma indirecta de conocer la concentración de sales presentes. García *et al.* (2001) recomiendan un valor máximo de CE de 3 dS/m para sustratos, por otro lado, Röben (2002), establece un valor que oscile entre 2-4 dS/m para una composta de buena calidad, sin embargo, el valor obtenido para la composta de residuos de Shiitake es de 13,7 dS/m, lo cual rebasa los límites establecidos, mostrando una alta concentración de sales que influye en la presión osmótica presente en las raíces de la planta, pudiendo ocasionar problemas

en cuanto al absorción de agua. Es probable que el valor se elevara debido a la alta concentración de sales del agua utilizada para el riego durante el proceso de composteo, ya que se trata de un proceso que no permitió la infiltración del agua debido al recipiente que se utilizó para su elaboración. Cada riego que se llevó a cabo se concentraba en el material y fue realizado de tal manera que no se generara una acumulación de grandes cantidades de agua, solo la necesaria para mantener la humedad, pero, como ya se mencionó, el agua integrada tenía una alta concentración de sales y al no tener modo de filtrarse, estas sales pudieron quedar en el mismo material composteado.

Tomando en cuenta lo anterior, se esperaba presencia de problemas en el proceso de germinación o durante el desarrollo inicial en vivero, sin embargo, en promedio se obtuvo un 92.1% de germinación en los tres tratamientos probados, lo cual es un valor aceptable ya que se encuentra dentro los valores reportados anteriormente (Aparicio R., Cruz H., y Alba J., 1999). En cuanto al desarrollo inicial, tampoco se manifestaron problemas agudos en promedio de todos los tratamientos permitieron la obtención de planta sana.

A diferencia del proceso de composteo, las charolas de siembra permitían la filtración del agua, además, el agua utilizada para los riegos no contenía grandes cantidades de sales, de tal forma que las que pudieron ser acumulados durante el composteo, probablemente se fueron deslavando por los riegos que se efectuaron durante la prueba de germinación, evitando de esta forma ocasionar algún daño en planta.

Los nutrientes minerales son elementos que las plantas adquieren del suelo o en su caso del sustrato en donde se pretende llevar a cabo el desarrollo inicial de la misma. La presencia o ausencia de ciertos elementos es un punto clave para la obtención de planta de calidad. En el caso de los viveros forestales la nutrición de la planta depende del sustrato elegido y del programa de fertilización en caso de establecer uno. De acuerdo a Landis (1989), se han identificado a 13 elementos como esenciales para la obtención de planta de calidad, 6 macronutrientes (N, P, K, Mg, Ca y S) que son utilizados en grandes cantidades y 7 micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl y Mo) los cuales son requeridos en cantidades muy pequeñas. La presente investigación se enfocó en la determinación de N, P, K ya que dentro de los macronutrientes son los que se requieren en mayor cantidad. Donahue, R., Miller, R. y Shickluna, J. (1981), establecen que la presencia de N es sin duda la más importante para el crecimiento de las plantas, seguida por el fósforo y el potasio en tercer lugar. La literatura menciona un valor ideal para los tres nutrientes mayor al 1% (García *et al.*, 2001). Castillo, Quarín e Iglesias (2000), mencionan un contenido de N entre 0,57-1,25%, P de 0,03% y K 0.11-0,77%, para distintas compostas a base de residuos urbanos y estiércol. En el caso de la

composta de residuos de la producción de café con estiércol, Pierre *et al.* (2009) muestran valores de N 1,44%, P 0,5% y K 0,86%. Los resultados de la presente investigación son de N 4,37%, P 0,117% y K 0,904%. El porcentaje de N es alto debido al aserrín composteado y las reacciones metabólicas por parte de microorganismos. Este nutrimento es crítico en el desarrollo de plántula forestal, por lo que su alto porcentaje representa una ventaja sobre la turba con 0,84% (García *et al.*, 2001).

Los materiales orgánicos, en general presentan una alta capacidad de intercambio catiónico, está, se relaciona con la disponibilidad de nutrientes para las plantas, es decir una alta concentración de nutrientes representa un valor alto en CIC. Los valores mínimos para este parámetro son de 30 meq/100g (Pérez, Pérez y Vertel, 2010; Rodríguez *et al.*, 2010). La composta muestra un valor de 4572 meq/100g, en comparación con los valores reportados por Rodríguez *et al.* (2010) estos resultan ser elevados, lo que asegura un depósito de reserva de nutrientes disponibles y garantiza alta capacidad tampón frente a las fluctuaciones de pH que se puedan dar en el proceso de desarrollo de las plántulas (Zapata *et al.*, 2005).

La cantidad de materia orgánica presente en la composta es de 45.8%, este valor se encuentra dentro de los valores de un buen proceso de composteo (25-70%) (Pierre *et al.*, 2009). Valores reportados por Rodríguez *et al.*, (2010) para la composta de bagazo de agave en combinación con estiércol resultan ser más altos que los de la presente investigación (65%) lo cual puede atribuirse a que los estiércoles poseen grandes cantidades de N, lo cual intensifica la actividad microbiana para la descomposición de la Materia Orgánica (Pierre *et al.*, 2009). En el caso de la composta de aserrín mezclado con estiércol en diferentes proporciones los valores oscilan entre el 46- 57%, lo cual se asemeja a los resultados para esta investigación (Zapata *et al.*, 2005).

### **7.3 Caracterización microbiológica.**

Las condiciones microbiológicas presentes en la composta dependen en gran medida de las condiciones fisicoquímicas de la misma. Los factores que más influyen en el metabolismo microbiano son el pH, la temperatura, oxígeno y humedad, los cuales a su vez dependen del material composteado y del manejo del proceso (Pérez, Pérez y Vertel, 2010). Es de esperarse que se hayan formado grandes cantidades de microorganismo mesofílicos debido a la temperatura que se alcanzó durante el proceso de composteo.

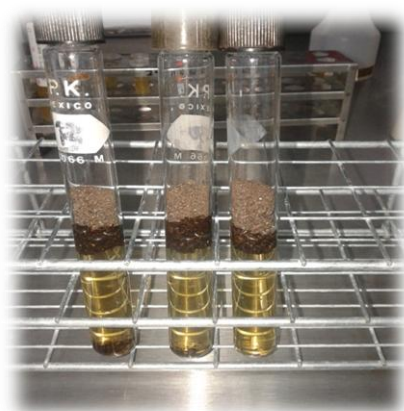
A través de un conteo de unidades formadoras de colonias se logró establecer una cantidad de  $3.6 \times 10^3$  de UFC/g, lo cual, al ser comparado con los valores establecidos por Pérez, Cespedes y Nuñez, (2008) y Pérez, Pérez y Vertel, (2010) quienes exponen valores desde  $4.2 \times 10^3$  UFC/g hasta  $8.6 \times 10^3$  UFC/g, resultan ser ligeramente bajos, hecho que se atribuye al material usado ya que los materiales provenientes de animales contienen una mayor población microbiana.

Para la identificación de diferentes géneros bacterianos presentes en la composta se realizaron dos pruebas al cepario almacenado de 50 colonias, la primera fue la prueba de tinción de Gram y la segunda, la identificación mediante medios cromo-génicos, los resultados se muestran en el Cuadro 8.

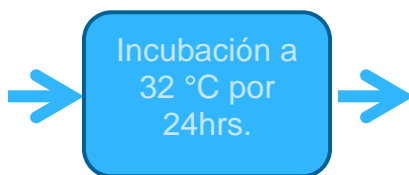
**Cuadro 8:** Bacterias identificadas al final del proceso de compostaje.

Género	No. Total de colonias	% total	Gram +/-
<i>Klebsiella</i>	15	30	-
<i>Pseudomonas</i>	15	30	-
<i>Proteus mirabilis</i>	7	14	-
<i>Citrobacter</i>	6	12	-
<i>Enterococcus</i>	7	14	+

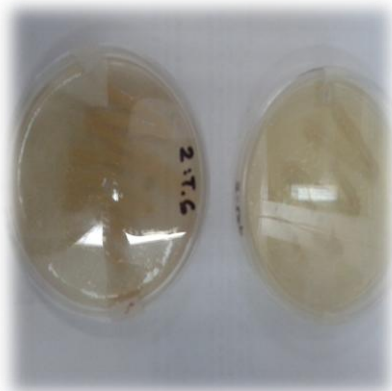
Las siguientes figuras muestran el proceso para la identificación utilizado el medio CHROMagar Orientation.



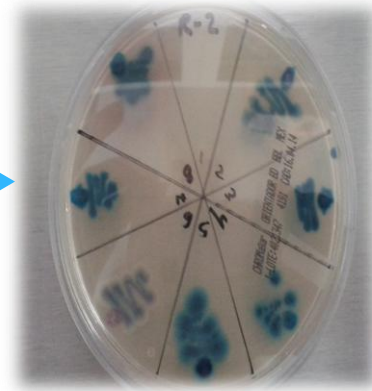
**Figura 3:** Inoculación de 1g en 10mL de medio de cultivo Caldo Nutritivo (CN).



**Figura 4:** Siembra en Infusión Cerebro Corazón ICC.



**Figura 5:** Aislamiento de colonias.



**Figura 6:** Identificación en el medio CHROMagar Orientation.

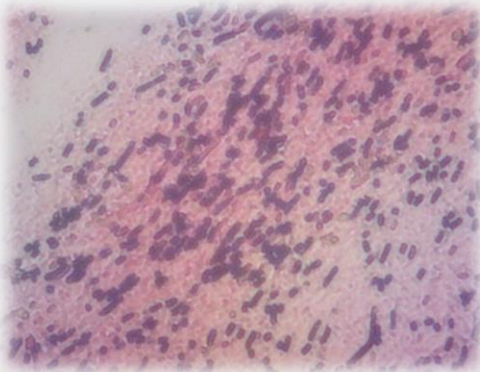
La prueba de tinción de Gram nos muestra en su mayoría bacterias Gram negativas, lo cual concuerda con la base de identificación del proveedor de CHROMagar ya que los resultados obtenidos en esta segunda prueba, muestran en su mayoría la presencia de Enterobacterias, siendo estas Gram negativas. Los principios de la tinción de Gram están basados en las características de la pared celular de las bacterias. Las bacterias Gram negativas poseen una pared celular constituida por una capa fina de peptidoglicano y una membrana celular externa, mientras que las bacterias Gram positivas poseen una pared celular gruesa constituida por peptidoglicano, pero no cuentan con membrana celular externa; de esta forma, la composición química y el contenido de peptidoglicano en la pared celular de las bacterias Gram negativas y Gram positivas explica y determina las características tintoriales. Las positivas dieron un color morado ya que su pared celular tiene un alto contenido de peptidoglicano, lo cual permite la retención del complejo cristal violeta-yodo, mientras que las negativas no lo retuvieron y se tiñeron de rosa al añadir la safranina como colorante secundario (Beveridge y Graham, 1991; Beveridge, 2001; Breakwell, Moyes y Reynolds, 2009).

CHROMagar Orientation, es un medio de cultivo no selectivo, diferencial para la identificación de las bacterias aisladas en una muestra, se basa en el principio que cada especie o grupo de microorganismos producen enzimas características, y este, al estar constituido por peptonas especialmente seleccionadas (las cuales brindan los nutrientes necesarios) y una mezcla de cromógenos mismos que liberan compuestos de colores diferentes al ser degradados por las enzimas características de cada especie, dando como resultado un color y asegurando de esta forma la diferenciación entre especies (Abbott, 2003).

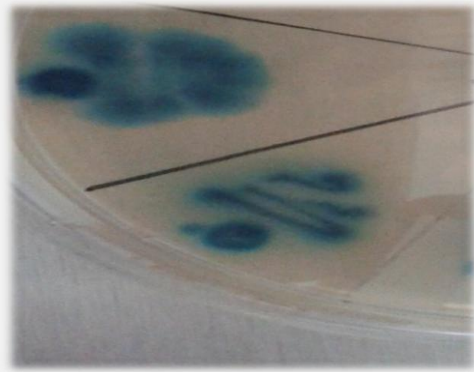
Los resultados de identificación mediante CHROMagar muestran una carga fuerte de bacterias del género *Klebsiella* y *Pseudomonas*, ya que de las 50 cepas identificadas 15 pertenecieron al género *Klebsiella* y 15 al género *Pseudomonas*, a lo cual Toro, Bazó Y López (2008), mencionan que ciertas especies de este género están asociadas al crecimiento vegetal saludable, es decir, forman parte de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV). La prueba de tinción de Gram muestra en su mayoría bacterias Gram negativas lo cual se estableció utilizando un microscopio óptico con una resolución de 100X. Así mismo para la obtención de galería de imágenes y una mejor visualización para la correcta identificación se utilizó una cámara ocular digital USB para laptop en microscopio (Figuras 7-14).

#### Identificación mediante Tinción de Gram

#### Identificación mediante CHROMagar Orientation



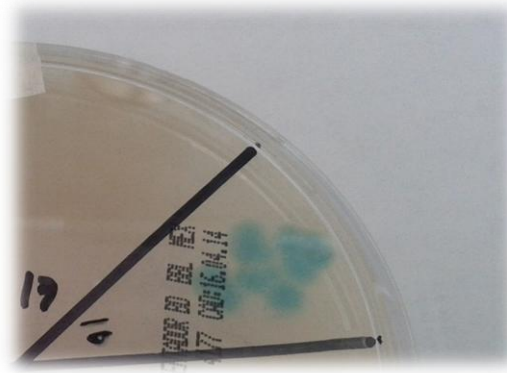
**Figura 7:** Prueba de tinción de Gram en colonia aislada con un acercamiento Gram negativa (100x).



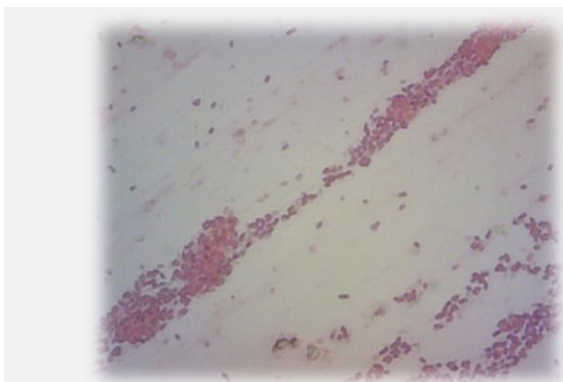
**Figura 8:** Identificación de género bacteriano mediante CHROMagar, *Klebsiella*.



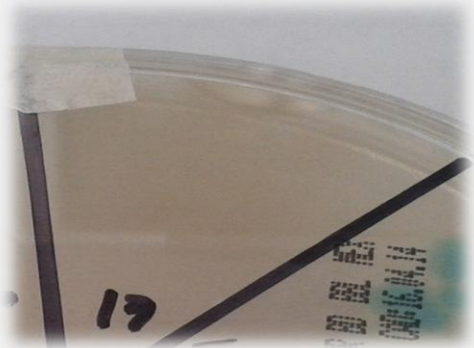
**Figura 9:** Prueba de tinción de Gram en colonia aislada Cocus positiva (100x).



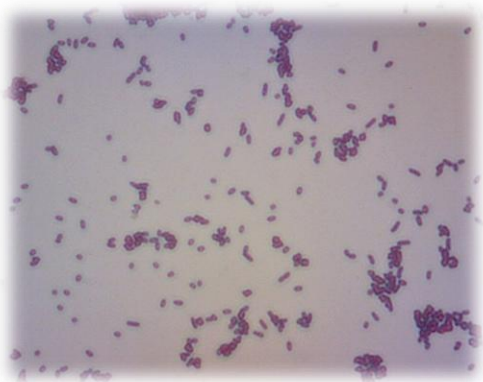
**Figura 10:** Identificación de colonia en CHROMagar genero *Enterococcus*.



**Figura 11:** Prueba de tinción de Gram en colonia aislada Bacilo Negativa (100x)



**Figura 12:** Identificación de colonia en CHROMagar genero *Pseudomonae*.



**Figura 13:** Prueba de tinción de Gram en colonia aislada Bacilo Negativa (100x).



**Figura 14:** Identificación en Chromagar, *Proteus mirabilis*.

De forma conjunta ambas pruebas coincidieron en la identificación de bacterias gram negativas, dentro de las cuales se encuentran los géneros *Klebsiella*, *Pseudomonae*, *Proteus miriabilis* y *Citrobacter*. El Cuadro 9 muestra de forma resumida los resultados obtenidos durante la caracterización microbiológica de la composta.

**Cuadro 9:** Resultados de la caracterización microbiológica de la composta.

Género	No. Total de colonias	% total	Gram +/-	Conteo de UFC/g
<i>Klebsiella</i>	15	30	-	$1.08 \times 10^3$



<i>Pseudomonas</i>	15	30	–	1.08X10 <sup>3</sup>
<i>Proteus mirabilis</i>	7	14	–	0.5X10 <sup>3</sup>
<i>Citrobacter</i>	6	12	–	0.4X10 <sup>3</sup>
<i>Enterococcus</i>	7	14	+	0.5X10 <sup>3</sup>
			<b>Total</b>	<b>3.6x10<sup>3</sup></b>

#### 7.4 Evaluación de la capacidad germinativa.

Al término de 30 días a partir de la fecha de siembra, 01 de abril del 2014, se evaluó el porcentaje de germinación (CG) para cada tratamiento (Cuadro 10), en donde se observó que el tratamiento 3 (50% composta, 25% agrolita y 25% vermiculita) tuvo una mayor capacidad de germinación, seguido por el tratamiento 2 (80% composta, 10% agrolita y 10% vermiculita) por encima del tratamiento testigo. Estos valores concuerdan con los tiempos establecidos por Aparicio R., Cruz H., y Alba J. 1999 (1999) donde se muestra un 80.5 % de germinación de *Pinus pseudostrobus* a los 18 días de siembra.

**Cuadro 10.** Porcentaje de germinación de *Pinus pseudostrobus*.

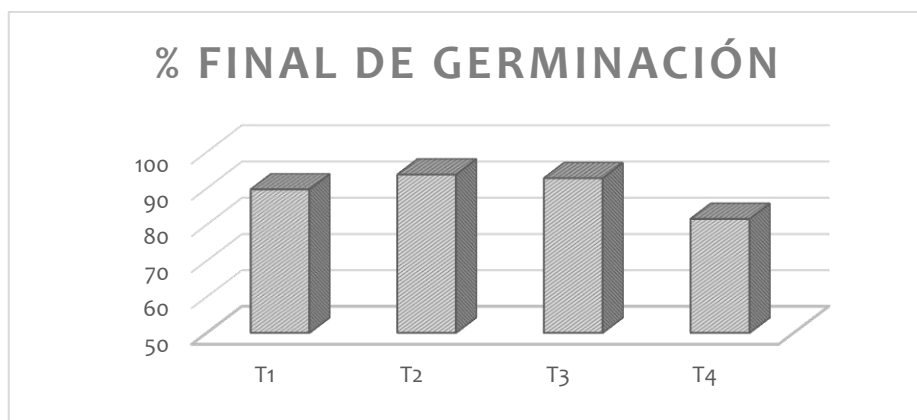
	Capacidad germinativa (CG)	Proporciones de sustrato en %
T1	89.7 c	80-10-10
T2	93.8 a	50-25-25
T3	92.8 b	33-33-33
T4	81.6 d*	33-33-33

T4= testigo (Peat Moss, Vermiculita, Agrolita), T2 = Composta de Shiitake, Vermiculita, Agrolita, T3 = Composta de Shiitake, Vermiculita, Agrolita, T4= Composta de Shiitake, Vermiculita, Agrolita.

\*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas con la prueba no paramétrica de Turkey Kramer (=0,05.)

Se sabe que las propiedades físico-químicas de un sustrato influyen de manera importante en el proceso de germinación, dentro de las principales se encuentra el pH; el género *Pinus* requiere de un pH ligeramente ácido, la porosidad; ya que permite la oxigenación y la retención de humedad; puesto que el agua es el activador del embrión. La germinación es un proceso en donde interactúan factores externos (sustrato, temperatura, humedad, aireación e iluminación) y factores internos de la semilla (viabilidad, latencia), por lo que solo podrá iniciarse cuando estos factores sean óptimos (Noir y Riberi, 1995).

La variación en cuanto al porcentaje de germinación entre los tratamientos sugiere la influencia de las características del sustrato en la planta, especialmente de las características físicas ya que las químicas intervienen de forma directa en la nutrición de la planta, lo cual no se da durante el proceso de germinación. Se pudo observar que el porcentaje más alto de germinación se obtuvo en el tratamiento 2 (Figura 15), mismo que está conformado por 25% agrolita, 25% vermiculita y 50% de composta, tomando en cuenta que el tratamiento 1 contenía 80% de composta, es de esperarse que se compactara en el tubete ocasionando falta de oxigenación y penetración del agua (Niembro y Fierros, 1990). Así mismo, el tratamiento 3 se encontraba muy suelto debido a su composición, lo cual no permitía la retención de agua ocupando el tercer lugar en cuanto a germinación. Los resultados obtenidos para la presente investigación concuerdan con los reportados por el INIFAP en los años 2011, 2012 y 2014.



**Figura 15.** Resultados de germinación a los 30 días.

## 7.5 Evaluación de calidad de planta.

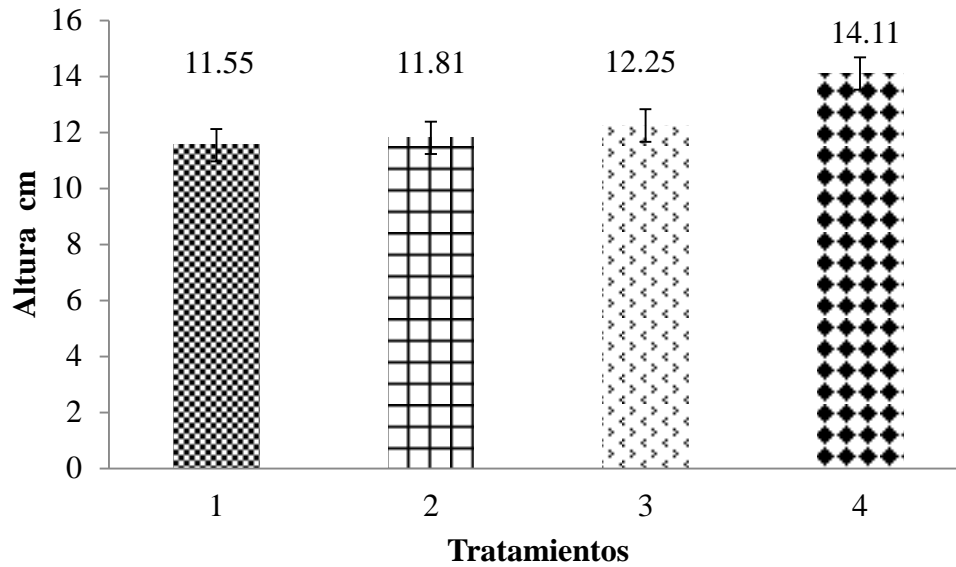
Al término de 6 meses de desarrollo de la planta, se seleccionó completamente al azar una muestra representativa de 20 individuos, a cada uno se le midieron las siguientes variables: diámetro de tallo, altura, peso seco radicular, peso seco aéreo y peso seco total.

Si bien la altura es una variable que a simple vista podemos determinar, no nos proporciona información exacta sobre la calidad de una planta. De acuerdo con Mexal y Landis (1990), la altura durante el desarrollo inicial de la planta es un buen predictor de la altura futura en campo, aunque no lo es para la supervivencia; se considera un indicador insuficiente y es conveniente relacionarlo con otros criterios para que refleje su utilidad real (INIFAP, 2011).

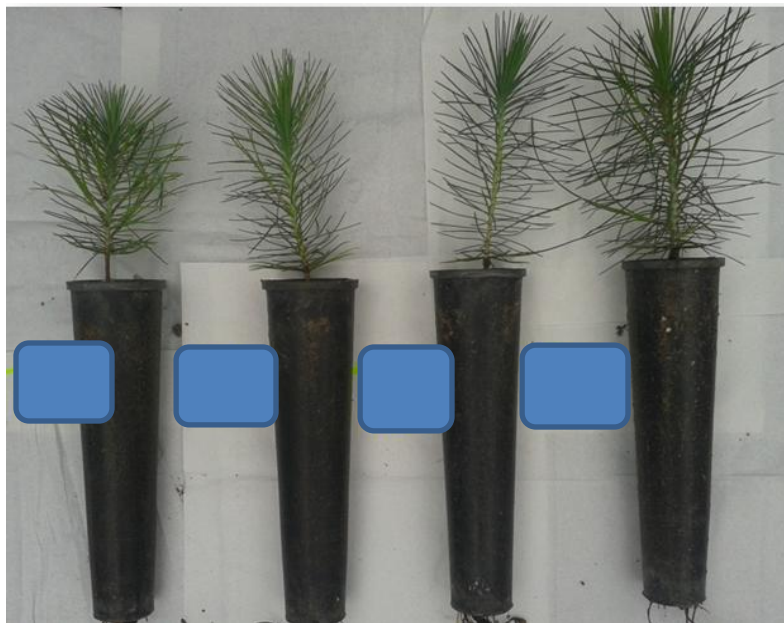
Los datos que se obtuvieron para esta variable son de 11.55 cm en promedio para el tratamiento 1, 11.81 cm para el tratamiento 2, 12.25 en el tratamiento 3 y 14.11 cm del tratamiento 4 (Figura 16; Figura 17). Sáenz *et al.* (2014), obtuvieron una altura media de 27.91 cm para *Pinus pseudostrobus Lindl.* de 9 meses de edad desarrolladas en sustrato convencional, así mismo Reyes *et al.*, (2005) probaron diferentes tratamientos a base de aserrín para la sustitución del sustrato convencional, la planta utilizada fue *P. pseudostrobus var. Alpuценis*. A los 7 meses y medio de desarrollo se llevó a cabo la medición de variables, obteniendo como resultado el mejor valor en altura (18.58 cm) para el tratamiento con 80% aserrín y 20 % Peat Moss,

Por otro lado, Mejía (2007), experimento con diferentes tratamientos a base de aserrín y obtuvo una altura promedio de 28 cm en planta de *P. patula Schl et. Cham*, lo cual fue determinado a los 8 meses de desarrollo.

Los valores obtenidos en la presente investigación para la variable altura son en general bajos en comparación con los estudios mencionados, sin embargo, es importante mencionar que la medida se tomó a los seis meses de desarrollo, es decir en planta más joven. Así mismo, para los estudios reportados se estableció un programa de fertilización, lo cual asegura la disponibilidad de nutrientes que le permitirá a la planta desarrollarse de manera óptima, lo cual no sucedió ya que el manejo se apegó estrictamente al del vivero en donde se estableció el experimento.



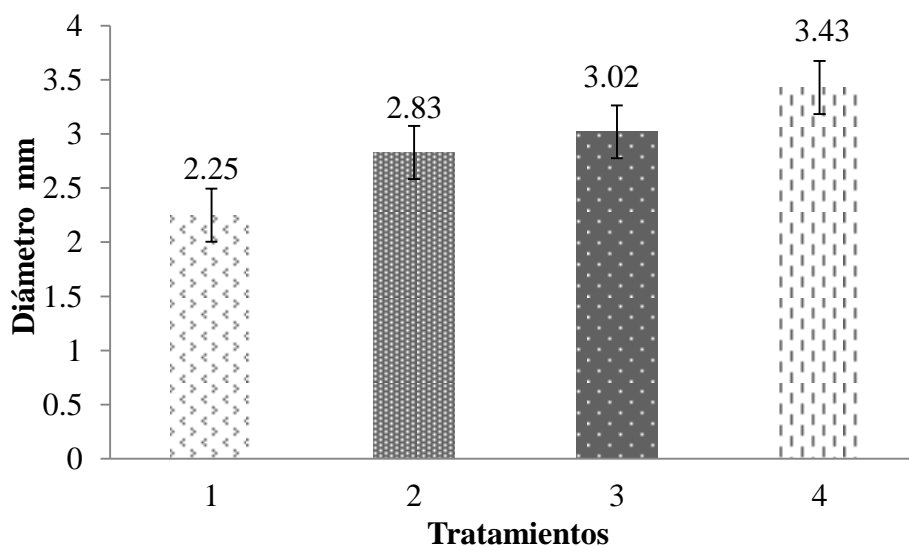
**Figura 16.** Comparación de medias en altura.



**Figura 17.** Visualización de la altura por tratamiento.

El diámetro de una plántula forestal es quizás la variable más importante a evaluar de manera individual ya que está relacionada directamente con la capacidad de supervivencia de la planta. El diámetro define la robustez del tallo por lo que se asocia con el vigor y la supervivencia de la plantación. Se menciona que plantas con diámetro mayor a 5 mm son más resistentes al doblamiento y toleran mejor los daños por plagas y fauna nociva, aunque esto varía de acuerdo a las

especies (Mexal y Landis, 1990). Es importante mencionar que el valor de 5 mm de diámetro se establece para plantas que se han desarrollado en vivero durante 8 meses, lo cual no sucedió en la presente investigación ya que las mediciones se llevaron a cabo a los 6 meses de edad debido al ciclo de producción del vivero, por lo que las plantas desarrolladas en los 4 tratamientos no alcanzaron a sobrepasar los 4 mm de diámetro (Figura 18). Aun con lo mencionado los resultados son similares a los obtenidos por Romero *et al.*, (2012), ya que evaluaron el diámetro en planta de *P. patula* a los 6 meses de edad desarrolladas en un sustrato a base de la cascara de nuez (*Juglans regia* L.). Los valores que obtuvieron van de 2.78 mm a 3.12 mm, mientras que los que se obtuvieron en este experimento van de 2.25 mm a 3.02 en los tratamientos probados. Los valores también se asemejan a los obtenidos por Reyes *et al.*, (2005), mismos que van de 2.43 mm a 3.33 mm haciendo uso de un sustrato alternativo a base de aserrín.



**Figura 18.** Comparación de medias en diámetro.

Como se mencionó previamente, los valores de las variables medidas no nos brindan información acerca de la calidad de planta de manera independiente, por esta razón se establecieron los valores de las relaciones entre las mismas iniciando con la relación parte aérea-radicular. Rodríguez (2008), menciona que la producción de biomasa es importante debido a que refleja el desarrollo de la planta en vivero, es decir si conto con los nutrientes, agua y demás condiciones que le permitieran un óptimo desarrollo inicial. Esta producción se mide con los datos obtenidos de la relación entre el peso seco radicular y el peso seco aéreo. De acuerdo a estudios efectuados, la relación RPA/R no debe sobrepasar un valor de 2 (Domínguez *et al.*, 2001; Mateo *et al.*, 2011), Thompson (1985),

recomienda un valor de 1 a 2.5, sin embargo, es posible establecer que el valor ideal para esta relación es lo más cercano a 1, ya que demuestra que la biomasa aérea es igual a la biomasa radicular, por lo que la transpiración de la planta no sobrepasara su capacidad de absorción de agua. Los tratamientos probados mostraron valores que van desde 2.6-3.6, el T2 obtuvo el más bajo, aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas para este tratamiento y el T3. Sánchez *et al.* (2008) reportan valores de hasta 3.58 en la RPA/R en sustratos con 40 % corteza + 60 % turba y 20 % corteza + 80 % aserrín, para la producción de *P. patula*. Reyes *et al.*, (2005), menciona valores de hasta 2.33 en *P. pseudostrobus var. apulcensis*, producido en un sustrato alternativo.

El índice de esbeltez nos muestra la relación que existe entre la altura de la planta (cm) y el diámetro del tallo (mm) (También conocido como índice de robustez), mismo que refleja la capacidad de la planta para tolerar daños en condiciones medioambientales adversas ya que relaciona la capacidad fotosintética de la planta (altura) con su resistencia (diámetro). El valor indicado para este índice debe ser menor a 6 (INIFAP, 2010). Los valores obtenidos para cada tratamiento se consideran óptimos ya que no sobrepasaron el valor establecido como límite. El mejor valor fue obtenido en el T4, sin embargo, el T2 y T3 también obtuvieron un valor aceptable y no tuvieron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 10). Romero *et al.* (2012) reportan valores de hasta 6.48, mientras que Maldonado *et al.*, (2011) obtuvieron valores en la producción de *Pinus greggii* Engelm que van desde 7.01 hasta 7.71.

Finalmente se calculó el Índice de Calidad de Dickson (ICD) para todos los tratamientos, puesto que ninguna variable podría predecir asertivamente la calidad de una planta de manera aislada, se implementó el ICD, el cual permite evaluar mejor las diferencias morfológicas entre plantas de una muestra y predecir el comportamiento en campo de las mismas. Este índice es el mejor parámetro para indicar la calidad de planta, ya que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, evitando seleccionar plantas desproporcionadas (Reyes *et al.*, 2005; García, 2007). Se han efectuado diferentes experimentos en donde se evalúa el índice de calidad de Dickson a la planta y una vez establecida en campo se evalúa el porcentaje de supervivencia de la misma, de acuerdo a los resultados obtenidos se establece un valor óptimo mayor a 0.2 (Leyva *et al.*, 2008). Los valores obtenidos para las plantas evaluadas en la presente investigación van desde 0.13 hasta 0.277, siendo el T3, el que obtuvo el mejor valor y el T1, el valor más bajo. Esto se atribuye a la densidad aparente de cada tratamiento, ya que el T1 contenía un total de 80% de composta en su composición, lo cual lo cual provoco la compactación del sustrato y no permitió una buena

permeabilidad, aireación y retención de agua, influyendo en el desarrollo no adecuado de la planta. Con respecto a los otros dos tratamientos T2 y T4, estos obtuvieron valores de 0.255 y 0.245 respectivamente, no existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre los 3 (Cuadro 11). Saenz *et al.* (2014) obtuvo valores de 0.43 en el IDC para *P. pseudostrobus* Lindl. producidas en sustrato convencional (mezcla de peat moss con agrolita y vermiculita) a los 9 meses de crecimiento. Romero *et al.* (2012) reporta valores de 0.25 en *P. patula*, mientras que Reyes *et al.* (2005) obtuvo un valor máximo de 0.48 para *P. pseudostrobus* var. *Apulcensis*.

**Cuadro 11:** Comparación de Medias en respuesta a los tratamientos para el crecimiento inicial de *Pinus pseudostrobus*.

Tratamiento	RPA/R	IE	ICD
T1	3,680a	5,618a	0,138b
T2	2,679b	5,280ab	0,255a
T3	3,087ab	4,268bc	0,277a
T4*	3,629a	3,998c	0,245a

\*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas con la prueba de rango múltiple de Turkey Kramer ( $\alpha=0,05$ ).

Los valores en conjunto permitieron establecer como el tratamiento más eficaz al tratamiento 3 ya que obtuvo el valor más alto para ICD, además el valor que obtuvo para el IE fue de 4,268, no mostrando una diferencia estadísticamente significativa hacia el mejor valor obtenido en esta variable, la cual la obtuvo el tratamiento testigo. Aunado a lo anterior, el T3 obtuvo un valor de 3,087 para la relación RPA/R, misma que se acerca al 1 como valor ideal. Finalmente se corrobora que el T2, fue el mejor en cuestión al cepellón formado, su consistencia fue buena a la hora de extracción de planta, mantiene su estructura, lo cual permitirá el traslado de la planta hasta el lugar de plantación conservando las reservas nutritivas y de humedad, y por ende aumentando las posibilidades de supervivencia de planta en campo. No existen estudios en donde se evalúe la sustitución de Peat Moss por composta de residuos de la producción de hongo Shiitake en la producción de planta forestal, sin embargo, de manera general, el sustrato alternativo permitió a la planta tener un desarrollo inicial aceptable (Figura 19, 20 y 21) aun sin establecer un programa de fertilización (lo cual se considera necesario para el desarrollo óptimo de la planta), obteniendo valores adecuados para los índices de evaluación de calidad, mismos que se asimilan a valores

reportados en otras investigaciones. Por tal razón, se puede recomendar el uso de la composta de residuos de hongo Shiitake para la producción de plántula forestal.



**Figura 19.** Desarrollo de plántula en tratamiento 1



**Figura 20.** Desarrollo de plántula en tratamiento 2.





**Figura 21.** Desarrollo de plántula en tratamiento 3.



**Figura 22.** Desarrollo de plántula en tratamiento 4 (testigo)

## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES

1. La composta obtenida a partir de los residuos de la producción del hongo Shiitake cuenta con las características físico-químicas para ser utilizada como sustrato en sustitución del Peat Moss en la producción de plántula forestal.
2. La composta mostro buen contenido de N de 4,37%, K de 0,904 %, y P de 0,117%. Macro elementos necesarios para el desarrollo y crecimiento de las plantas.
3. La composta presenta un total de  $3.6 \times 10^3$  de UFC, siendo *Klebsiella* y *Pseudomonas* los géneros más representativos.
4. Las plántulas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var *pseudostrobus* que se desarrollaron en composta de Shiitake 50% + vermiculita 25% + agrolita 25%, presento un 92% de germinación en vivero.
5. A nivel vivero se establece como mejor tratamiento al 3 debido a los valores obtenidos para el IDC, IE y RPA/R.
6. La implementación de un programa de fertilización pudo haber influido de manera positiva, acercándose aún más a los valores ideales para los índices de calidad de planta.
7. El ciclo productivo de hongo Shiitake de la planta “Nanacatlan” ubicada en Puebla, alcanzo la generación de aproximadamente 90 Kg de residuos, mismos que permiten la producción anual de hasta 500 mil plantas al ser utilizados como sustrato en un tratamiento de 33 % composta, 33% vermiculita y 33 % agrolita
8. Los costos generales de producción de plántula de *Pinus pseudostrobus* Lind var *pseudostrobus* en vivero se pueden reducir hasta en un 30% al utilizar la composta de residuos de la producción de hongo Shiitake.

## **RECOMENDACIONES**

1. Con base en la información obtenida a partir de los tratamientos 2 y 3, se recomienda la elaboración de posteriores experimentos en donde se prueben nuevos tratamientos con composición de composta variada entre el 33-50% ya que el T2 mostro ser mejor en cuanto a cepellón mas no el mejor en la obtención de planta de calidad y el T3 mostro ser el mejor para la obtención de calidad en planta sin embargo el cepellón no mostro una buena formación, lo cual puede generar problemas cuando se traslade la planta al sitio final de plantación impactando negativamente en la probabilidad de supervivencia de la planta.
2. Llevar a cabo análisis que determinen la capacidad de intercambio anionico ya que el intercambio de iones negativos también influye en el proceso de nutrición de la planta forestal.



## CAPITULO IX

### BIBLIOGRAFÍA

- ABBOTT, S., 2003. Klebsiella, Enterobacter, Citrobacter, Serratia, Plesiomonas, and other Enterobacteriaceae. En: Murray, P. R., E. J. Baron, J.H. Jorgensen, M. A. Pfaller, and R. H. Tenover (ed.). Manual of clinical microbiology, 8th ed. American Society for Microbiology, Washington, D.C. 2322 p.
- ALEMÁN, S., FERGUZON, B., NAHED, T., PINTO, R., PARRA, V., IBRAHIM, M., GÓMEZ, C., CARMONA, M., JIMÉNEZ, F., MEDINA, F., MORA, J., MARTÍNEZ, C., LÓPEZ, M., HERNÁNDEZ, L. Y HERNÁNDEZ, S. 2007. Ganadería, desarrollo y ambiente: Una visión para Chiapas. México: Santillán. 45 p.
- ALTIERI M. A. 1987. Agroecology. The Scientific Basis of Alternative Agriculture. Division of Biological Control, University of California. Berkely, California. 162 p.
- ALITERI M. A. Y NICHOLLS C.I., 2000. AGROECOLOGÍA: Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Primera edición: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe México D.F. 17 p.
- ALTIERI M. & NICHOLLS, C. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. Agroecología, 8(1):7-20 p.
- AMESTOY, A. 2013. El planeta tierra en peligro: Calentamiento Global, cambio climático, solución. Club Universitario, España. 24-38 p.
- ANGELSEN, A. Y KAIMOWITS, D., 1999. Rethinking the cause of deforestation: lesson from economic models. The world bank *research observer*. 14 (1):73-98 p.
- ANSORENA, J. 1994. Sustratos: propiedades y caracterización. Editorial Mundi prensa. Madrid, España. 172 p.
- APARICIO R., CRUZ H., y ALBA J. 1999. Efecto de seis sustratos en la germinación de *Pinus patula* Sch. Et Cham. *Pinus montezumae* Lam. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. En condiciones de vivero. Foresta Veracruzana. 1(2): 31-36 p.

- ARBEIT, R., ARTHUR, M., DUNN, R., KIM, C., SELANDER, R. K. & GOLDSTEIN, R., 2000. Resolution of recent evolutionary divergence among *Escherichia coli* from related lineages: The application of pulsed field electrophoresis to molecular epidemiology. *J. Infect Dis.* 161:230-235 p.
- ARRIOLA, J., BATLLE, S., MENDOZA H., (2012). Estado de salud actual del suelo en la ladera norte del Cerro Gordo del Parque Estatal Flor del Bosque, Amozoc, Puebla, México Tecnología, Ciencia, Consultado el 23/11/2014. Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48224413004>> ISSN
- AVILA, F., PRIETO, R., HERNANDEZ, D., WEHENKEL, A., Y CORRAL, R. (2014). Preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. Mediante déficit de riego en vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*
- BANCO MUNDIAL, 1995. Estudio de Revisión del Sector Forestal y Conservación de Recursos. Oficina Regional de América Latina y el Caribe. México Número de reporte: 13114-ME.
- BEVERIDGE, T.J., GRAHAM, L.L. 1991 Surface layers of bacteria. *Microbiol Rev.* 55: 684-705 p.
- BEVERIDGE T. J. 2001 Use of the Gram stain in microbiology. *Biotechnic & Histochemistry.* 76:111-118 p.
- BIRCHLER, T.; ROSE, R.W.; ROYO, A.; PARDOS, M. 1998. La planta ideal: revisión del concepto de calidad, parámetros definitorios e implementación práctica. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales.* 7 (1, 2):109-121 p.
- BREAKWELL, D.P., MOYES, R.B., AND REYNOLDS, J. 2009. Differential staining of bacteria: capsule stain. *Curr Protoc Microbiol.* 15:3I: A.3I.1–A.3I.4.
- CABRERA R., I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo-Serie Horticultura.* 5:5-11 p.
- CAMACHO-MORFÍN, F. 1994. Fisiología de la dormición. *Semillas Forestales* No. 2 INIFAP. México, D.F.
- CAMPOS, B., 2003. *Biología 1.* México D.F.: Editorial Limusa. 165-174 p.

- CASTILLO, A. E., QUARÍN, S. H., IGLESIAS, M. C. 2000. Vermicompost chemical and physical characterization from raw and mixed organic wastes. *Agricultura Técnica* 60(1):74-79 p.
- CATIE (1997). Nota técnica sobre manejo de semillas forestales. *Pinus pseudostrobus Lindl.* No. 13. Turrialba, Costa Rica.
- CATIE (2001). Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Módulos de enseñanza agroforestal. Turrialba, C.R. 25-30 p. Consultado el 20/05/2015. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A6709E/A6709E.PDF>
- CENTRO DE INVESTIGACION Y EXTENSION FORESTAL ANDINO PATAGÓNICO (CIEFAP) Y CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES (CFI) (2012). Producción de plantas en viveros forestales. Disponible en [http://ciefap.org.ar/documentos/pub/Produc\\_plantas\\_viv.pdf](http://ciefap.org.ar/documentos/pub/Produc_plantas_viv.pdf)
- CÉSPEDES, F., Y MORENO. S. 2010. Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación Ambiental* 2 (2):5-13 p.
- CHALLENGER, A., Y SOBERON, J. 2008. Los ecosistemas terrestres en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 87-108.
- CONABIO 2008. La diversidad biológica forestal en México. CONABIO. Consultado el 29/11/13 en [http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion\\_internacional/doctos/dbf\\_mexico.html](http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion_internacional/doctos/dbf_mexico.html)
- CONAFOR 2010. El manual básico de Prácticas de reforestación. Libro electrónico primera edición. 22 p.
- CONAFOR 2013. Menciones de CONAFOR, Primer Informe de Gobierno de Enrique Peña Nieto. Comisión Nacional Forestal. Consultado el 28/09/13 en: [http://www.confaor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/4786Primer%20Informe%20de%20Gobierno%20federal\\_CONAFOR.pdf](http://www.confaor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/4786Primer%20Informe%20de%20Gobierno%20federal_CONAFOR.pdf)

- DEL CAMPO, A. D. 2002. Régimen de cultivo, desarrollo en vivero, calidad de planta y respuesta al establecimiento en cuatro especies de frondosas mediterráneas. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. 310 p.
- DICKSON A., LEAF A.L., HORSEN J.F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. For. Chron. 36(1):10-13 p.
- DONAHUE, R., MILLER, R. y SHICKLUNA, J., (1981). Introducción al estudio de los suelos y crecimiento de las plantas. Traducción por Aurelio Romeo del Valle. Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana. México. D. F. 624 p.
- DOMINGUEZ, L., MURRIAS, G., HERRERO, S., Y PEÑUELAS, R., 2001. Cultivo de once especies mediterráneas en vivero: Implicaciones prácticas. Revista Ecológica 15: 213-223.
- EGUILUZ P. T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo. México, 623 p.
- FAO 2010. Propagación en los viveros. Consultado el 23/05/2015 en: <http://www.fao.org/forestry/seeds/4735/es/>
- FAO 2011. Situación de los Recursos Genéticos Forestales en México. Libro electrónico. Org. de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Consultado el 6/10/13 en: [coin.fao.org/coinstatic/cms/media/11/.../informe\\_rgf.pdf](http://coin.fao.org/coinstatic/cms/media/11/.../informe_rgf.pdf)
- FAO 2012. El estado de los Bosques del mundo. Libro electrónico. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Consultado el 3/10/13 en: [www.fao.org/docrep/016/i3010s/i3010s.pdf](http://www.fao.org/docrep/016/i3010s/i3010s.pdf).
- FLORES, M., RODRÍGUEZ, O., SOLARES, R., GONZÁLEZ, R., Y GARCÍA, C., 2011. Biodiversidad conocer para conservar. Tlalpan México: SEMARNAT. 23 p.
- FUENTES L. M. E., GARCÍA S. J. A. Y HERNÁNDEZ M. J. 2006. Factores que afectan el mercado de madera aserrada de pino en México. Madera y Bosques 12(2):17-28 p.
- GARCÍA, C., ALCANTAR, G., CABRERA, R. I., GAVI, R., y VOLKE, H. 2001. Evaluación de sustratos para la Producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Terra 19 (3): 249-258 p.



- GARCÍA, C. O., 1999. Materiales Orgánicos como sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathyllum wallisii* cultivadas en maceta. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillos, México. 15 p.
- GARCÍA, M. A. 2007. Importancia de la calidad del plantón forestal. In: XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Área Forestal de la EEA Concordia del INTA. 10 p. Libro electrónico Consultado el 28/12/2014 en: <http://www.inta.gov.ar/concordia/info/Forestales/contenido/pdf/2007/312.II.GARCIA.pdf>
- GARCÍA, M. J. J. 1996. Coníferas promisorias para reforestación en la Sierra Purhépecha. Agenda Técnica No. 2. CIRPAC. INIFAP. SAGAR. Uruapan, Mich. 79 p.
- GINGRICH, D. 1984. Enrich media through well planned fertilizer program. *Greenhouse Manager* 3(5): 130-143 p.
- GONZALEZ, I., BARRERO, M. Y CARRASCO, R. (2013). Evaluación de las clases de calidad de sitio de *Pinus caribaea var. caribaea* en la Empresa Forestal Integral Macurije (Pinar del Río, Cuba). *Ecosistemas* 22(3): 46-51 p.
- GREENPEACE 2012. La deforestación y sus causas. Greenpeace México. Consultado el 13/10/13 en: <http://www.greenpeace.org/mexico/es/Campanas/Bosques/La-deforestacion-y-sus-causas/>.
- GREENPEACE 2009. La destrucción de México: la realidad ambiental del país y el cambio climático. Consultado el 19/11/13 en [http://www.greenpeace.org/mexico/es/Footer/Descargas/reports/Clima-y-energia/destruccion\\_mexico/](http://www.greenpeace.org/mexico/es/Footer/Descargas/reports/Clima-y-energia/destruccion_mexico/).
- HANDRECK K. A. Y BLACK N. 1994. Growing media for ornamental plants and turf. Revised ed. New South Wales University Press. Kensington, Australia. 408 p.
- INEGI 2010. Síntesis geográfica del Estado de Puebla, México. Libro electrónico, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado el 20/05/14 en: [http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM\\_Puebla](http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_Puebla)

INEGI 2013. Estadísticas a propósito del día mundial forestal. Libro electrónico. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado el 8/10/13 en: [www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/.../estadisticas/2013/forestal0.pdf](http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/.../estadisticas/2013/forestal0.pdf).

INIFAP 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Libro electrónico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Consultado el 26/05/2015 en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1289/CALIDAD%20DE%20PLANTA%20EN%20VIVEROS%20FORESTALES%20DE%20CLIMA%20TEMLADO%20EN%20MICHOCAN.pdf?sequence=1>

INIFAP 2011. Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. Libro electrónico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Consultado el 09/02/2015 en: [http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3031/Especies%20promisorias%20de%20clima%20templado%20para%20plantaciones%20forestales%20comerciales%20en%20Michoac%C3%A1n\\_%20J.%20Trinidad%20Saenz%20Reyes.pdf?sequence=1](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3031/Especies%20promisorias%20de%20clima%20templado%20para%20plantaciones%20forestales%20comerciales%20en%20Michoac%C3%A1n_%20J.%20Trinidad%20Saenz%20Reyes.pdf?sequence=1)

JIMÉNEZ, F; MUSCHLER, R; KOPSELL, E. 2001. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. CATIE, Turrialba, C.R. Proyecto agroforestal. 187 p.

JONES, R.K. & D.M. BENSON. 2001. Diseases of Woody Ornamentals and Trees in nurseries. APS Press. American Phytopathological Society, St. Paul, Minn. 482 p.

KANNINEN M., MURDILLARSE D., SEYMOUR F., AGELSEN A., WUNDER S., Y GERMAN L., 2008. *Do trees grow on money? The implications of deforestation research for policies to promote REDD*, CIFOR, Indonesia; Yakarta. 5-9 p.

KRAMER, F., 2003. Educación ambiental para el desarrollo sostenible. Madrid, España: Los libros de la catarata. 183-188 p.

- LANDIS, T., TINUS R., MCDONALD S. AND BARNETT, J., 1989. The container tree nursery manual Vol. 4. Agric. Handbk. Washington D.C.: U. S. Department of agriculture, Forest Service. 1-67 p.
- LANDIS, T., TINUS R., MCDONALD S. AND BARNETT, J.,1995. Nursery planning, development. y Management. Vol. 1. Container Tree Nursery Manual. USDA. Forest Service. Washington, D.C. 188 p.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; MACDONALD, S. E.; BARNETT, J. P.; NISLEY, R. G.; RODRÍGUEZ, D. T.; SÁNCHEZ, R. V.; ALDANA, R. B. 2000. Fertilización y riego: Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Manual Agrícola 4(674). Dpto. de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. 126 p.
- LEYVA, R. F., ROSELL P. R., RAMÍREZ R. A. Y ROMERO R. I. 2008. Manejo de endurecimiento por riego para elevar la calidad de las plantas de Eucalyptus sp. cultivadas en vivero de la Unidad Silvícola Campechuela. Universidad de Granma. Central del Batey. Campechuela. Granma. Cuba. 14 p.
- MANUAL DE VIVEROS PARA LA PRODUCCIÓN DE ESPECIES FORESTALES EN CONTENEDOR (s.f.) Recuperado el: 2 de Junio, 2014, de: [http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/manual\\_prod\\_planta\\_forestal\\_contenedor\\_volumen1\\_cap4.pdf](http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/manual_prod_planta_forestal_contenedor_volumen1_cap4.pdf)
- MARTÍNEZ M. 1948. Los pinos mexicanos. Segunda edición. Ediciones Botas. México. 361 p.
- MARTÍNEZ M. 1979. Catálogo de Nombres Vulgares y Científicos de Plantas Mexicanas. Fondo de Cultura Económica. México, D. F
- MARTÍNEZ, C., MORALES, P., SOBAL, M., BONILLA, M., MARTINEZ, W., MAYETT, Y., 2007. Los hongos comestibles, funcionales y medicinales: su contribución al desarrollo de las cadenas agroalimentarias y la seguridad alimentaria en México. Consultado 23/11/13 en: [cisnex.amc.edu.mx/congreso/Ciencias.../Martinez\\_Carrera\\_1\\_pdf.pdf](http://cisnex.amc.edu.mx/congreso/Ciencias.../Martinez_Carrera_1_pdf.pdf)

- MATEO, S., VÁZQUEZ, B., PÉREZ, R., MOHEDANO, C., CAPULÍN, G. 2011. Producción de (*Cedrela Odorata* L.), en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tecpan De Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai*, 7(1):123-132 p.
- MAESTRE, F.T., BAUTISTA, S., Y CORTINA, J. 2003. Positive, negative and net effects in grass-shrub interactions in Mediterranean semiarid grasslands. *Ecology* 84(12): 3186-3197 p.
- MALDONADO, B., ALDRETE, A., LOPEZ, U., VAQUERA, H. Y CETINA, A., 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm. En mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. *Agrociencia*, 45 (3):389-398 p.
- MAYETT, Y., MARTINEZ, C., SANCHEZ, M., MACIAS, A., MORA, S., Y ESTRADA, A. 2006. Consumption trends of edible mushrooms in developing countries: the case of Mexico. *Journal of international an Agribusiness Marketing* 18: 151-176 p.
- MEDINA, L., 2006. Mercado de hongos exóticos de Chile. Consultado el 24/11/13 en [www.micoteconline.com/Mercado\\_Hongos.pdf](http://www.micoteconline.com/Mercado_Hongos.pdf)
- MEJÍA SOTO 2007. Producción de *Pinus patula* Schl et *cham*, en sustratos a base de aserrín crudo. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura, Hidalgo; México.
- MERLINO, J., SIARAKAS, S., ROBERTSON, G. J., FUNNELL G.R., GOTTLIEB, T., AND BRADBURY, R. 1996. Evaluation of CHROMagar Orientation for Differentiation and Presumptive Identification of Gram-Negative Bacilli and Enterococcus Species. *JOURNAL OF CLINICAL MICROBIOLOGY* 34 (7):1788–1793 p.
- MEXAL, J. G. AND LANDIS T. D. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: Target seedlings symposium. Gen. Tech. Rep. USDA Forests. 13. 105-119 p.
- MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES DE CANADÁ 2011. Gestión forestal Sostenible en Canadá. Consultado el 24/11/13 en <http://www.forestaes.net/archivos/forestal/pdfs%2051/Especial-Gestion-forestal-sostenible-en-Canada.pdf>

- MOLINA, M. G., SALOMÉ, F. Z., GONZALEZ, V. G., SANFUENTES, V. S. E. 2006 Screening to antagonistic fungi for *Botrytis cinerea* biocontrol in Chilean forest nurseries. BOSQUE 27(2):126-134 p.
- MORANT, S., 2008. Sensibilización Ambiental: Situación actual, problemática y búsqueda de soluciones. España: Ideas propias. 20 p.
- MUÑOZ, P. A. 2004. La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. Revista Chilena de Historia Natural 77 (1). 139-156 p.
- NAVARRO, R.M., DEL CAMPO, A.D. and CORTINA, J. 2006. Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta. Cap. 2. In Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes Mediterráneos. Estado actual de conocimientos. Cortina, J., Peñuelas, J.L., Puértolas, J., Vilagrosa, A., and Savé, R. (Coord.). Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- NIEMBRO, R. Y FIERROS, G. 1990. Factores ambientales que controlan la germinación de las semillas de pinos. En: Memoria. Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales. Centro de Genética Forestal, A. C. Chapingo, México. 124-144 p.
- NOIR, A. Y RIBERI, M. 1995. Laboratorio de semillas forestales. En: Bosques y Desarrollo. No. 14. Organización Internacional de Maderas Tropicales. 24-28 p.
- SAENZ, R., MUÑOZ, F., PEREZ, D., RUEDA, S., Y HERNANDEZ, R. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. Revista mexicana científica forestal, 5(26): 98-111 p.
- SANCHEZ C., ALDRETE, V., CETINA, A., y J LOPEZ, U. 2008. Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. Madera y Bosques 14(2):41-49 p.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. México, D.F.
- OLIET, J. A. 1997. Fertilización: Aspectos teóricos. Curso de producción de plántula forestal en contenedor. Colegio I. T. F. Madrid, 17 p.

- ORTEGA-MARTINEZ L., SANCHEZ O. J., DIAZ R. R. Y OCAMPO M. J. 2010. Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL). *Ra Ximhai* 6(3): 365-372 p.
- ORTEGA U.; J. MAJADA; A. MENA P.; J. SANCHEZ Z.; N. RODRIGUEZ I.; K. TXARTERINA; J. AZPITARTE AND M. DUÑABEITIA. 2006. Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. *New Forests* 31:97–112. DOI 10.1007/s11056-004-7364-6.
- PASTOR J., (2000). Utilización de sustratos en viveros. *Terra*, 17 (3). 231-235 p.
- PÉREZ, A., CESPEDES, C. Y NUÑEZ, P. 2008. Caracterización Física-Química y Biológica de Enmiendas Orgánicas Aplicadas en la Producción de Cultivos en República Dominicana. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* 8 (4). 10-29 p.
- PÉREZ, C. R., PEREZ, C. A. Y VERTEL, M. M. 2010. Caracterización nutricional, físicoquímica y microbiológica de tres abonos orgánicos para uso en agroecosistemas de pasturas en la subregión Sabanas del departamento de Sucre, Colombia. *Revista Tumbaga* (5). 27-37 p.
- PERRY J. P. 1992. *The Pines of México and Central America*. Timber Press. Portland, Oregon. USA. 137-156 p.
- PIERRE, F., ROSELL, M., QUIROZ, A. Y GRANDA, Y. 2009. Evaluación química y biológica del compost de pulpa de café en caspito, Municipio Andrés Eloy Blanco, estado Lara, Venezuela. *BIOAGRO* 21 (2).105-110 p.
- PIRE, R. Y PEREIRA, A. 2003. Propiedades físicas de componente de sustratos de uso común en la horticultura del estado de Lara, Venezuela: Propuesta metodológica. *BIOAGRO* 15 (1). 55-63 p.
- PINO P., VARNERO M. Y ALVARADO P. 2005. Dinámica del compostaje de residuos vitivinícolas con y sin incorporación de guano broiler. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* 5(2). 19-25 p.

- PINTO J. R.; J. D. MARSHALL; R. K. DUMROESE; A. S. DAVIS AND D. R. COBOS. 2011. Establishment and growth of container seedlings for reforestation: A function of stocktype and edaphic conditions. *Forest Ecology and Management* 261. 1876–1884 p.
- PRIETO, R. J. A. Y LOPEZ, U. J. 2006. Colecta de semilla forestal genero *Pinus*. Folleto Técnico No. 28 Campo Experimental Valle del Guadiana. SAGARPA-INIFAP. Durango, Dgo. 41p.
- PRIETO R., GARCÍA R., MEJÍA B., HUCHIN A. Y AGUILAR V. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Publicación Especial Núm. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango, Dgo. México. 47 p.
- PROYECTO MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES MAG – GIZ, 2011. Manejo Forestal y Agricultura de Conservación, Experiencias de pequeños productores de la Región Oriental de Paraguay. Libro electrónico. Pp. 178-180. Consultado el 28/05/2015 en: [http://www.bivica.org/upload/manejo-forestal\\_paraguay.pdf](http://www.bivica.org/upload/manejo-forestal_paraguay.pdf).
- PRONATURA, 2012. Informe Anual 2012: Programa Nacional de Reforestación y Cosecha de agua. Libro electrónico del Sistema nacional Pronatura. Consultado el 02/06/14, en: <http://fundacioncoca-cola.com.mx/pdf/InformeReforestacionOK.pdf>
- REID T. C., M. K HAUSBECK, K. KIZILKAYA. 2002. Use of fungicides and biological controls in the suppression of *Fusarium* crown and root rot of asparagus under greenhouse and growth chamber conditions. *Plant Disease* 86. 493-498 p.
- REYES J., ALDRETE A., CETIINA V. M., LÓPEZ J. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrabus* var. *Alpucensis* en sustrato a base de aserrín. *Revista Chapingo*, 11 (2):105-110 p.
- REYES, G.V. Y MARTÍ S. V. 2007. Etnoecología: punto de encuentro entre naturaleza y cultura. *Ecosistemas* 16 (3): 46-55 p.
- RÖBEN E., 2002. Manual de compostajes para Municipios. DED/Ilustre Municipalidad de Loja. Loja. Ecuador. 68 p.

- RODRIGUEZ M. R., ALCANTAR G. E., IÑIGUEZ C. G., ZAMORA N. F., GARCIA L. P., RUIZ L. M. Y SALCEDO P. E. 2010. Caracterización Física Y Química De Sustratos Agrícolas A Partir De Bagazo De Agave Tequilero. *Interciencia* 35 (7): 515-520 p.
- RODRIGUEZ T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Universidad Autónoma Chapingo. Mundi Prensa México. 156 p.
- ROMERO, A., LÓPEZ, E., DAMIAN, H., HERNÁNDEZ, T., PARRAGUIRRE, C., Y HUERTA, L., 2012. Evaluación del residuo de cascara de nuez (*Juglans regia*L.) en la producción de plántulas de *Pinus patula*, en vivero. *Agronomía Costarricense*, 36(2):103-110 p.
- RUANO, M., 2003. Viveros forestales: Cultivo de brinzales forestales en envase. Sustrato o medio de cultivo. Mundi-prensa. España. 126-143 p.
- SÁENZ, R. J., MUÑOZ, F. H. Y RUEDA, S. A. 2011. Especies promisoras de clima templado para plantaciones forestales, para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. INIFAP, Libro Técnico número 10. 4-64 p.
- SÁNCHEZ, T., ALDRETE, A., CETINA, V. Y LÓPEZ, J., 2008. Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y bosques*, 14 (2): 41-49 p.
- SETTERFIELD, S.A. 2002. Seedling establishment in an Australian tropical savanna: effects of seed supply, soil disturbance and fire. *Journal of Applied Ecology*, 39 (6): 949-959 p.
- SOUTH, D. B.; ROSE, R. W.; MCNABB, K. L. 2001. Nursery and site preparation interaction research in the United States. *New Forests* 22(1-2): 43-58 p.
- SPOMER, L., A. 1985. Techniques for measuring plant water. *Hort Science* 20(6): 1021-1028 p.
- TINUS, R. 1980. Nature and management of soil pH and salinity. In: Proceedings North American forest tree nursery soils workshop; 1980 July 28-August 1; Syracuse, NY. Syracuse, NY: State University of New York, College of Environmental Science and Forestry: 72-86 p.
- THOMPSON, B.E. 1985. Seedling morphological evaluation. What can you tell by looking? *In: Duryea, M. L. (ed.). Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major test.* Forest Research Laboratory. Oregon State University. 59-71 p.



- TOVAR, D. C., GARCIA, D. S., DON JUAN, M. B. 2008. Manual: Identificación y manejo de plagas y enfermedades en viveros forestales. Libro electrónico CONAFOR. México DF. 16-79 p.
- TORO, M., BAZÓ, I., LÓPEZ, M. (2008). Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. *Agronomía Tropical*. 58(3): 215-221 p.
- TROLL, C. 2010. Ecología del paisaje. Investigación ambiental. Ciencia y Política Pública. 2(1):94-105 p.
- VELÁSQUEZ, A., MAS, J., MAYORGA, S, DÍAZ, J., ALCÁNTARA, C., CASTRO, R., FERNÁNDEZ, T., PALACIO, J., BOCCO, G., GÓMEZ, R., LUNA, G., TREJO, J. LÓPEZ, G., PALMA, M., PERALTA, A., PRADO, M. Y GONZÁLEZ, 2002. Estado actual y dinámica de los recursos forestales de México. *CONABIO. Biodiversitas* 41. 8-15 p.
- VERAS H., SOSA, G., ACEVEDO, O., OCAMPO, J., CAPULÍN, J. Y FONSECA J. 2010. Manual de Practicas de Viveros Forestales. Universidad Autónoma de Hidalgo, Pachuca; Hidalgo. 21-29 p.
- WHITCOMB, C.,1983. Does pH really have and effect on nutrition of container-grown plants? *American Nurseryman* 158(9): 33-35 p.
- WIGHTMAN K., Y CRUZ. 2003. La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas Foresta Veracruzana, *Recursos Genéticos Forestales México* 5 (1): 45-51 p.
- ZAPATA, N., GUERRERP, F., POLO, A., 2005. Evaluation of pine bark and urban wastes as componenicats of plant growth media. *Agricultura Técnica* 65 (4): 378-387 p.

## CAPITULO X

### ANEXOS

#### Composición del sustrato para la producción de hongo Shiitake

Es importante mencionar que la composición de los sustratos utilizados para la producción de hongo Shiitake se da de la siguiente manera:

60% aserrín de encino

28.5% olote de maíz

10% rastrojo de maíz

1.5 % de yeso

A partir de los materiales mencionados se forman bloques sirviendo de sostén para el desarrollo del hongo Shiitake. Una vez concluido el tiempo de desarrollo del hongo (aproximadamente 8 meses). Se procede a su cultivo, es el punto en donde se generan residuos ya que el sustrato con formado no puede reutilizarse para el mismo fin. Por lo tanto, en la presente investigación, se tomaron estos materiales que ya habían sido utilizados en un proceso productivo y se llevó a cabo un proceso de compostaje. Es de esperar que la composta contenga alto contenido de materia orgánica, así como nitrógeno debido al proceso de transformación que sufrió durante el desarrollo de los hongos.

#### Características físicas y químicas de la vermiculita y agrolita

Características	Agrolita	Vermiculita
Densidad	135 g/L	120 g/L
Retencion de humedad	45 %	35%
Aire	35%	25%
Materia solida	20%	Media
Composicion	Muy alta	Mineral
pH	Silicatos	Neutro
CIC	No	No

### **Vermiculita**

Formula química:

Elemento	Porcentaje de peso
SiO <sub>2</sub>	38-46
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10-16
MgO	16-35
CaO	1-5
K <sub>2</sub> O	1-6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6-13
TiO <sub>2</sub>	1-3
H <sub>2</sub> O	8-16

### **Agrolita**

Formula química:

Elemento	Porcentaje de peso
SiO <sub>2</sub>	75.30
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.92
Na <sub>2</sub> O	4.98
CaO	0.62
K <sub>2</sub> O	4.58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.51

## Análisis estadísticos

Descriptivos		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%
						Límite inferior
<b>Índice Dickson</b>	T <sub>1</sub> : 80-10-10	20	,138442	,0581054	,0129928	,111248
	T <sub>2</sub> : 50-25-25	20	,255361	,0989543	,0221269	,209049
	T <sub>3</sub> : 33-33-33	20	,277457	,1151854	,0257562	,223548
	T <sub>4</sub> : PEAT MOSS	20	,245319	,1081000	,0241719	,194727
	<b>Total</b>	<b>80</b>	<b>,229145</b>	<b>,1099198</b>	<b>,0122894</b>	<b>,204683</b>
<b>RPAR</b>	T <sub>1</sub> :80-10-10	20	3,680668	,7491432	,1675135	3,330058
	T <sub>2</sub> :50-25-25	20	2,679001	,5345982	,1195398	2,428802
	T <sub>3</sub> : 33-33-33	20	3,087710	,8815800	,1971273	2,675117
	T <sub>4</sub> : PEAT MOSS	20	3,629932	1,6028239	,3584023	2,879787
	<b>Total</b>	<b>80</b>	<b>3,269328</b>	<b>1,0866606</b>	<b>,1214923</b>	<b>3,027503</b>
<b>IESB</b>	T <sub>1</sub> :80-10-10	20	5,618405	1,8991640	,4246660	4,729569
	T <sub>2</sub> :50-25-25	20	5,280071	1,4002708	,3131101	4,624725
	T <sub>3</sub> : 33-33-33	20	4,268452	1,2396813	,2772012	3,688264
	T <sub>4</sub> : PEAT MOSS	20	3,998750	,8582072	,1919010	3,597097
	<b>Total</b>	<b>80</b>	<b>4,791420</b>	<b>1,5322170</b>	<b>,1713071</b>	<b>4,450441</b>

Descriptivos		Intervalo de confianza para la media al 95%	Mínimo	Máximo	Varianza entre componentes
<b>Índice Dickson</b>	T <sub>1</sub> :80-10-10	,165636	,0668	,2802	,0033601
	T <sub>2</sub> : 50-25-25	,301673	,1312	,4621	
	T <sub>3</sub> : 33-33-33	,331365	,1188	,5748	
	T <sub>4</sub> : PEAT MOSS	,295911	,1161	,5106	
	Total	,253606	,0668	,5748	
	Modelo	Efectos fijos	,250883		
Efectos aleatorios		,327706			
<b>RPAR</b>	T <sub>1</sub> : 80-10-10	4,031278	2,3485	5,1429	,1744867
	T <sub>2</sub> : 50-25-25	2,929201	1,4872	3,6707	
	T <sub>3</sub> : 33-33-33	3,500302	1,9924	6,2443	
	T <sub>4</sub> : PEAT MOSS	4,380077	,4963	6,6962	
	Total:	3,511152	,4963	6,6962	
	Modelo	Efectos fijos	3,497319		
Efectos aleatorios		4,027295			

IESB	T <sub>1</sub> : 80-10-10		6,507241	3,2000	10,5000	
	T <sub>2</sub> : 50-25-25		5,935418	2,0800	7,0000	
	T <sub>3</sub> : 33-33-33		4,848641	2,7500	8,2667	
	T <sub>4</sub> : PEAT MOSS		4,400403	2,7500	5,8570	
	Total		5,132398	2,0800	10,5000	
	Modelo	Efectos fijos	5,103184			
Efectos aleatorios		6,032337			,5101569	

#### Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Índice Dickson	2,279	3	76	,086
RPAR	8,265	3	76	,000
IESB	3,051	3	76	,034

#### ANOVA de un factor

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Índice Dickson	Intergrupos	,230	3	,077	8,051	,001
	Intragrupos	,724	76	,010		
	Total	,955	79			

RPAR	Inter-grupos	13,614	3	4,538	4,329	,007
	Intra-grupos	79,672	76	1,048		
	Total	93,286	79			
IESB	Inter-grupos	36,490	3	12,163	6,205	,001
	Intra-grupos	148,977	76	1,960		
	Total	185,467	79			

### Pruebas robustas de igualdad de las medias

		Estadístico <sup>a</sup>	gl1	gl2	Sig.
IndiceDickson	Brown-Forsythe	8,051	3	65,763	,000
RPAR	Brown-Forsythe	4,329	3	43,954	,009
IESB	Brown-Forsythe	6,205	3	59,121	,001

a. Distribuidos en F asintóticamente.

### Pruebas post hoc

#### Índice Dickson

TRATAMIENTO		N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			b	a
HSD de Tukey <sup>a</sup>	80-10-10	20	,138442	
	PEAT MOSS	20		,245319
	50-25-25	20		,255361
	33-33-33	20		,277457

	Sig.		1,000	,726
Tukey B <sup>a</sup>	80-10-10	20	,138442	
	PEAT MOSS	20		,245319
	50-25-25	20		,255361
	33-33-33	20		,277457

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 20,000.

### RPAR

	TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			b	a
HSD de Tukey <sup>a</sup>	50-25-25	20	2,679001	
	33-33-33	20	3,087710	3,087710
	PEAT MOSS	20		3,629932
	80-10-10	20		3,680668
Tukey B <sup>a</sup>	Sig.		,590	,267
	50-25-25	20	2,679001	
	33-33-33	20	3,087710	3,087710
	PEAT MOSS	20		3,629932
	80-10-10	20		3,680668

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 20,000.



## IESB

	TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			c	b	a
HSD de Tukey <sup>a</sup>	PEAT MOSS	20	3,998750		
	33-33-33	20	4,268452	4,268452	
	50-25-25	20		5,280071	5,280071
	80-10-10	20			5,618405
	Sig.		,929	,111	,870
Tukey B <sup>a</sup>	PEAT MOSS	20	3,998750		
	33-33-33	20	4,268452	4,268452	
	50-25-25	20		5,280071	5,280071
	80-10-10	20			5,618405

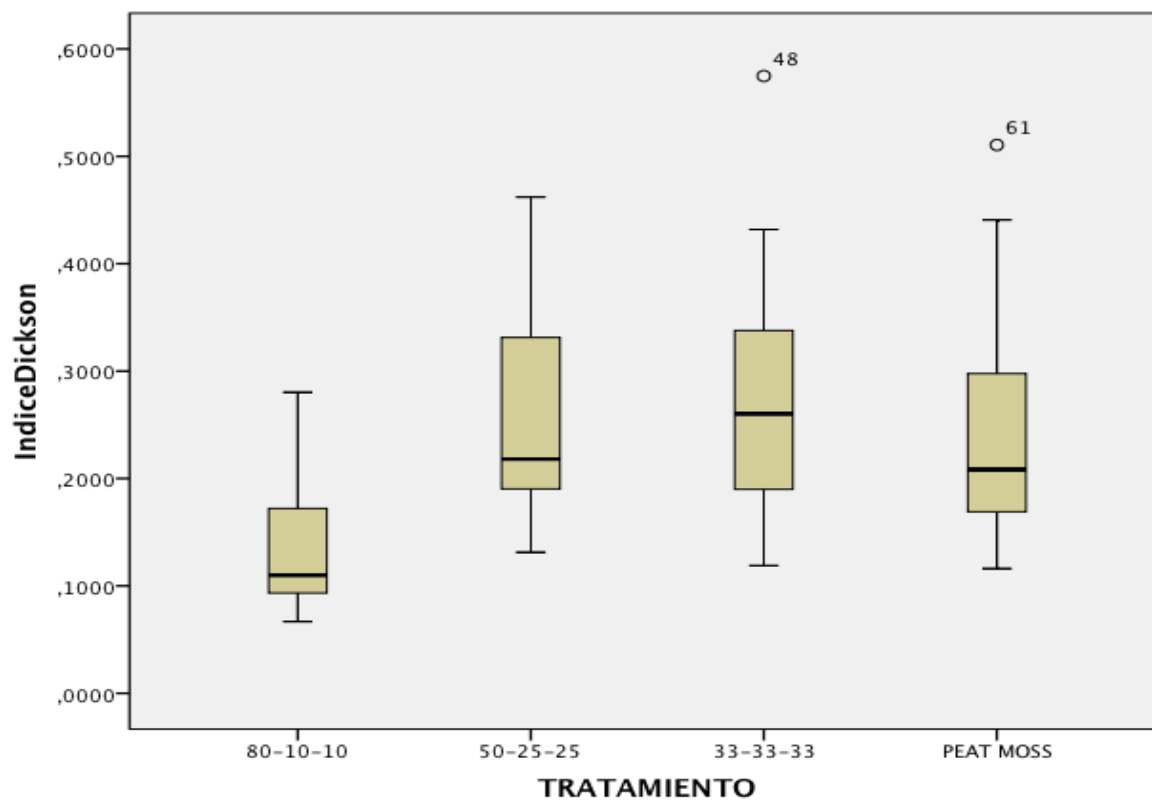
Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 20,000.

## Resumen del procesamiento de los casos

	TRATAMIENTO	Casos					
		Válidos		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Índice Dickson	80-10-10	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
	50-25-25	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
	33-33-33	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
	PEAT MOSS	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%

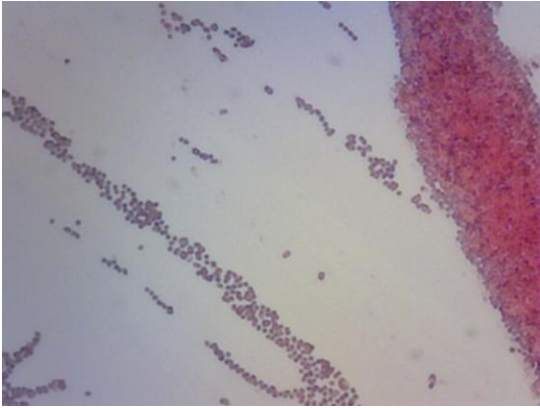
### Índice de Dickson



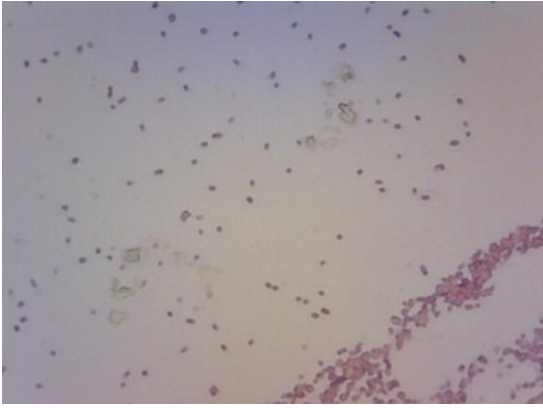
### Estadísticos

		Índice Dickson	RPAR	IESB
N	Válidos	80	80	80
	Perdidos	0	0	0
Media		,229145	3,269328	4,791420
Error típ. de la media		,0122894	,1214923	,1713071
Mediana		,204457	3,103151	4,350000
Moda		,0668 <sup>a</sup>	,4963 <sup>a</sup>	3,4286
Desv. típ.		,1099198	1,0866606	1,5322170
Varianza		,012	1,181	2,348

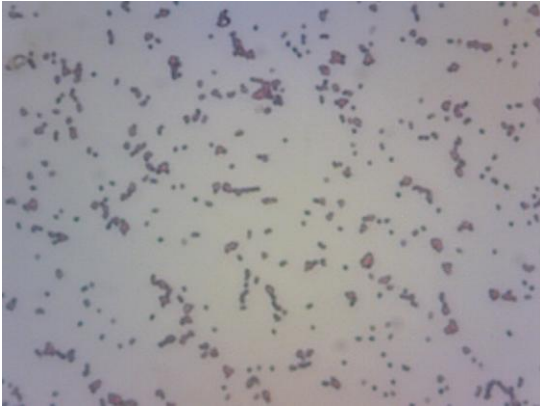
**Galeria fotográfica**



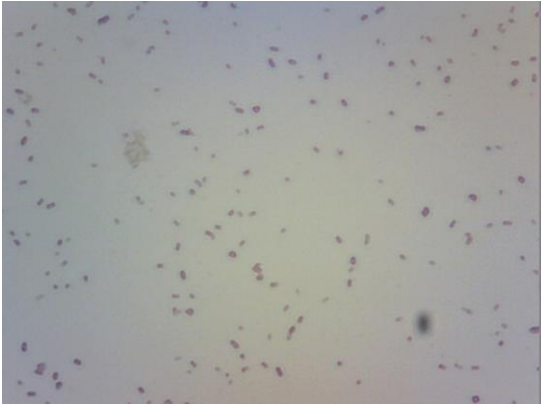
Cocus negativo (100 X)



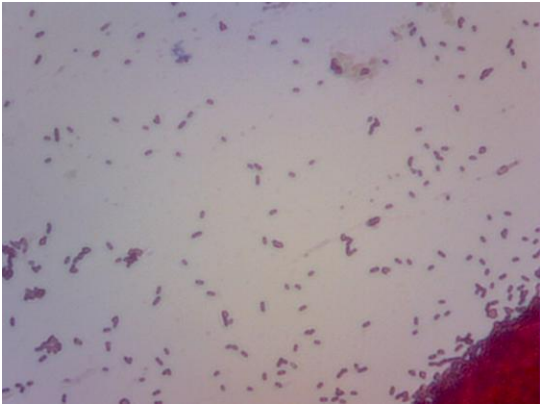
Cocus negativo (100 X)



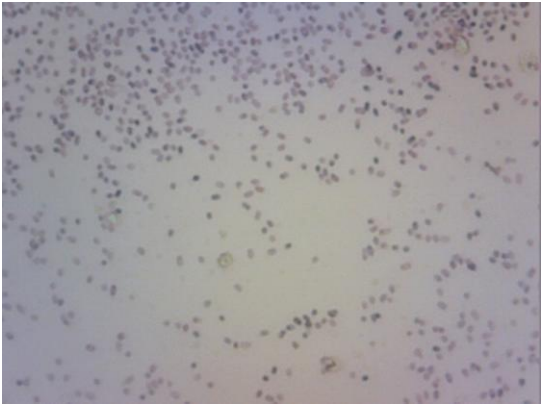
Cocus negativo (100 X)



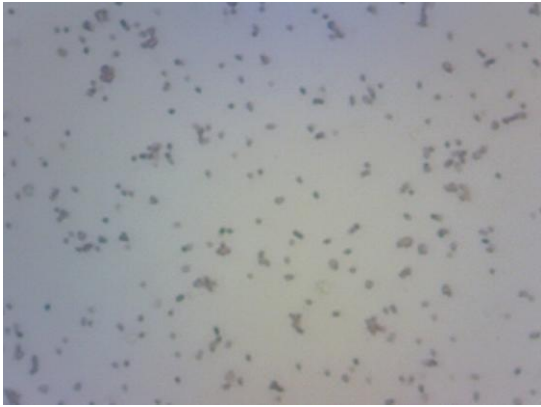
Bacilo negativo (100 X)



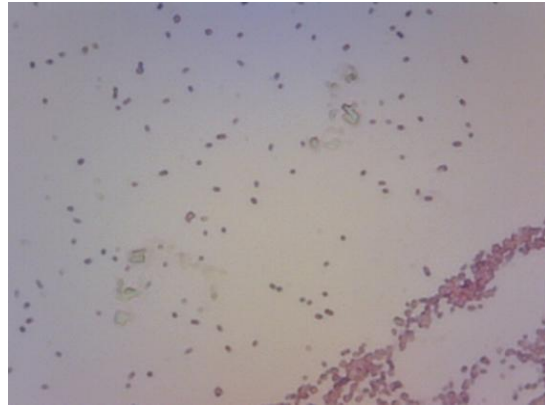
Bacilo negativo (100 X)



Cocus negativo (100 X)



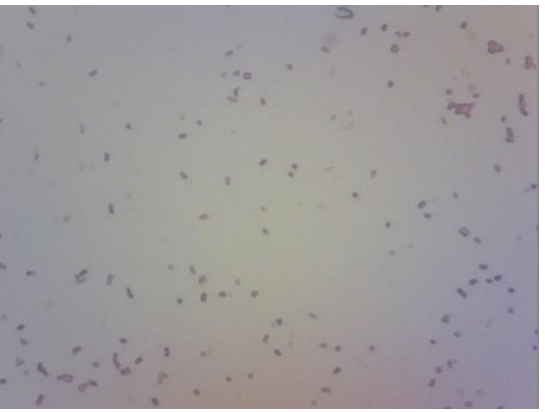
Cocus negativo (100 X)



Cocus negativo (100 X)



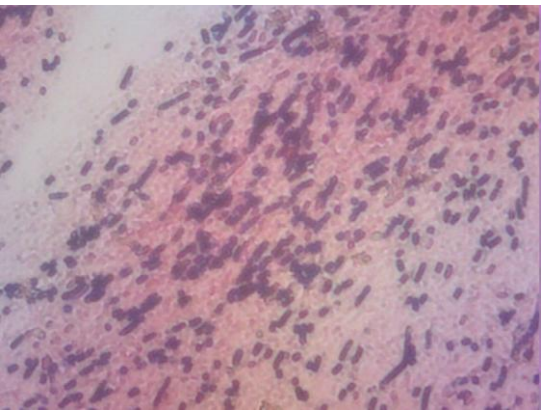
Cocus negativo (100 X)



Cocus negativo (100 X)



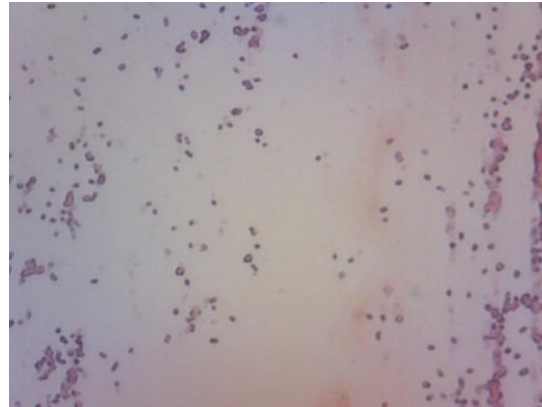
Bacilo negativo (100 X)



Bacilo positivo (100 X)



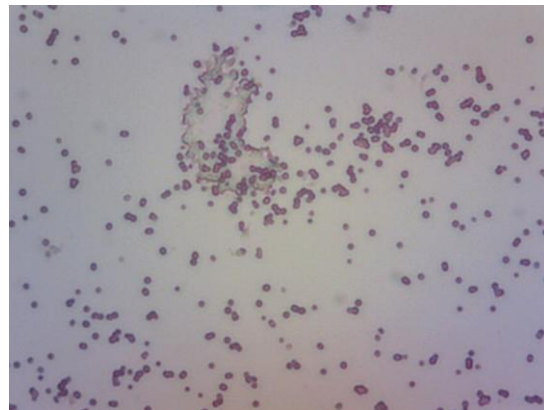
Bacilo positivo (100 X)



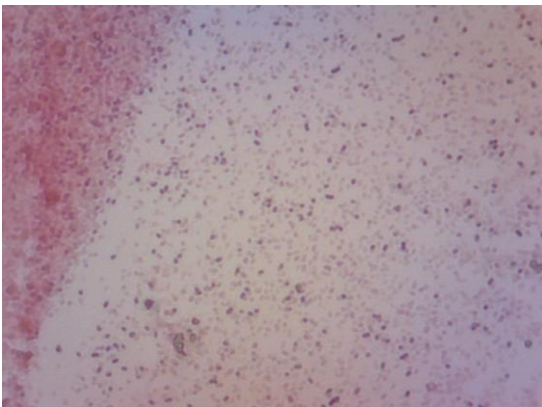
Cocus negativo (100 X)



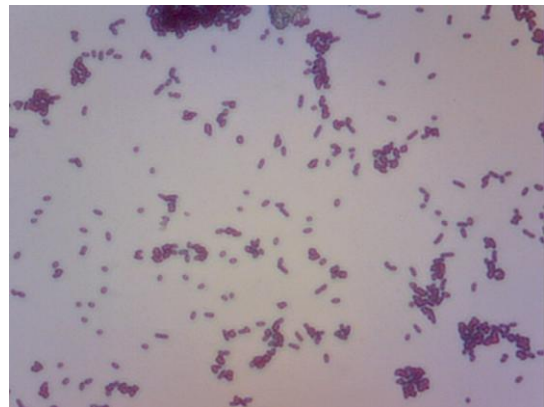
Cocus negativo (100 X)



Cocus negativo (100 X)



Cocus positivo (100 X)



Bacilo positivo (100 X)