



Producción de plántulas de *Pinus pseudostrabus* en **composta** a base de **residuos de** **Shiitake** en vivero

Production of *Pinus pseudostrabus* seedlings in nurseries in compost based on Shiitake waste

Omar Romero-Arenas¹, Adriana del Pilar Flores Flores¹, José Antonio Rivera Tapia², Fernando Hernández Aldana³,
José Filomeno Conrado Parraguire Lezama¹, Nemesio Villa Ruano⁴ y Gerardo Landeta Cortés^{5*}

¹ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Centro de Agroecología. Puebla, Puebla, México

³ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Instituto de Ciencias BUAP. Centro de Química de Agua y Suelos. Puebla, Puebla, México

⁵ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Centro Universitario de Vinculación. Puebla, Puebla, México

² Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Instituto de Ciencias BUAP. Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas. Puebla, Puebla, México

⁴ Universidad de la Sierra Sur. Instituto de Investigación Sobre la Salud Pública. Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca, México

* Autor de correspondencia. gerardo.landeta@correo.buap.mx

RESUMEN

En México, los sustratos comerciales más utilizados para la producción de plántula forestal son *Peat Moss*, agrolita y vermiculita, cuyos costos son elevados y reducen los márgenes de utilidad; por lo anterior, se buscan sustratos alternativos capaces de promover plántulas de buena calidad. Los residuos de la producción del hongo Shiitake (*Lentinula edodes*) aún no han sido caracterizados para el aprovechamiento forestal. En la presente investigación, se realizó una evaluación físico-química y bacteriológica de la composta a base de residuos del cultivo del hongo Shiitake para evaluar la producción de plántula de *Pinus pseudostrabus* en vivero. La composta mostró un contenido de N de 1.14 mg kg⁻¹ (1.14 ppm), K de 0.80 mg kg⁻¹ (0.80 ppm), P de 0.18 mg kg⁻¹ (0.18 ppm), MO de 93.60% y conductividad eléctrica de 3.82 mS cm⁻¹. Además, presentó 3.6 × 10⁴ unidades formadoras de colonias por gramo, siendo los géneros más abundantes *Pseudomonas* y *Klebsiella* con 1.08 × 10⁴, lo que representa 60% del total de la carga bacteriana. El índice de calidad de Dickson para el tratamiento 3 (composta de Shiitake 50% + vermiculita 33% + agrolita 33%) fue 0.27, superando al testigo (0.24). La composta elaborada de residuos del hongo Shiitake puede contribuir en el sector forestal para la producción de calidad de *Pinus pseudostrabus* en vivero.

PALABRAS CLAVE: índice de calidad de Dickson, *Lentinula edodes*, sustrato alternativo, unidades formadoras de colonias.

ABSTRACT

In Mexico the commercial substrates more utilized for the forest seedlings production are Peat Moss, agrolite and vermiculite, however, their costs are high which makes the utility margins decrease; therefore, alternative substrates capable of promoting good quality seedlings are sought. The residues from the production of Shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) have not yet been characterized for their utilization in forestry-related uses. In the present research, a physical-chemical and bacteriological characterization of the compost obtained from the residues of Shiitake mushroom production was performed to evaluate seedling nursery production of *Pinus pseudostrabus*. Compost showed a N content of 1.14 mg kg⁻¹ (1.14 ppm), 0.80 mg kg⁻¹ (0.80 ppm) of K, P 0.18 mg kg⁻¹ (0.18 ppm), 93.60% of MO and an electrical conductivity of 3.82 mS / cm. Additionally, it presented 3.6x10⁴ of CFU/g, being *Pseudomonas* and *Klebsiella* the most abundant genus, with 1.08 × 10⁴, representing 60% of the total bacterial load. The Dickson quality index for treatment 3 (Shiitake residue compost 50%+ vermiculite 33% + 33% perlite) was 0.27, exceeding the control treatment (0.24). According to the obtained data, compost made from residues of Shiitake mushroom production, can contribute to the forestry sector for the production of quality seedlings of *Pinus pseudostrabus* in nursery.

KEYWORDS: Dickson quality index, *Lentinula edodes*, alternative substrate, colony forming units.

INTRODUCCIÓN

México es el país con la mayor diversidad de especies de pinos (Pausas, 2015), estos tienen gran importancia ecológica, económica y social (Ramírez-Herrera, Vargas-Hernández y López-Upton, 2005; Sánchez-González, 2008). Según cifras de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), 45% del territorio nacional presenta algún tipo de degradación, principalmente por el cambio de uso del suelo destinado para actividades agropecuarias; México ocupa el quinto lugar mundial en deforestación actualmente (Semarnat, 2014).

La producción de plántula forestal es una actividad que ha recobrado gran importancia en las últimas décadas, debido a la necesidad de restablecer la cobertura vegetal mediante actividades de reforestación (García, Alcantar, Cabrera, Gavi y Volke, 2001; Benítez, Equihua y Pulido, 2002). Se sabe que los ecosistemas sostenibles a través del tiempo son aquellos con mayor abundancia en biodiversidad, ya que se generan una serie de sinergismos que mantienen su funcionalidad (Altieri y Nicholls, 2013), es ahí donde radica el interés por la producción de plántula forestal nativa de cada región.

En México, 94% de la producción de planta forestal se encuentra en viveros, haciendo uso de una mezcla de materiales orgánicos -principalmente la turba (*Peat-Moss*)- e inorgánicos como agrolita y vermiculita, incrementando de manera significativa los costos de producción en los viveros forestales. Además se ha usado la tierra de monte para la producción de plántulas, pero esta práctica tiene la limitante de que genera un impacto ambiental indeseable y enfermedades fitosanitarias en la producción forestal (Sánchez-Córdova, Aldrete, Cetina-Alcalá y López-Upton, 2008; Wightman y Santiago, 2013). Por este motivo surge la necesidad de evaluar sustratos alternativos, los cuales produzcan plántula sana, de buena calidad y además, reduzca los costos de producción en vivero.

Dentro de este contexto, la producción de hongos comestibles ha mostrado un incremento anual promedio de 11% durante las últimas décadas. A escala mundial, las especies más cultivadas y comercializadas son: *Agaricus* spp.

(champiñones), con un nivel de producción que supera los dos millones de toneladas métricas anuales; *Lentinula edodes* (Shiitake), en segundo lugar con más de 1.5 millones de toneladas; seguido por *Pleurotus ostreatus* (hongo seta) con cerca de 1 millón de toneladas anuales (Romero-Arenas, Martínez, Damián, Ramírez y López-Olguín, 2015). México es el mayor productor de hongos comestibles en Latinoamérica, generando alrededor de 80.8% de la producción total de esta región, con un crecimiento de 25.4% del año 1986 al 1997 (Martínez-Carrera, Morales, Sobal, Bonilla y Martínez, 2007; Martínez-Guerrero *et al.*, 2012).

La comercialización del hongo Shiitake se ha extendido desde países asiáticos hasta Europa y América, debido principalmente a sus excelentes propiedades medicinales y nutricionales (Yaoqi, Wei, Yueqin, Yanling y Yu-Cheng, 2014). Está demostrado que el consumo regular del hongo Shiitake otorga ciertos beneficios a la salud humana por su alto contenido de proteínas, vitaminas esenciales como B1, B2, B6, B12 y minerales, además de poseer propiedades anticancerígenas, antivirales, antioxidantes y activar el sistema inmune (Cheung, 2010; Nieto-Ramírez, Rojas-Luna y Suarez, 2012).

La cadena de producción de hongos comestibles, incluyendo el hongo Shiitake, puede catalogarse de importancia económica y social, ya que sus niveles de producción son similares a otros productos convencionales (Piccinin, Di Piero y Florentino, 2010). Particularmente, el hongo Shiitake ha tenido una evolución importante en México, alcanzando una producción significativa y por ende una generación considerable de residuos de este proceso productivo. Los principales residuos que se generan a partir de este cultivo son de carácter orgánico, ya que el sustrato para el desarrollo y crecimiento del cultivo del hongo Shiitake conlleva el uso de materiales como troncos de árboles, aserrín y otros subproductos agrícolas o agroindustriales disponibles en la región (Romero-Arenas *et al.*, 2015).

Ante este panorama, es necesario contemplar un uso alternativo a los residuos generados en la producción de



hongos comestibles ya que, de no ser así, se contribuye ampliamente a la contaminación ambiental. Se han llevado a cabo estudios que demuestran que los sustratos residuales de la producción de hongos comestibles son materiales que pueden tener diversas aplicaciones en otros procesos productivos, tales como: abono orgánico, nematocida y principalmente como sustrato para la bioremediación *in situ* de suelos contaminados por hidrocarburos aromáticos, pesticidas y bifenoles policlorados (Robles, González, Crawford y Chun, 2008; Rojas, 2013). El sustrato residual de hongos comestibles presenta una gran cantidad de enzimas hidrolíticas y oxidativas que liberan los hongos para la obtención de nutrientes (Tuomela, Vikman, Hattaka e Itävaara, 2000).

OBJETIVOS

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo caracterizar las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de la composta a base de residuos de la producción del hongo Shiitake y evaluar sus características como sustrato en la producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Elaboración de composta

Los sustratos residuales empleados en la presente investigación provienen de la planta piloto de hongos comestibles del Centro de Agroecología-BUAP. Los residuos se colocaron en un contenedor de plástico negro de 3 m × 8 m. Posteriormente se adicionó 1 kg de activador biológico a base de levaduras y actinomicetos disueltos en 10 L de agua, se realizaron tres riegos por día para mantener la humedad a 60%; los riegos se realizaron cada semana, a través de movimientos oscilatorios. Este material se cubrió con plástico de color negro para incrementar la temperatura a 65 °C. Al cabo de seis meses se obtuvo un material color oscuro y de olor agradable, el cual fue secado y tamizado a 2.5 mm para la obtención de un material homogéneo (Rodríguez, 2008).

Caracterización físico, química y microbiológica

La composta a base de residuos de la producción del hongo Shiitake fue analizada utilizando la metodología establecida en la Norma Mexicana NOM-021 (Semarnat, 2002), para determinar los macronutrientes (N, P, K), los cuales intervienen en el desarrollo de las plantas, al igual que lo hacen la retención de humedad, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, la densidad aparente, el pH, la conductividad eléctrica y el porcentaje de humedad. Los análisis bacteriológicos se realizaron en el Centro de Investigaciones Microbiológicas ICUAP de la BUAP, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1 (Semarnat, 1995), para establecer un recuento de unidades formadoras de colonias (UFC); el método se basa en que cada organismo presente desarrollará una colonia visible. Para ello se diluyó un gramo de composta en 10 mL de caldo nutritivo contenido en un tubo de ensayo, se mantuvo un movimiento circular por 5 min; después se tomó 1 mL de la solución contenida en este tubo para ser diluido en 9 mL de caldo nuevamente, así consecutivamente hasta completar 10 repeticiones incluyendo la primera. Al término de este proceso de dilución, se tomaron 10 µL por cada dilución y se colocaron en el centro de cajas Petri con medio de cultivo Infusión Cerebro Corazón (ICC), 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 para transformarse a UFC por gramo de composta. Finalmente, se aislaron 50 colonias de acuerdo con su morfología para ser identificadas por medio de cultivo CHROMagar Orientación^{BD}®. Se sembraron por el método de picadura y posteriormente se incubaron durante 48 h a una temperatura de 37 °C.

El reconocimiento de los microorganismos se realizó siguiendo las especificaciones del productor, planteadas en la tabla 1 (Merlino *et al.*, 1996).

TABLA 1. Apariencia de los microorganismos presentes en la composta mediante CHROMagar OrientaciónBD®.

Microorganismo	Apariencia de las colonias	Pruebas confirmatorias
<i>E. coli</i>	Colonias rosadas, transparentes, de tamaño medio con o sin halos alrededor.	-
Grupo KES *	Colonias de tamaño medio y pigmento azul oscuro.	BBL Crystal E/NF, Indol
Grupo PMP **	Colonias beige o crema redondeadas por halos marrón.	BBL Crystal E/NF, Indol
<i>Enterococcus</i> sp.	Colonias verde azul de tamaño pequeño.	-
<i>Streptococcus agalactiae</i>	Colonias pequeñas con pigmento verde, azul claro.	-
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	Colonias pequeñas color púrpura, opacas con o sin halos.	Disco de 5 µg novobiocina
Otros (Incluyendo <i>Salmonella</i> sp.)	Colonias sin pigmento, color crema.	Colonias sin pigmento, color crema

* Klebsiella sp., Enterobacter sp. y Serratia sp.

** Proteus sp., Morganella sp. y Providencia sp.

Trasplante

Las plántulas de 30 días de germinación en almácigo se colocaron en un recipiente con agua limpia durante 20 min, para evitar el contacto con el aire y rayos solares los cuales pudieran provocarles daños. Se trasplantaron a tubetes estériles de polipropileno estabilizador ultra violeta, de 137 cm³, cuyas dimensiones fueron: largo 16.7 cm, diámetro superior 4.6 cm y diámetro inferior 2.8 cm. El trasplante se realizó con humedad adecuada para poder insertar el sembrador (estaca de madera con una punta). La plántula se tomó de la base del tallo para colocar la raíz derecha en

el orificio hecho por el sembrador en el sustrato del tubete; se cubrió la raíz con el cuidado de no dejar espacios con aire entre la raíz y el sustrato, el sustrato se dejó lo más nivelado posible. Los tubetes se colocaron en charolas fabricadas de polipropileno con 30% de fibra de vidrio, cuyas dimensiones son 37 cm, 34 cm y 18.4 cm de largo, ancho y alto respectivamente. Cada charola contiene 49 cavidades, donde se colocaron las plántulas correspondientes a cada uno de los tratamientos (Tabla 2) y sus respectivas repeticiones, hasta un total de 784 plántulas en 16 charolas con una distribución completamente al azar en condiciones de vivero.

TABLA 2. Proporciones de los componentes a probar utilizando composta a base de residuos de la producción de Shiitake como sustituto del *Peat Moss*.

Componentes para la mezclas, %					
Tratamientos	Composta de Shiitake	Peat Moss	Agrolita	Vermiculita	Total
T1*		33.3	33.33	33.33	
T2	80		10	10	100
T3	50		25	25	
T4	33.33		33.33	33.33	

T1* = Testigo, mezcla utilizada comúnmente en el vivero forestal de "Flor de Bosque" para la siembra en almácigo.

Manejo de plántulas de *Pinus pseudostrobus* en vivero

Los riegos se realizaron cada tercer día por la mañana durante 6 meses, el deshierbe cada 30 días y para la fertilización se siguieron las prácticas realizadas

comúnmente por el personal del vivero forestal "Flor de Bosque", donde se realizó el experimento. Se dio el mismo manejo a todas las plántulas, la única variación se realizó en la composición de los sustratos. Durante el desarrollo inicial de las plántulas en vivero, se realizaron fertilizaciones en tres etapas constituidas con nitrógeno (N), fósforo (P) y



potasio (K): iniciador, crecimiento y endurecimiento. El iniciador estaba constituido por (9-45-15) y las proporciones utilizadas fueron 0.83 g L⁻¹ (75 ppm), en la etapa de crecimiento se utilizó (20-10-20) con una proporción de 0.60 g L⁻¹ (120 ppm) y endurecimiento con (4-25-35) 1.25 g L⁻¹ (50 ppm). Como preventivo para el ataque de algún hongo se aplicaron fungicidas: Captan®, Tecto®, Previcur®, Derosal® y Foley® para el control de plagas.

Evaluación de las variables

Para la determinación de atributos morfológicos, se tomaron en cuenta cuatro mediciones con respecto al periodo de abril-julio 2015, de las cuales solamente se tomó una muestra representativa de 25 plántulas por charola, de manera sistemática (Reyes-Reyes, Aldrete, Cetina-Alcalá y López-Upton, 2005). A las plántulas seleccionadas se les midió altura y diámetro para observar el comportamiento en el desarrollo inicial del *Pinus pseudostrobus* en los diferentes tratamientos. Al cabo de 180 días del experimento, se procedió a determinar los índices de calidad de las plántulas y, para ello, se tomaron datos de diámetro en la base del tallo, altura de la planta y biomasa aérea y radical.

La altura se midió en centímetros desde la base del tallo hasta la yema apical (regla graduada), el diámetro se midió en milímetros en la base del tallo mediante el uso de un vernier. Para evaluar la biomasa seca se extrajeron las plántulas de los contenedores y se les quitó cuidadosamente todo el sustrato adherido a la raíz. Para obtener masa de la parte aérea y radicular, las muestras se colocaron en bolsas de papel, separando la parte aérea y la radical y se secaron en estufa con circulación forzada de aire a 70 °C, hasta obtener una masa constante (48 h); transcurrido este periodo, se pesaron en una balanza digital con resolución de 0.01 g (Rodríguez *et al.*, 2010; Lázaro-Dzul *et al.*, 2012).

A partir de las variables altura, diámetro, masa seca aérea y radicular de la planta, se estimaron la relación parte aérea/raíz, el índice de esbeltez y el índice de calidad de Dickson (ICD). La relación parte aérea/raíz se estimó como el cociente entre la masa aérea seca (g) y la masa radical seca (g). El índice de esbeltez se calculó mediante el

coeficiente de la altura y el diámetro del tallo (Romero-Arenas *et al.*, 2012).

El ICD resultó de integrar los valores de masa seca total e índice de esbeltez y la relación parte aérea/raíz (Dickson, Leaf y Horsen, 1960).

$$ICD = \frac{PST}{\frac{A}{D} + \frac{PSA}{PSR}}$$

donde:

ICD: Índice de calidad de Dickson

PST: masa seca total de la planta (g)

PSA: masa seca de la parte aérea de la planta (g)

PSR: masa seca de la parte radical de la planta (g)

A: altura de la planta (cm)

D: diámetro de la planta (mm)

Los datos obtenidos se procesaron en el paquete estadístico SPSS Statistics versión 17 (Statistical Package for the Social Sciences-IBM) para realizar el análisis de varianza (ANOVA) y, posteriormente, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0.05$) para determinar diferencias entre los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física y química

La composta a base de residuos de la producción del hongo Shiitake presenta una densidad aparente menor a 1 g cm⁻³ y se encuentra dentro de los valores óptimos de un buen sustrato (Handreck y Black, 1994). Asimismo, esta composta presenta 25% de porosidad, 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. De acuerdo con Cabrera (1999), los valores para la porosidad no deben ser inferiores a 10% y 20% ya que, de ser así, la planta no tendrá suficiente aireación y más cuando se trata de una siembra en recipientes como el caso de viveros forestales con el uso de conos.

En cuanto a humedad, presenta un valor de 33% y 40.1% de capacidad de retención de agua, estos valores se encuentran dentro de los óptimos para que se aprovechen la disposición de nutrientes necesarios para que la semilla germine y que la plántula emplea en su crecimiento y desarrollo en el vivero forestal (Ortega-Martínez, Sánchez, Díaz y Ocampo, 2010).

El pH de la composta es ligeramente alcalino con un valor de 7.3, esto se debe al carácter básico del material orgánico que ha sufrido un proceso de degradación (aserrín de encino); Pérez, Céspedes y Núñez (2008) encontraron un pH de 8.13 para diferentes mezclas de materiales orgánicos y aserrín de pino en el proceso de germinación.

La conductividad eléctrica (CE) obtenida para la composta de residuos del hongo Shiitake es de 3.82 dS / m. García *et al.* (2001) recomiendan un valor máximo de CE de 3 dS / m para sustratos, por otro lado Mateo-Sánchez, Bonifacio-Vázquez, Pérez-Ríos, Mohedano-Caballero y Capulín-Grande (2011) establecen un valor que oscile entre 2 dS / m y 4 dS / m para una composta de buena calidad.

La presencia de nitrógeno, fósforo y potasio mayor a 1% en un sustrato determina un desarrollo saludable de una planta (García *et al.*, 2001). Los resultados de la presente investigación son de N 1.14%, P 0.18% y K 0.80%. Castillo, Quarín e Iglesias (2000) mencionan un contenido de N entre 0.57% y 1.25%, P de 0.03% y K entre 0.11% y 0.77%, para distintas compostas a base de residuos urbanos y estiércol. En el caso de la composta a base de residuos de la producción de café con estiércol, Pierre, Rosell, Quiroz y Granda (2009) muestran valores de N 1.44%, P 0.5% y K 0.86%, valores muy similares obtenidos en la presente investigación.

Los materiales orgánicos presentan una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), relacionada con la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Un sustrato debe contener un mínimo de 30 Meq / 100 g (Pérez, Pérez y Vertel, 2010). La composta a base de residuos de la producción del hongo Shiitake presenta 3256 Meq / 100 g, lo que asegura un depósito de reserva de nutrientes

disponibles y garantiza el proceso de desarrollo de plántula (Zapata, Guerrero y Polo, 2005).

La cantidad de materia orgánica presente en la composta es de 41.8%, este valor se encuentran dentro del promedio (25% - 70%) establecido en el proceso de composteo (Pierre *et al.*, 2009). En el caso de la composta de aserrín mezclado con estiércol en diferentes proporciones, los valores oscilan entre 46% y 57%, lo cual se asemeja a los resultados obtenidos en la presente investigación (Zapata *et al.*, 2005). En la tabla 3 se muestra los valores que se obtuvieron para cada parámetro físico-químico evaluado.

Caracterización microbiológica

Las condiciones microbiológicas presentes en la composta dependen en gran medida de las condiciones físico-químicas de la misma. Los factores que más influyen en el metabolismo microbiano son el pH, la temperatura, el oxígeno y la humedad, los cuales a su vez dependen del material orgánico y del manejo del proceso (Pérez *et al.*, 2010). A través de los análisis microbiológicos se logró establecer una cantidad de 3.6×10^4 UFC g⁻¹, la cual al ser comparada con los valores establecidos por Pérez *et al.* (2008), resulta ser ligeramente baja, hecho que se atribuye al material usado ya que los materiales provenientes de animales contienen una mayor población microbiana; estos materiales no fueron utilizados en el proceso de composteo.

Las bacterias identificadas (Tabla 4) corresponden a microorganismos, comúnmente encontrados en el proceso de compostaje (Arbeit *et al.*, 1990).

Evaluación de calidad de planta

El desarrollo inicial de plántulas de *Pinus pseudostrobus* en vivero, presentó la mayor altura (14.11 cm) en las plántulas desarrolladas en el tratamiento testigo compuesto por *Peat Moss* 33% + vermiculita 33% + agrolita 33% (Fig. 1). La menor altura (11.55 cm) se presentó en el tratamiento 4 (Composta 33% + vermiculita 33% + agrolita 33%). De acuerdo con Mexal y Landis (1990), la altura 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 (Rodríguez, 2008).



TABLA 3. Caracterización físico-química del residuo de la producción del hongo Shiitake (*Lentinula edodes*) al termino del proceso de composteo.

Parámetro	Método analítico	Unidades	Resultados
Retención de humedad	NOM-021-SEMARNAT-2000 AS-06	%	40.1
Humedad	NOM-021-SEMARNAT-2002 AS-05	%	33
Densidad aparente	NOM-021-SEMARNAT-2002 AS-03	g cm ⁻³	< 1.0
Porosidad	Método Interno	%	25
Nitrógeno total	NOM-021-SEMARNAT-2000	%	1.14
Contenido de materia orgánica	NOM-021-SEMARNAT-2000 AS-07	%	41.8
Capacidad de intercambio catiónico	NOM-021-SEMARNAT-2002 AS-13	Meq/100g	3256
Conductividad eléctrica	NOM-021-SEMARNAT-2002 AS-18	dS m ⁻¹	3.82
Fósforo total	EPA 6010	%	0.18
Potasio total	EPA 6010	%	0.8
Ca ++	EPA 6010C	%	0.42
Mg ++	EPA 6010C	%	0.06
Na+	EPA 6010C	%	0.03
pH	NOM-021-SEMARNAT-2002 AS-02	pH	7.3

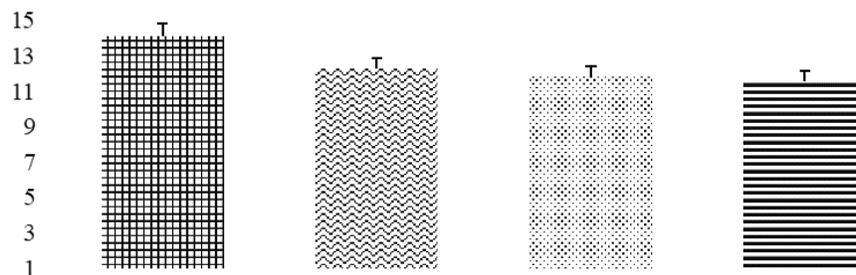
Meq/100g = ppm del catión / (masa equivalente × 10)

TABLA 4. Bacterias identificadas de la composta del residuo de la producción del hongo Shiitake (*Lentinula edodes*).

Género	No. Total de colonias	% total	Gram +/-	3.6×10 ⁴ UFC g ⁻¹
<i>Klebsiella</i>	15	30	-	1.08 a
<i>Pseudomonas</i>	15	30	-	1.08 a
<i>Proteus mirabilis</i>	7	14	-	0.5 b
<i>Citrobacter</i>	6	12	-	0.4 b
<i>Enterococcus</i>	7	14	+	0.5 b

UFC = Unidades formadoras de colonias.

Altura (cm)



■ T1=33% Peat Moss + 33% vermiculite + 33% perlite
 ≈ T2= 80% Compost + 10% vermiculite + 10% perlite
 ∴ T3= 50% Compost + 25% vermiculite + 25% perlite
 = T4= 33% Compost + 33% vermiculite + 33% perlite

FIGURA 1. Comparación de medias de altura de las plántulas.



El diámetro de una plántula forestal es quizás la variable más importante a evaluar 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 con las especies (Mexal y Landis, 1990). Es importante mencionar que el diámetro adecuado de 5 mm corresponde a plantas que se han desarrollado en vivero durante 8 meses, lo cual no sucedió en la presente investigación ya que la evaluación se llevó a cabo a los 6 meses de edad de la planta, esto debido al ciclo de producción del vivero, por lo que los tratamientos no alcanzaron a sobrepasar los 4 mm de diámetro (Fig. 2).

Dentro de las variables indicadoras de calidad de planta, el valor más alto de la relación parte aérea/raíz (3.68) se presentó en plántulas que se desarrollaron en el tratamiento 4, que supera a la mezcla testigo, presentando diferencias estadísticas para los tratamientos probados (Tabla 5). Los valores promedio del índice de esbeltez muestran el desbalance entre la parte aérea y la raíz. El mayor índice de esbeltez (5.61) se presentó en plántulas desarrolladas en el tratamiento 4 (Composta 33% + vermiculita 33% + agrolita 33%) y el más bajo (3.98) en el

tratamiento testigo. Este índice relaciona la resistencia de la planta con la capacidad fotosintética de la misma (Sánchez-Córdova *et al.*, 2008).

El índice de calidad de Dickson combina la información de los índices anteriores y los ajusta por el efecto del tamaño de la planta, por lo que un aumento en este índice significa plantas de mejor calidad, lo cual implica que por una parte el desarrollo de la planta es grande y que al mismo tiempo las fracciones aérea y radicular están equilibradas (Lázaro-Dzul *et al.*, 2012).

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 su porcentaje de supervivencia; de acuerdo con los resultados obtenidos se establece un valor óptimo mayor a 0.2.

El valor más alto del índice de calidad de Dickson (0.27) fue para el tratamiento a base de Composta 50% + vermiculita 25% + agrolita 25%, seguido por el tratamiento 2; estos tratamientos no presentaron diferencias significativas con el grupo testigo (0.24). Los valores obtenidos se pueden comparar con los de Maldonado (2010), en la producción de *Pinus greggii* Engelm, que van de 0.20 a 0.28. Mateo-Sánchez *et al.* (2011) encontraron, para *Cedrela odorata* L., valores de ICD que van de 0.17 a 0.30; menores a los observados por Reyes-Reyes *et al.* (2005).

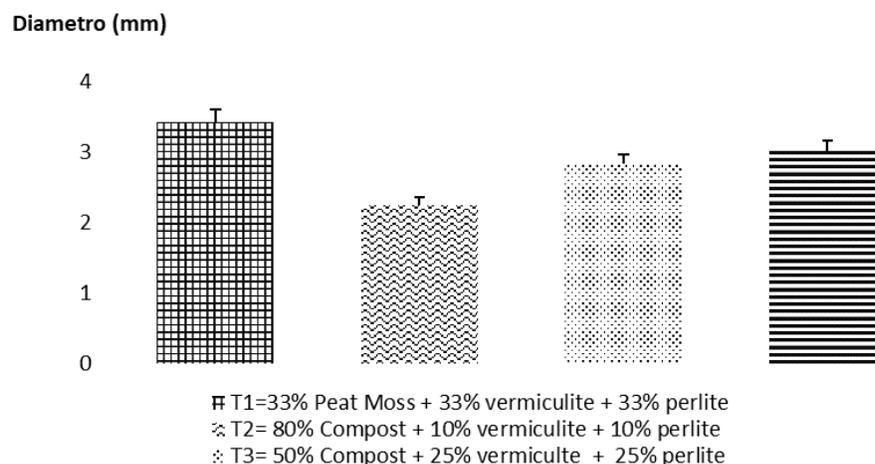


FIGURA 2. Comparación de medias en diámetro de la base del tallo de las plántulas.

TABLA 5. Comparación de Medias en respuesta a los tratamientos para el crecimiento inicial de *Pinus pseudostrabus*.

Tratamiento	RPA/R	IE	ICD
T1 = 33% Peat Moss + 33% Agrolita +33% Vermiculita	3.629a	3.998c	0.245a
T2 = 80% Composta + 10% Agrolita +10% Vermiculita	2.679b	5.280ab	0.255a
T3 = 50% Composta + 25% Agrolita +25% Vermiculita	3.087ab	4.268bc	0.277a
T4 = 33% Composta + 33% Agrolita +33% Vermiculita	3.680a	5.618a	0.138b

* Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey = 0.05).
ICD = índice de calidad de Dickson.

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*, ya que promueve más de 90% de producción de plántulas en vivero.
2. La composta mostró buen contenido de N de 1.14%, K de 0.80% y P de 0.18%, macroelementos necesarios para el desarrollo y crecimiento de las plantas.
3. La composta presenta un total de 3.6×10^4 UFC, siendo *Klebsiella* y *Pseudomonas* los géneros más representativos del total de la carga bacteriana.
4. Las plántulas de *Pinus pseudostrabus* (Lindl) que se desarrollaron en composta de Shiitake 50% + vermiculita 25% + agrolita 25%, presentaron el mejor ICD con respecto a los demás tratamientos, además muestra la formación de un buen cepellón.

RECONOCIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas (CICM-ICUAP) por brindar las facilidades de efectuar las pruebas bacteriológicas dentro de sus instalaciones. A la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por su apoyo durante la realización de la presente investigación y al vivero forestal "Flor del Bosque" Semarnat, Puebla-México.

REFERENCIAS

Altieri, M., & Nicholls, C. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8, 7-20.

Arbeit, R., Arthur, M., Dunn, R., Kim, C., Selander, R. K., & Goldstein, R. (1990). Resolution of recent evolutionary divergence among *Escherichia coli* from related lineages: The application of pulsed field electrophoresis to molecular epidemiology. *The Journal of Infectious Diseases*, 161, 230-235. doi: 10.1093/infdis/161.2.230

Benítez, G., Equihua, M., & Pulido, M. T. (2002). Diagnóstico de la situación de los viveros oficiales de Veracruz y su papel para apoyar programas de reforestación y restauración. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8, 5-12.

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.

Castillo, A. E., Quarín, S. H., & Iglesias, M.C. (2000). Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura Técnica*, 60(1), 74-79. doi: 10.4067/S0365-28072000000100008

Cheung, P. C. (2010). The nutritional and health benefits of mushrooms. *Nutrition Bulletin*, 35(4), 292-299. doi: 10.1111/j.1467-3010.2010.01859.x

Dickson, A., Leaf, A. L., & Horsen, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry. Chronicle*. 36(1), 10-13. doi: 10.5558/tfc36010-1

García, O. C., Alcantar, G. G., Cabrera, R. I., Gavi, F. R., & Volke, V. H. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra*, 19(3), 249-258.

Handreck, K., & Black, N. (1994). *Growing media for ornamental plants and turf*. Kensington, Australia: New South Wales University Press.

Lázaro-Dzul, M.O., Velázquez-Mendoza, J., Vargas-Hernández, J., Gómez, G. A., Álvarez, S. M., & López, L. A. (2012). Fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en un latizal de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*. 18(1), 33-42. doi: 10.5154/r.rchscfa.2011.01.001

- Maldonado, K. R. (2010). *Sustratos alternativos para la producción de Pinus greggii Engelm.* p. 103. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo Texcoco, Edo. de México, México.
- Martínez-Guerrero, G. M., Sihuana, D., Macías-López, A., Pérez-López, R. I., Martínez-Madrigal, J. D., & Lopez-Olguín, J. F. (2012). Characterization and production of Shiitake (*Lentinula edodes*) in Mexico using supplemented sawdust. *African Journal of Biotechnology*, 11(46), 10582-10588. DOI: 10.5897/AJB12.266
- Martínez-Carrera, D., Morales, P., Sobal, M., Bonilla, M., & Martínez, W. (2007). México ante la globalización en el siglo XXI: El sistema de producción-consumo de los hongos comestibles. En J. E. Sánchez, D. Martínez-Carrera, G. Mata, & H. Leal (Eds.), *El cultivo de setas Pleurotus spp. en México* (cap. 6). México, D. F.: Ecosur-Conacyt.
- Mateo-Sánchez, J. J., Bonifacio-Vázquez, R., Pérez-Ríos, S. R., Mohedano-Caballero, L., & Capulín-Grande, J. (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.
- Merlino, J., Siarakas, S., Robertson, G. J., Funnell, G. R., Gottlieb, T., & 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), 1778-1793.
- Mexal, J. G., & Landis, T. D. (1990). *Target seedling concepts: height and diameter*. In R. Rose, S. J. Campbell, & T. D. Landis (Eds.), *Target seedlings symposium* (Gen. Tech. Rep. RM-GTR-200) (pp. 105-119). Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. doi: 10.2737/RMRS-GTR-200
- Nieto-Ramírez, I. J., Rojas-Luna, R., & Suarez A., C. (2012). Evaluación del estípite de Shiitake como aportante de fibra y bioactivos con miras a su empleo en alimentos funcionales. *Vitae*. 19(1), S331-S333.
- Ortega-Martínez, L., Sánchez O., J., Díaz R., R., & Ocampo M., J. (2010). Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL). *Ra Ximhai*, 6(3), 339-346.
- Pausas, J. G. (2015) Evolutionary fire ecology: lessons learned from pines. *Trends in Plant Science*. 20(5), 318–324. doi: 10.1016/j.tplants.2015.03.001
- Pérez, A., Céspedes, C., & Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*. 8(4), 10-29. doi: 10.4067/S0718-27912008000300002
- Pérez C., R., Pérez C., A., & Vertel, 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*, 1(5), 27-37.
- Piccinin, E., Di Piero, R. M., & Florentino, S. (2010). Cogumelo “shiitake” (*Lentinula edodes*) reduz o crescimento de fitopatógenos e a severidade de manchas foliares em sorgo . *Summa Phytopathologica*, 36(1), 68-72. doi: 10.1590/S0100-54052010000100012
- Pierre, F., Rosell, M., Quiroz, A., & Granda, Y. (2009). Evaluación química y biológica del compost de pulpa de café en caspito, Municipio Andrés Bello Blanco, estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 21(2), 105-110.
- Ramírez-Herrera, C., Vargas-Hernández, J. J., & López-Upton, J. (2005). Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta Botánica Mexicana*, 72, 1-16. doi: 10.21829/abm72.2005.997
- Reyes-Reyes J., Aldrete, A., Cetina-Alcalá, V. M., & López-Upton, J. (2005). Producción de plántulas de *Pinus pseudostrabus* var. *Acapulcensis* en sustrato a base de aserrín. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11(2), 105-110.
- Robles H., L., González, A., Crawford, D., & Chun, W. (2008). Review of environmental organopollutants degradation by white-rot basidiomycete mushrooms. *Tecnociencia Chihuahua*, 2(1), 32-39.
- Rodríguez M., R., Alcantar G., E., Iñiguez C., G., Zamora N., F., García L., P., M., Ruiz L., M., & Salcedo P., E. (2010). Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia*, 35(7), 515-520.
- Rodríguez T., D. (2008). *Indicadores de la calidad de planta forestal*. México: Universidad Autónoma Chapingo-Mundi-Presa.
- Rojas R., L. (2013). Los basidiomicetos: una herramienta biotecnológica promisoría con impacto en la agricultura. *Fitosanidad*, 17(1), 49-55.
- Romero-Arenas, O., López E., R., Damián H., M., Hernández T., I., Parraguire, J. F., & Huerta L., M. (2012). Evaluación del residuo de cáscara de nuez (*Juglans Regia* L.) en la producción de plántulas de *Pinus patula*, en vivero. *Agronomía Costarricense*, 36(2), 103-110.
- Romero-Arenas, O., Martínez G., M., Damián H., M., Ramírez V., B., & López-Olguín, F. (2015). Producción del hongo Shiitake (*Lentinula edodes* Pegler) en bloques sintéticos utilizando residuos agroforestales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6), 1229-1238.
- Sánchez-Córdova, T., Aldrete, A., Cetina-Alcalá, V. M., & López-Upton, J. (2008). Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques*, 14(2), 41-49. doi: 10.21829/myb.2008.1421211



- Sánchez-González, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques*, 14(1), 107-120. doi: 10.21829/myb.2008.1411222
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (1995). Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, para establecer un recuento de unidades formadoras de colonias (UFC). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, p. 73.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, p. 78.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2014). Evaluación de degradación de los suelos causada por el hombre en la República Mexicana. Escala 1:250,000.
- Tuomela, M., Vikman, M., Hattaka, A., & Itävaara, M. (2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresearch y Technology*, 72(2), 169-183. doi: 10.1016/S0960-8524(99)00104-2
- Wightman, K., & Santiago C., B. (2003). La cadena de reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. *Forestal Veracruzana*, 5(1), 45-51.
- Yaoqi, Z., Wei, G., Yueqin, S., Yanling, W., & Yu-Cheng, D. (2014). Edible mushroom cultivation for food security and rural development in China: Bio-innovation, technological dissemination and marketing. *Sustainability*, 6(5), 2961-2973. doi: doi.org/10.3390/su6052961
- Zapata, N., Guerrero, F., & Polo, A. (2005). Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de sustrato de cultivo. *Agricultura Técnica*, 65(4), 378-38. doi: 10.4067/S0365-28072005000400004.

Manuscrito recibido el 06 de diciembre de 2017

Aceptado el 30 de octubre de 2018

Publicado el 29 de julio de 2019

Este documento se debe citar como:

Romero-Arenas, O., Flores F., A. P., Rivera T., J. A., Hernández A., F., Parraguirre L., J. F. C., Villa R., N., & Landeta C., G. (2019). Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* en composta a base de residuos de Shiitake en vivero. *Madera y Bosques*, 25(1), e2511675. doi: 10.21829/myb.2019.2511675



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.