

SUSTRATOS CON ASERRÍN DE CONÍFERAS Y LATIFOLIADAS PARA PRODUCIR PLANTA DE *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

SUBSTRATES WITH SAWDUST FROM CONIFERS AND BROADLEAF TREES TO PRODUCE PLANT OF *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

Manuel Aguilera-Rodríguez¹, Arnulfo Aldrete^{1*}, Libia Iris Trejo-Téllez², Víctor M. Ordaz-Chaparro²

¹Ciencias Forestales, ²Edafología. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México.

*Autor para correspondencia: Arnulfo Aldrete (aaldrete@colpos.mx)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6995-8490>

RESUMEN

Desde el año 2003 en algunos viveros forestales del país se utilizan sustratos con aserrín fresco de pino y oyamel. Debido a la disponibilidad de aserrín de una variedad mayor de especies, este estudio planteó la hipótesis de que los sustratos con aserrín fresco de latifoliadas son aptos para producir planta de *Pinus patula* con calidad similar a la que se produce en sustratos con aserrín de especies de pino u oyamel. Para probarla, el objetivo fue evaluar el crecimiento de plantas de *P. patula* en charolas de poliestireno llenas con sustratos con 60% de aserrín fresco de las 11 principales especies forestales maderables (coníferas y latifoliadas) que se aprovechan en las regiones centro y sureste de México. El aserrín utilizado fue de las especies: *Abies religiosa*, *Hevea brasiliensis*, *Gmelina arborea*, *Mangifera indica*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Pinus teocote*, *Quercus laurina*, *Quercus rugosa* y *Tectona grandis*. Las charolas (77 cavidades de 170 cm³) se llenaron con mezcla de sustrato con aserrín (60%), corteza de pino compostada, perlita y vermiculita (20, 10 y 10%). A cada mezcla para rellenar charolas se adicionó fertilizante: Multicote® 18-6-12 y 12-24-12 (N-P₂O₅-K₂O) de 8 meses de liberación (4 g L⁻¹ de cada uno) y Micromax® (1 g L⁻¹). El diseño experimental fue completamente al azar e incluyó 11 tratamientos y cuatro repeticiones. A los siete meses se presentaron diferencias (p≤0.05) por tratamiento en diámetro, altura, pesos secos, índices de robustez y de calidad de Dickson, y en la concentración foliar de N, K, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B. Con todos los sustratos se obtuvieron índices de calidad de Dickson ≥0.47; diámetros ≥4 mm y alturas de 20 a 30 cm, excepto el de *M. indica*. Las concentraciones de N y P fueron ≥1.3 y 0.20%, excepto en las plantas de los sustratos *H. brasiliensis* y *M. indica*. Las concentraciones de K, Mg, Ca, Zn y B fueron inferiores a los valores recomendados en todos

ABSTRACT

Since 2003, some forest nurseries in the country have been using substrates with fresh sawdust from pine and fir. Due to the availability of sawdust from a greater variety of species, this study proposed the hypothesis that substrates with fresh sawdust from broadleaf trees are suitable for producing *Pinus patula* plants with a quality similar to that produced in substrates with sawdust from pine or fir species. To test it, the objective was to evaluate the growth of *P. patula* seedlings in polystyrene trays filled with substrates with 60% fresh sawdust of the 11 main timber forest species (conifers and broadleaf trees) that are used in central and south-eastern México. The sawdust used was of the species: *Abies religiosa*, *Hevea brasiliensis*, *Gmelina arborea*, *Mangifera indica*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Pinus teocote*, *Quercus laurina*, *Quercus rugosa* and *Tectona grandis*. The polystyrene trays (77 cavities, 170 cm³ each) were filled with a substrate mixture of sawdust (60%), composted pine bark, perlite and vermiculite (20, 10 and 10%). Fertilizers were added to each tray filling mixture: Multicote® 18-6-12 and 12-24-12 (N-P₂O₅-K₂O) 8 months of controlled-release (4 g L⁻¹ each) and Micromax® (1 g L⁻¹). The experimental design was completely randomized and included 11 treatments and four replicates. At seven months, there were differences (p≤0.05) by treatment in diameter, height, dry weights, sturdiness quotient and Dickson's quality indexes, and in the leaf concentration of N, K, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu and B. With all substrates, Dickson's quality indexes ≥0.47; diameters ≥4 mm and heights 20 to 30 cm were obtained, except with that of *M. indica*. N and P concentrations were ≥1.3 and 0.20%, except in plants grown in *H. brasiliensis* and *M. indica* substrates. Concentrations of K, Mg, Ca, Zn and B were lower than the recommended values in all treatments. The plant produced in the substrate with *P. ayacahuite* sawdust developed the best morphological and nutrient concentration variables, while the lowest values were observed in the plant grown in *M. indica* substrate. This is attributed respectively, to the lower and

Recibido: enero, 2021. Aprobado: noviembre, 2021.

Publicado en *Agrociencia* 55: 719-732. 2021.

los tratamientos. La planta producida en el sustrato con aserrín de *P. ayacahuite* desarrolló las mejores variables morfológicas y de concentración de nutrientes; mientras que los valores más bajos se observaron en la planta con sustrato de *M. indica*. Lo cual se atribuye respectivamente, al menor y al mayor contenido de sales y fenoles en el aserrín de esas dos especies.

Palabras clave: aserrín fresco, fenoles, fertilizantes de liberación controlada, *Pinus patula*.

INTRODUCCIÓN

Durante las tres décadas recientes se han desarrollado en México cuatro programas nacionales de reforestación con propósitos de restauración: Solidaridad Forestal, Programa Nacional de Reforestación, ProÁrbol y Programa Nacional Forestal. Con estos programas se logró incrementar la producción anual de planta, de 30 millones antes de 1993, a 300 millones en 2011 (SE, 2016). De 2012 a 2018 la producción anual promedio se mantuvo en 300 millones y para el período 2019-2020 se redujo a 22 millones (CONAFOR, 2020). La reducción en la producción de planta para restauración obedece a que durante el 2018 se instituyó el programa federal Sembrando Vida, con una meta de un millón de hectáreas de plantaciones agroforestales durante el período 2018-2024; para lo cual se estima se producirán mil millones de plantas durante ese período.

A partir de 1993 se comenzó a popularizar la producción de planta en contenedores (charolas) y durante 2016 se produjo en este sistema 93% de la planta y 7% en bolsas de polietileno y a raíz desnuda (CONAFOR, 2017). Durante la década de los noventa la producción en charolas se realizaba con sustratos elaborados con turba de musgo (TM) importada de Canadá y Europa, perlita y vermiculita (en mezclas de esos materiales en proporción 60, 20 y 20%). La nutrición de la planta se realizaba con dos tipos de fertilizantes: de liberación controlada (FLC) adicionados al sustrato; e hidrosolubles (FHS), adicionados al agua de riego después de la germinación de la semilla (Aguilera *et al.*, 2016).

Después de 2001, comenzó la sustitución parcial de la turba de musgo por otros insumos locales más económicos, como la corteza de pino compostada (CPC), aserrín de pino fresco (APF) y de oyamel (*Abies religiosa* Kunth Schltdl. et Cham.), fibra de coco y bagazos compostados de agaves, caña de azú-

higher content of salts and phenols in the sawdust of those two species.

Key words: fresh sawdust, phenols, controlled-release fertilizers, *Pinus patula*.

INTRODUCTION

During the latest three decades, four national reforestation programs have been developed in Mexico for restoration purposes: Solidaridad Forestal, Programa Nacional de Reforestación, ProÁrbol and Programa Nacional Forestal. With these programs it was possible to increase annual plant production from 30 million before 1993 to 300 million in 2011 (SE, 2016). From 2012 to 2018 the average annual production remained at 300 million and for 2019-2020 it was reduced to 22 million (CONAFOR, 2020). The reduction in plant production for restoration is due to the fact that starting at 2018 the federal program Sembrando Vida was established, with a goal of one million hectares of agroforestry plantations during the period 2018-2024; for which it is estimated that one billion plants shall be produced over that period. Since 1993, plant production in containers (trays) become popular and during 2016, 93% of the plant was produced in this system, the remaining 7% in polyethylene bags and bare root (CONAFOR, 2017). During the 1990s, production in trays was done with substrates prepared with peat moss (TM) imported from Canada and Europe, perlite and vermiculite (in mixtures of these materials in a 60-20-20% proportion). Plant nutrition was supplied with two types of fertilizers: controlled-release (FLC) fertilizers added to the substrate; and water soluble (FHS) fertilizers, added to the irrigation water after seed germination (Aguilera *et al.*, 2016).

After 2001, it began the partial substitution of peat moss for other cheaper local materials, such as composted pine bark (CPC), fresh sawdust from pine (APF) or fir (*Abies religiosa* Kunth Schltdl. et Cham.), coconut fibre and composted bagasse from agaves, sugarcane and coffee. Likewise, several nurseries began to use fertilization plans with FLC as the single source of nutrition (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016).

Within the local organic materials currently in use to make substrates, conifer sawdust is one of the

car y café; de igual manera, en varios viveros se empezaron a utilizar esquemas de fertilización con FLC como fuente única de nutrición (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016).

De los materiales orgánicos locales de uso actual para elaborar sustratos, el aserrín de coníferas es de los más promisorios por algunas de sus características. En primer lugar, es abundante, se estima que durante el 2018 se produjeron 995 989, 42 637 y 2 583 m³ de aserrín de especies de los géneros *Pinus*, *Abies* y de otras coníferas. Esas cantidades se determinaron con los datos de la producción de madera aserrada en 2018 (SEMARNAT, 2021) que cuantificó la producción anual en tablas, tablones y polines (51%), costeras y recortes (27%) y aserrín (22%) (Zavala y Hernández, 2000).

El aserrín tiene un costo bajo, en promedio 1 m³ cuesta \$100.00 MXN (4.2 USD), en tanto que los costos respectivos de CPC y TM son de \$1000.00 MXN (41.7 USD) y \$2500.00 MXN (104.2 USD) por m³; y posee propiedades físicas y químicas (granulometría, porosidad, pH y CE) con variaciones mínimas entre la producción de un año y otro. También tiene un contenido mínimo o nulo de semillas de malezas y esporas de microorganismos patógenos; es compatible con otros insumos para elaborar sustratos con propiedades físicas y químicas apropiadas para producir planta de calidad (Hernández-Zárate *et al.*, 2014; González *et al.*, 2018). Por tales razones, es un medio de crecimiento apropiado para enraizar estacas de pino de calidad genética alta (Escamilla *et al.*, 2020).

Las dos desventajas principales del aserrín fresco de coníferas son, una alta relación C/N y en algunos casos, el contenido alto de sustancias químicas que pueden ser fitotóxicas para las plantas (fenoles, terpenos, ácidos orgánicos y grasos, sales y minerales). Ambas características pueden provocar alteraciones nutricionales, enzimáticas, hormonales y metabólicas que afectan el crecimiento normal de las plantas (Rau *et al.*, 2006). En los viveros forestales donde se utilizan sustratos con aserrín como componente principal, estas desventajas se han superado por medio de la aplicación de dosis de fertilizantes de liberación controlada hasta 33% superiores a las utilizadas en sustratos con TM o CPC. Además del manejo apropiado del riego para lixiviar las sustancias fitotóxicas disueltas durante el ciclo de producción (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016; Bautista *et al.*, 2018).

most promising due to their characteristics. First, it is abundant; we estimated that 995 989, 42 637 and 2 583 m³ of sawdust from species of the genus *Pinus*, *Abies* and other conifers were produced during 2018. These quantities were determined using data on timber produced in 2018 (SEMARNAT, 2021) which was quantified as the annual production of boards, planks and poles (51%), and also by-products, shorts and offcuts (27%) and sawdust (22%) (Zavala and Hernández, 2000).

Sawdust has a lower cost, on average 1 m³ costs 4.2 USD (\$100.00 MXN), while the respective costs of CPC and TM are 41.7 USD (\$1000.00 MXN) and 104.2 USD (\$2500.00 MXN) per m³; and it has physical and chemical properties (granulometry, porosity, pH and CE) with minimal variations from one year to another. It also has minimal or no content of weed seeds and spores of pathogenic microorganisms; it is compatible with other materials to prepare substrates with appropriate physical and chemical properties to produce quality plant (Hernández-Zárate *et al.*, 2014; González *et al.*, 2018). For such reasons, it is an appropriate growing medium for rooting pine cuttings of high genetic quality (Escamilla *et al.*, 2020).

The two main disadvantages of fresh coniferous sawdust are a high C/N ratio and, in some cases, the high content of chemical substances that can be phytotoxic to plants (phenols, terpenes, organic and fatty acids, salts and minerals). Both characteristics can cause nutritional, enzymatic, hormonal and metabolic alterations that affect normal plant growth (Rau *et al.*, 2006). In forest nurseries where substrates with sawdust as the main component are used, aforementioned disadvantages have been overcome by applying controlled-release fertilizer doses up to 33% higher than those used in substrates with TM or CPC; in addition to proper irrigation management to leach dissolved phytotoxic substances during the production cycle (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016; Bautista *et al.*, 2018).

Along with the promotion of restoration and agroforestry plantations, the establishment of forest plantations for commercial purposes has also increased. Until 2020, the establishment of 233 071 ha was reported, of which 77% corresponded to the genera *Eucalyptus*, *Cedrela*, *Pinus*, *Tectona*, and *Gmelina* (CONAFOR, 2020). Regarding sawdust from broadleaf tree species, it was estimated, with the

A la par del fomento a plantaciones de restauración y agroforestales, también ha incrementado el establecimiento de plantaciones forestales con fines comerciales. Hasta 2020 se documentó el establecimiento de 233 071 ha, de las cuales 77% correspondieron a los géneros *Eucalyptus*, *Cedrela*, *Pinus*, *Tectona*, y *Gmelina* (CONAFOR, 2020). Respecto al aserrín de especies latifoliadas se estimó, con el mismo procedimiento usado para cálculo de subproductos de especies de coníferas, una producción de 144 406 m³ durante 2018 (SEMARNAT, 2021). Aunque a la fecha no existen reportes técnicos en México sobre el uso del aserrín de estas especies en viveros forestales; como los ya reportados en otros países para *Platanus occidentalis* L. (Rau *et al.*, 2006) y *Gmelina arborea* Roxb. (Richmond, 2010).

En este contexto, con aserrín obtenido de 11 de las principales especies forestales maderables que se aprovechan en las regiones centro y sureste de México, entre ellas seis latifoliadas (*Hebea brasiliensis* Muell. Agr., *Gmelina arborea* Roxb., *Mangifera indica* L., *Quercus laurina* Humb. et Bonpl., *Q. rugosa* Neé., *Tectona grandis* L. f.); cuatro especies del género *Pinus* (*P. ayacahuite* Ehren., *P. montezumae* Lamb., *P. patula* Schiede ex Schltdl. et Cham., *P. teocote* Endl.) y *Abies religiosa* Kunth Schltdl. et Cham.; este estudio planteó la hipótesis de que los sustratos con aserrín fresco de latifoliadas son aptos para producir planta de *P. patula* con calidad similar a la que se produce en sustratos con aserrín de especies de pino u oyamel.

El objetivo fue evaluar el crecimiento de plantas de *P. patula* en charolas de poliestireno llenas con sustratos con 60% de aserrín fresco de las 11 principales especies forestales maderables (coníferas y latifoliadas) que se aprovechan en las regiones centro y sureste de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

La planta se produjo en un vivero forestal particular, denominado GUMAIR, localizado en las coordenadas geográficas 20° 09' 08" N y 98° 13' 12" O, en el municipio de Acaxochitlán, Hidalgo., en altitud de 2400 m. El clima en la zona es templado subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media mensual de 15.1 °C, precipitación media anual de 916 mm y período de lluvias de junio a octubre (CONAGUA, 2020). El vivero se

same procedure we used to calculate by-products from coniferous species, a production of 144 406 m³ during 2018 (SEMARNAT, 2021). Although to date there are no technical reports in Mexico on the use of sawdust from broadleaf tree species in forest nurseries; such as those figures already reported in other countries for *Platanus occidentalis* L. (Rau *et al.*, 2006) and *Gmelina arborea* Roxb. (Richmond, 2010).

Within this context, with sawdust obtained from 11 of the main timber forest species harvested in central and south-eastern Mexico, including six broadleaf tree species (*Hebea brasiliensis* Muell. Agr., *Gmelina arborea* Roxb., *Mangifera indica* L., *Quercus laurina* Humb. et Bonpl., *Q. rugosa* Neé., *Tectona grandis* L. f.); four species of the *Pinus* genus (*P. ayacahuite* Ehren., *P. montezumae* Lamb., *P. patula* Schiede ex Schltdl. et Cham., *P. teocote* Endl.) and *Abies religiosa* Kunth Schltdl. et Cham.; this study proposed the hypothesis that substrates with fresh sawdust from broadleaf trees are suitable for producing *P. patula* plants with similar quality to those produced in substrates with sawdust of pine or fir species.

The objective was to evaluate the growth of *P. patula* seedlings grown in polystyrene trays filled in with substrates with 60% fresh sawdust from the 11 main timber forest species (conifers and broadleaf trees) that are harvested in central and south-eastern Mexico.

MATERIALS AND METHODS

Study site location

The plant was produced in a private forest nursery called GUMAIR, located at the geographical coordinates 20° 09' 08" N and 98° 13' 12" W, in the municipality of Acaxochitlán, Hidalgo, at an altitude of 2400 m. The climate in the area is sub-humid temperate with rainfall in summer; mean monthly temperature of 15.1 °C; mean annual precipitation of 916 mm; and a rainy season from June to October (CONAGUA, 2020). The nursery was chosen because of expertise in the production of *P. patula* seedlings and other conifer species, grown with pine and fir sawdust substrates since 2012. The production area has a 5m-high metal structure to support a 50% black shade netting cover, 70 cm-high metal tables for holding trays, micro-sprinkler irrigation, and a floor with a permeable anti-weed netting cover (Ground cover®).

eligió por su experiencia en la producción de planta de *P. patula* y de otras especies de coníferas con sustratos de aserrín de pino y de oyamel desde 2012. El área de producción cuenta con estructura metálica de 5 m de alto para soportar una cubierta de malla sombra negra al 50%, mesas metálicas porta charolas de 70 cm de alto, riego por microaspersión y piso con cubierta de malla permeable anti hierbas (Ground cover®).

Insumos utilizados

Charolas

Para producir la planta se usaron charolas de poliestireno expandido de 35.0×60.0×15.2 cm, con 77 cavidades de forma cilíndrica (366 cavidades m⁻²), con diámetro superior y longitud de 4.3 y 15.2 mm y 170 cm³ de capacidad (Aislantes y Empaques, S. A. de C. V., México). Las cavidades se impregnaron por inmersión de las charolas en una solución con 6.7% de hidróxido de cobre comercial, elaborada con 4 L de sellador vinílico 5×1 (DOAL®), 10 L de agua potable y 1kg de hidróxido de cobre con una pureza de 77% (Hidromet®). Esta solución se utiliza de manera cotidiana en el vivero para propiciar la poda de las raíces laterales de las plantas, así como para prevenir que se incrusten en las paredes de las cavidades de las charolas (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016).

Sustratos

La mezcla estándar de uso común en el vivero fue la que se utilizó para el experimento; está compuesta por aserrín fresco (recién producido), corteza de pino compostada, perlita y vermiculita (60, 20, 10 y 10%), con granulometría ≤10mm. Con estas proporciones se elaboraron 11 mezclas con aserrín fresco de las especies: 1. *A. religiosa*, 2. *H. brasiliensis*, 3. *G. arborea*, 4. *M. indica*, 5. *P. ayacahuite*, 6. *P. montezumae*, 7. *P. patula*, 8. *P. teocote*, 9. *Q. laurina*, 10. *Q. rugosa* y 11. *T. grandis*.

Fertilizantes

A cada litro de sustrato se adicionaron estos productos, en sus dosis usuales, 4 g de FLC Multicote® 18-6-12 (NP₂O₅-K₂O) + 2Mg + ME y 4 g L⁻¹ de Multicote® 12-24-12 + 2MgO + 0.2B, ambos de 8 meses de liberación a temperatura constante de 21 °C (Haifa Chemicals Ltd., Haifa, Israel); 1 g de fertilizante de liberación lenta Micromax®, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn (6.00, 3.00, 12.00, 0.10, 1.00, 17.00, 2.50, 0.05, 1.00%) (eveRRIS ILC Fertilizer Company); y 0.1 g de biofungicida Bactiva® (Tecnologías Naturales Internacional S. A. de C. V.).

Inputs

Trays

To produce the plant, expanded polystyrene trays of 35.0×60.0×15.2 cm were used, with 77 cylindrical cavities (366 cavities m⁻²), 4.3 and 15.2 mm (upper diameter×length) and 170 cm³ capacity (Aislantes y Empaques, S. A. de C. V., Mexico). The cavities were impregnated by immersing the trays in a 6.7% solution of commercial copper hydroxide, made with 4 L of 5×1 vinyl sealant (DOAL®), 10 L of tap water and 1 kg of copper hydroxide with a purity percentage of 77% (Hidromet®). This solution is used on a daily basis in the nursery to promote the pruning of the lateral roots of the plants, as well as to prevent them from becoming inserted through the walls of cavities (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016).

Substrates

The standard mixture commonly used in the nursery was the one used for the experiment; it is composed of fresh sawdust (recently produced), composted pine bark, perlite and vermiculite (60, 20, 10 and 10%), with ≤10mm granulometry. With these proportions, 11 mixtures were prepared with fresh sawdust of the species: 1. *A. religiosa*, 2. *H. brasiliensis*, 3. *G. arborea*, 4. *M. indica*, 5. *P. ayacahuite*, 6. *P. montezumae*, 7. *P. patula*, 8. *P. teocote*, 9. *Q. laurina*, 10. *Q. rugosa* and 11. *T. grandis*.

Fertilizers

These products were added to each litre of substrate, at their usual doses, 4 g FLC Multicote® 18-6-12 (NP₂O₅-K₂O) + 2Mg + ME and 4 g L⁻¹ of Multicote® 12-24-12 + 2MgO + 0.2B, both of 8 months controlled-release at a constant temperature of 21 °C (Haifa Chemicals Ltd, Haifa, Israel); 1 g Micromax® slow-release fertilizer, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn (6.00, 3.00, 12.00, 0.10, 1.00, 17.00, 2.50, 0.05, 1.00%) (eveRRIS ILC Fertilizer Company); and 0.1 g Bactiva® biofungicide (Tecnologías Naturales Internacional S. A. de C. V.).

Production management

The plant was produced during a period of seven months, from the first week of May to the first week of December 2018; seed collected at the Ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla, was used. Before sowing, soaking was applied for 24 h, with change of water every 6 h; disinfection in a solution with 10% commercial hydrogen peroxide for 30 min and impregnation

Manejo de la producción

La planta se produjo durante un periodo de siete meses, de la primera semana de mayo a la primera de diciembre 2018; se utilizó semilla recolectada en el Ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla. Antes de su siembra se aplicó remojo durante 24 h, con cambio de agua cada 6 h; desinfección en una solución con 10% de agua oxigenada comercial durante 30 min e impregnación con 1.0 g kg⁻¹ de biofungicida Bactiva®. Dos semillas por cavidad se sembraron y el conjunto de charolas se colocó en forma aleatoria sobre una de las mesas al centro del área de producción para prevenir el efecto de orilla. Durante mayo y junio la planta estuvo protegida con malla sombra, y de julio a noviembre a sol pleno. Después de la etapa de germinación, se aplicó un riego por semana con aproximadamente 5% más cantidad de agua de la requerida para saturar el sustrato, con el propósito de lixiviar las sales y sustancias fitotóxicas disueltas en el sustrato.

Variables evaluadas

Características físicas y químicas de los sustratos

Las características físicas y químicas de los 11 sustratos sin fertilizante se determinaron en los laboratorios de Física de Suelos y de Fitoquímica del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México. El pH y la CE se midieron con medidores portátiles de la marca Hanna® Instruments, en los extractos 1:1 en volumen (sustrato:agua destilada, durante 30 min). La porosidad total (PT), la porosidad de aireación (PA) y la porosidad de retención de agua (PRA) se determinaron conforme al procedimiento descrito por Landis *et al.* (1990). La densidad aparente (DA) se obtuvo al dividir el peso seco (78 h a 70 °C) (g) entre el volumen total del recipiente.

La concentración de nitrógeno (%N) se determinó por el método semi micro-Kjeldahl (Bremner, 1965), con ácido sulfúrico-salicílico para la digestión. La concentración de carbono orgánico (%C.O.) y la relación carbono nitrógeno (C/N) se determinaron conforme a los procedimientos descritos en la Norma Mexicana NMX-AA-67-1985. El contenido de fenoles totales (FT) se realizó por medio del método propuesto por Makkar (2003). Los valores de cada característica (física y química) se obtuvieron al promediar los resultados obtenidos de tres repeticiones de cada sustrato.

Variables morfológicas de las plantas

La planta se evaluó a los siete meses de edad. De la parte central de cada charola (sin considerar las plantas de las filas periféricas) se extrajeron 15 plantas en forma sistemática; en total, 60 plantas por tratamiento. Los cepellones se lavaron por separado,

with 1.0 g kg⁻¹ of Bactiva® biofungicide. Two seeds per cavity were sown and the set of trays was randomly placed on one of the tables in the centre of the production area to prevent the edge effect. During May and June, plants were protected with shading, and from July to November they were placed under full sun. After the germination stage, one irrigation per week was applied with approximately 5% more water than that required to saturate the substrate, in order to leach the salts and phytotoxic substances dissolved in the substrate.

Evaluated variables

Physical and chemical characteristics of substrates

The physical and chemical characteristics of the 11 substrates without fertilizer were determined laboratories of Soil Physics and Phytochemistry at the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, State of Mexico. The pH and CE were measured with Hanna® Instruments portable meters, in extracts 1:1 by volume (substrate:distilled water, for 30 min). Total porosity (PT), aeration porosity (PA) and water retention porosity (PRA) were determined according to the procedure described by Landis *et al.* (1990). Bulk density (DA) was obtained by dividing the dry weight (g) (after 78 h at 70 °C) by the total volume of the container.

Nitrogen concentration (%N) was determined by the semi micro-Kjeldahl method (Bremner, 1965), with sulfuric-salicylic acid for digestion. The organic carbon concentration (%C.O.) and the carbon-nitrogen ratio (C/N) were determined according to the procedures described in the Mexican Standard NMX-AA-67-1985. Total phenol content (FT) was determined using the method proposed by Makkar (2003). The values for each characteristic (physical and chemical) were obtained by averaging the results obtained from three replicates of each substrate.

Plant morphological variables

Plants were evaluated at seven months of age. From the central section of each tray (without considering the plants in the peripheral rows), 15 plants were systematically extracted; in total, 60 plants per treatment. Root balls were washed separately with tap water to free the roots. In each plant, the height of the aerial part (A) and the diameter of the root collar (D) were measured, then sectioned and placed separately in brown paper bags and dried in an electric oven at 70 °C, for 72 h. After drying, the dry weight of the aerial part (PSA) and root (PSR) was recorded. With the above described values, the qualitative morphological variables were calculated: aerial dry weight to root dry weight ratio (PSA/PSR); sturdiness quotient IR (A/D) and Dickson's quality index ICD = [PST / (IR + PSA/PSR)].

con agua potable para dejar libres las raíces. En cada planta se midió la altura de la parte aérea (A) y el diámetro del cuello de la raíz (D), luego se seccionaron y se colocaron por separado en bolsas de papel de estraza y se secaron en horno eléctrico a 70 °C, durante 72 h. Después del secado se registró el peso seco de la parte aérea (PSA) y de la raíz (PSR). Con los valores anteriores se calcularon las variables morfológicas cualitativas: relación peso seco aéreo entre peso seco de la raíz (PSA/PSR); índice de robustez IR (A/D) e índice de calidad de Dickson ICD = $[PST / (IR + PSA/PSR)]$.

Concentración nutrimental en el follaje de las plantas

El análisis nutrimental del follaje de las plantas se realizó en el Laboratorio de Nutrición Vegetal “Salvador Alcalde Blanco” del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. El follaje seco de las 60 plantas evaluadas de cada tratamiento se trituro y se pulverizó en un molino de martillos con criba de 1.0 mm de diámetro; de cada molienda se analizaron tres muestras. El N se determinó por el método semi micro-Kjeldahl (Bremner, 1965), con ácido sulfúrico-salicílico para la digestión. La determinación de las concentraciones de P, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu y B se realizó en el extracto resultante de la digestión húmeda de material vegetal seco, con ácido sulfúrico, ácido perclórico y peróxido de hidrógeno (1.3:0.7:1.0, v:v:v) (Alcántar y Sandoval, 1999). Los extractos se llevaron a lectura en un equipo de espectrometría de emisión e inducción por plasma (Agilent 725 Series ICP-OES).

De manera complementaria, y con los mismos procedimientos antes descritos se determinó la concentración de nutrientes en el follaje de 20 plantas sanas y vigorosas de regeneración natural de *P. patula* con diámetro >4 mm y alturas de 20 a 30 cm, para comparar con los valores de la planta producida en los 11 sustratos, así como con los valores nutricionales recomendados para planta de coníferas producidas en charolas (VNRC) (Landis, 1985). La planta se recolectó en el área de corta total 2017 del Ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar, con 11 tratamientos y cuatro repeticiones (charolas) para cada uno. El análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para comparar las variables morfológicas e índices de calidad se realizaron con InfoStat versión 2008[®] (Di Rienzo *et al.*, 2008). Los valores promedio de la concentración de nutrientes en el follaje de las plantas por tratamiento también se analizaron con el mismo programa estadístico.

Nutrient concentration in plant foliage

The nutritional analysis of plant foliage was performed at Laboratorio de Nutrición “Salvador Alcalde Blanco” facilities at Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. The dry foliage of the 60 plants evaluated from each treatment was ground and pulverized in a hammer mill with a 1.0 mm diameter screen; three samples were analysed from each grinding. N was determined by the semi micro-Kjeldahl method (Bremner, 1965), with sulfuric-salicylic acid for digestion. The determination of P, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu and B concentrations was performed on the extract resulting from the wet digestion of dried plant material, with sulfuric acid, perchloric acid and hydrogen peroxide (1.3:0.7:1.0, v:v:v) (Alcántar and Sandoval, 1999). The extracts were read in an emission and plasma induction spectrometry equipment (Agilent 725 Series ICP-OES).

As a complement, and with the same procedures described above, nutrient concentrations in the foliage of 20 healthy and vigorous plants of natural regeneration of *P. patula* with diameter >4 mm and heights of 20 to 30 cm were determined to compare with the values of the plant produced with the 11 substrates. As well as with the nutritional values recommended for coniferous plants produced in trays (VNRC) (Landis, 1985). Plants from forest regeneration were collected in the 2017 clearcutting area of Ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla.

Experimental design and statistical analysis

The experimental design was completely randomized, with 11 treatments and four replicates (trays) for each. The analysis of variance and Tukey's mean comparison test ($p \leq 0.05$) to compare morphological variables and quality indices were performed with InfoStat version 2008[®] (Di Rienzo *et al.*, 2008). The average values of nutrient concentration in the foliage of plants per treatment were also analysed with the same statistics software.

RESULTS AND DISCUSSION

Physical and chemical characteristics of substrates

Porosity (PT, PA, PRA) and DA values showed minimal variations among substrates, attributable to the fact that the sawdust for every proved tree was obtained from sawmills operating with band saws with thickness less than 2 mm. Only PA and CE were within the recommended values for substrates to produce forest species in trays (VRSC) (Landis

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas y químicas de los sustratos

Los valores de porosidad (PT, PA, PRA) y DA presentaron variaciones mínimas entre sustratos, atribuibles a que todas las porciones de aserrín se obtuvieron de aserraderos que operan con sierras cintas con grosor menor a 2 mm. Solo la PA y la CE estuvieron dentro de los valores recomendados en sustratos para producir especies forestales en charolas (VRSC) (Landis *et al.*, 1990; Prieto *et al.*, 2012; SE, 2016). En todos los sustratos los valores de PT y PRA fueron superiores de 4 a 10% respecto a los valores recomendados; aunque esta situación en apariencia no afectó el crecimiento normal de las plantas. Esto pudo deberse a que durante la etapa de vivero la porosidad y la retención de agua en general se reducen al compactarse el sustrato, por efecto de los riegos y del crecimiento de la raíz. Ocho de los 11 sustratos presentaron valores de pH ligeramente inferiores en 0.1 a 0.4 unidades, respecto a los valores recomendados. Esta condición se considera no dañina para el crecimiento de la planta, ya que el pH del agua retenida por los sustratos se eleva con el agua de riego y el agua de lluvia durante el período de producción.

Los sustratos con aserrín de latifoliadas presentaron valores de CE y FT más altos que los sustratos con aserrín de coníferas; en cambio, los sustratos con aserrín de coníferas mostraron valores más altos en la relación C/N que los sustratos con aserrín de latifoliadas. El sustrato T4 (*M. indica*) alcanzó los valores más altos en CE y FT, mientras que el sustrato T5 (*P. ayacahuite*) permaneció en los valores más bajos (Cuadro 1).

Efecto de los sustratos en el crecimiento de las plantas

En diez de los 11 tratamientos se produjo planta con diámetro ≥ 4 mm y alturas de 20 a 30 cm, conforme con la Norma Mexicana para la Certificación de la Operación de Viveros Forestales (SE, 2016); sólo la planta del T4 (*M. indica*) resultó con diámetro y altura menores que lo recomendado (Figura 1).

El tipo de aserrín afectó ($p \leq 0.05$) todas las variables evaluadas. Las plantas de los 11 tratamientos desarrollaron unos IR e ICD que indican alta calidad, pero tuvieron una PSA/PSR mayor a la máxima reco-

et al., 1990; Prieto *et al.*, 2012; SE, 2016). In all substrates, PT and PRA values were 4 to 10% higher than the recommended values; although this situation apparently did not affect normal plant growth. This could be due to during the nursery stage, porosity and water retention are generally reduced as the substrate becomes compacted, by the effect of irrigation and root growth. Eight out of the 11 tested substrates showed pH values slightly lower than those recommended by 0.1 to 0.4 units. This condition is considered not harmful to plant growth, since the pH of the water retained by the substrates rises with irrigation water and rainfed during the production period.

Substrates with broadleaf trees sawdust showed higher CE and FT values than substrates with coniferous sawdust; whereas those substrates with coniferous sawdust exhibited higher values in the C/N ratio than substrates with broadleaf trees sawdust. Substrate T4 (*M. indica*) reached the highest values in CE and FT, while substrate T5 (*P. ayacahuite*) remained at the lowest values (Table 1).

Effect of substrates on plant growth

Ten out of the 11 treatments produced plants with ≥ 4 mm diameter and 20 to 30 cm heights, according to the Mexican Standard for the certification of forest nursery operation (SE, 2016); only the T4 plant (*M. indica*) had lower diameter and height than those recommended (Figure 1).

The type of sawdust affected ($p \leq 0.05$) all the variables evaluated. The plants of the 11 treatments developed IR and ICD indicating high quality but had a PSA/PSR higher than the maximum recommended for fast-growing conifers produced in trays (Prieto and Sáenz, 2011). Plants grown on T5 (*P. ayacahuite*) developed the highest dimensions and dry weights. Whereas plants in the T4 (*M. indica*) had the lowest, although it reached appropriate values in IR, PSA/PSR and ICD (Table 2).

The value of the PSA/PSR index was higher than that recommended by Prieto and Sáenz (2011), which can be attributed to the fact that the methodology developed by those authors included plants without and with root pruning. Plants produced with root pruning generally develop shorter and thinner lateral roots, with lower root dry weight than the plants without pruning (Aguilera *et al.*, 2021). In three

Cuadro 1. Características físicas y químicas de mezclas de sustratos elaboradas con aserrín (60% en la mezcla) de 11 especies forestales maderables.**Table 1. Physical and chemical characteristics of substrate mixtures made with fresh sawdust (60% in the mixture) of 11 timber forest species.**

Especie	PT	PA	PRA	DA	pH	CE	C/N	FT
		(%)		(g cm ⁻³)	(1:1)	(dS m ⁻¹)		(mg g ⁻¹)
1. <i>A. religiosa</i>	90	26	64	0.15	5.4	0.18	362	17.9
2. <i>G. arborea</i>	86	22	64	0.15	5.3	0.32	280	22.6
3. <i>H. brasiliensis</i>	87	23	64	0.17	4.5	0.44	234	24.5
4. <i>M. indica</i>	86	27	59	0.19	4.3	0.56	259	31.1
5. <i>P. ayacahuite</i>	89	26	63	0.15	5.3	0.15	398	16.7
6. <i>P. montezumae</i>	90	25	65	0.17	5.6	0.10	364	17.3
7. <i>P. patula</i>	85	23	62	0.17	5.6	0.10	379	16.1
8. <i>P. teocote</i>	90	24	66	0.16	5.5	0.11	386	18.4
9. <i>Q. laurina</i>	88	23	65	0.17	5.2	0.28	297	22.7
10. <i>Q. rugosa</i>	86	21	65	0.18	5.1	0.33	283	23.6
11. <i>T. grandis</i>	88	24	64	0.16	5.4	0.29	202	23.8
VRSC	60-80	20-35	25-55		5.5-6.5	<1.0	50-70	

PT: porosidad total; PA: porosidad de aireación; PRA: porosidad de retención de agua; DA: densidad aparente; FT: concentración de fenoles totales; VRSC: valores recomendados en sustratos para producir especies forestales en charolas (Landis *et al.*, 1990; Prieto *et al.*, 2012; SE, 2016). ♦ PT: total porosity; PA: aeration porosity; PRA: water retention porosity; DA: bulk density; FT: total phenol concentration; VRSC: recommended values in substrates for producing forest species in trays (Landis *et al.*, 1990; Prieto *et al.*, 2012; SE, 2016).



Figura 1. Planta de *Pinus patula* de siete meses de edad con diámetros y alturas promedio por tratamiento, de izquierda a derecha: T1 *A. religiosa*, T2 *H. brasiliensis*, T3 *G. arborea*, T4 *M. indica*, T5 *P. ayacahuite*, T6 *P. montezumae*, T7 *P. patula*, T8 *P. teocote*, T9 *Q. laurina*, T10 *Q. rugosa* y T11 *T. grandis*.

Figure 1. Seven-month-old *Pinus patula* plants with average diameters and heights by treatment, from left to right: T1 *A. religiosa*, T2 *H. brasiliensis*, T3 *G. arborea*, T4 *M. indica*, T5 *P. ayacahuite*, T6 *P. montezumae*, T7 *P. patula*, T8 *P. teocote*, T9 *Q. laurina*, T10 *Q. rugosa* and T11 *T. grandis*.

mendada para coníferas de crecimiento rápido producidas en charolas (Prieto y Sáenz, 2011). La planta del T5 (*P. ayacahuite*) desarrolló las dimensiones y pesos secos más altos, mientras que la planta del T4 (*M. indica*) tuvo los más bajos, aunque alcanzó valores apropiados en IR, PSA/PSR e ICD (Cuadro 2).

El valor del índice PSA/PSR resultó superior al recomendado por Prieto y Sáenz (2011), lo cual puede atribuirse a que la metodología desarrollada por dichos autores incluyó planta sin y con poda radical. La planta producida con poda radical en general desarrolla raíces laterales más cortas y delgadas, con peso seco de raíz menor que la planta sin poda (Aguilera *et al.*, 2021). En tres estudios de producción de planta de pinos con crecimiento rápido (*Pinus pseudostrobus* Lindl., Aguilera *et al.*, 2016; *P. greggii* Engelm. ex Parl., Bautista *et al.*, 2018; y *P. cooperi* Blanco, González *et al.*, 2018), en los cuales se utilizó el mismo tipo de charolas impregnadas con hidróxido de cobre, se logró la producción de planta de calidad con base en D, A, IR e ICD y con valores de 2.5 a 4.0 para el PSA/PSR, similares a los de este estudio.

Con excepción del T4 (*M. indica*), la dosis de 8 g L⁻¹ de FLC resultó suficiente para producir planta con características morfológicas apropiadas. Resultados

studies of plant production of fast-growing pines (*Pinus pseudostrobus* Lindl., Aguilera *et al.*, 2016; *P. greggii* Engelm. ex Parl., Bautista *et al.*, 2018; and *P. cooperi* Blanco, Gonzalez *et al.*, 2018), in which the same type of trays impregnated with copper hydroxide were used, the production of quality plant was achieved regarding D, A, IR and ICD and with values from 2.5 to 4.0 for the PSA/PSR, similar to those observed in this study.

Except T4 (*M. indica*), the 8 g L⁻¹ dose of FLC was sufficient to produce plants with appropriate morphological characteristics. Similar results, in morphological characteristics, were reported in two studies of pine plant production in trays where non-composted pine sawdust and 8 g L⁻¹ of FLC were used: *P. greggii* var. *australis*, in substrate with sawdust, perlite and vermiculite (60, 20, 20%) with Osmocote® Plus (Castro-Garibay *et al.*, 2018) and *P. cooperi* on substrate with sawdust, peat moss and bark (50, 30, 20%) with Multicote® (González *et al.*, 2018).

Substrates with CE and FT values greater than 0.44 dS m⁻¹ and 24.5 mg g⁻¹ (Table 1) can be considered as not suitable for producing pine plant with adequate sizes; with the exception of applying

Cuadro 2. Valores promedio de las variables morfológicas de planta de *Pinus patula* de siete meses de edad, producida en sustratos con aserrín de 11 especies forestales maderables.

Table 2. Average values of morphological variables of seven-month-old *Pinus patula* plants, produced in substrates with sawdust of 11 timber forest species.

Tratamiento	D (mm)	A (cm)	PSA (g)	PSR (g)	PSA /PSR	IR	ICD
1. <i>A. religiosa</i>	4.53ab	25.03bc	3.61abc	1.15a	3.27bc	5.58bcd	0.55a
2. <i>H. brasiliensis</i>	4.54ab	23.53c	3.40bc	1.08ab	3.14c	5.23de	0.55a
3. <i>G. arborea</i>	4.68a	24.25bc	3.62abc	1.05abc	3.44abc	5.23de	0.54a
4. <i>M. indica</i>	3.89c	18.73d	2.67d	1.08ab	2.52d	4.89e	0.52ab
5. <i>P. ayacahuite</i>	4.59ab	28.28a	3.80a	1.08ab	3.65a	6.23a	0.50ab
6. <i>P. montezumae</i>	4.57ab	26.75ab	3.65abc	1.03abc	3.59ab	5.90abc	0.50ab
7. <i>P. patula</i>	4.57ab	24.90bc	3.76ab	1.05abc	3.60ab	5.48cd	0.53ab
8. <i>P. teocote</i>	4.67a	26.15abc	3.84a	1.05abc	3.73a	5.65bcd	0.53ab
9. <i>Q. laurina</i>	4.39b	26.10abc	3.53abc	0.95bc	3.71a	6.01ab	0.47b
10. <i>Q. rugosa</i>	4.43ab	27.13ab	3.63abc	0.98bc	3.74a	6.20a	0.48b
11. <i>T. grandis</i>	4.59ab	24.45bc	3.37c	0.90c	3.72a	5.37d	0.48b
<i>p</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
VRC	≥4	20-30			1.5-2.0	≤7.5	≥0.5

D: diámetro; A: altura; PSA: peso seco aéreo; PSR: peso seco radical; IR: índice de robustez; ICD: índice de calidad de Dickson; VRC: valores recomendados para coníferas de rápido crecimiento producidas en charolas (Prieto *et al.*, 2011). Letras diferentes en una columna indican diferencias ($p \leq 0.05$). ♦ D: diameter; A: height; PSA: aerial dry weight; PSR: root dry weight; IR: sturdiness quotient; ICD: Dickson quality index; VRC: recommended values for fast-growing conifers produced in trays (Prieto and Sáenz, 2011). Different letters in a column indicate differences ($p \leq 0.05$).

similares, en características morfológicas, se informaron en dos estudios de producción de planta de pino en charolas donde se utilizó aserrín de pino sin compostar y 8 g L⁻¹ de FLC: *P. greggii* var. *australis*, en sustrato con aserrín, perlita y vermiculita (60, 20, 20%) con Osmocote® Plus (Castro-Garibay *et al.*, 2018) y *P. cooperi* en sustrato con aserrín, turba y corteza (50, 30, 20%) con Multicote® (González *et al.*, 2018).

Los sustratos con valores de CE y FT mayores que 0.44 dS m⁻¹ y 24.5 mg g⁻¹ (Cuadro 1) se pueden considerar como no apropiados para producir planta de pino con tallas adecuadas; con la excepción de que se les apliquen tratamientos para lixiviar el exceso de sales y fenoles. Rau *et al.* (2006) evaluaron el crecimiento de raíces de plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivadas en lixiviados de sustratos elaborados a partir de trozas de madera molida con corteza de *Pinus taeda* L.; en ambas especies producidas, el crecimiento radical incrementó después de aplicar lavados al sustrato para reducir la cantidad de sustancias fitotóxicas.

Efecto de los sustratos en la concentración foliar de nutrientes

En todos los tratamientos se presentaron diferencias ($p \leq 0.05$) en la concentración de nutrientes en el follaje de las plantas, excepto para P y Ca. En ningún tratamiento se presentó un patrón homogéneo de asimilación máxima o mínima en todos los nutrientes determinados. Las concentraciones de N, P, Mn y Cu resultaron acordes con las recomendadas por Landis (1985) para coníferas producidas en charolas (VNRC) y también con la concentración de nutrientes en la planta de *P. patula* de regeneración natural (CNPp), excepto en las plantas del T2 (*H. brasiliensis*) y del T4 (*M. indica*) que presentaron niveles más bajos en N y P que presentaron los valores más altos de CE y FT.

Los nutrientes K, Mg, Ca, Zn y B presentaron valores inferiores a VNCR y CNPp en todos los tratamientos. En los 11 tratamientos la concentración de Fe resultó acorde con VNCR, pero inferior a CNPp, lo cual es atribuible al origen volcánico del suelo donde se recolectaron las plantas. En promedio, la planta del T1 (*A. religiosa*) asimiló la cantidad mayor de macro y micronutrientes, en tanto que la planta del T4 (*M. indica*) tuvo las menores concentraciones foliares (Cuadro 3).

treatments to leach excess salts and phenols. Rau *et al.* (2006) evaluated root growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings grown in leachates from substrates made from ground wood logs with bark of *Pinus taeda* L.; in both species produced, root growth increased after applying washes to the substrate to reduce the amount of phytotoxic substances.

Effect of substrates on foliar nutrient concentration.

There were differences ($p \leq 0.05$) in the concentration of nutrients in plant foliage in all treatments, except for P and Ca. No treatment showed a homogeneous pattern of maximum or minimum assimilation in all the nutrients determined. The concentrations of N, P, Mn and Cu were according to those recommended by Landis (1985) for conifers produced in trays (VNRC) and to the concentration of nutrients in the plant of *P. patula* from natural regeneration (CNPp), except the plants grown in T2 (*H. brasiliensis*) and T4 (*M. indica*), which presented lower levels of N and P, and the highest values of CE and FT.

The nutrients K, Mg, Ca, Zn and B presented lower values than VNCR and CNPp in all treatments. In the 11 treatments, Fe concentration was according to VNCR, but lower than CNPp, which is attributable to the volcanic origin of the soil where the plants were collected. On average, plants on T1 (*A. religiosa*) assimilated the highest amount of macro and micronutrients, whereas the plant on T4 (*M. indica*) had the lowest foliar concentrations (Table 3).

With the exception of treatments T2 (*H. brasiliensis*) and T4 (*M. indica*), the fertilizer doses used in the other treatments can be considered sufficient to produce plants with appropriate dimensions, although insufficient to achieve macro and micronutrient concentrations according to VNRC or similar to the CNPp.

Three studies by Castro-Garibay *et al.* (2018), González *et al.* (2018) and González-Orozco *et al.* (2018) produced plants of *P. greggii* var. *australis*, *P. cooperi* Blanco and *P. engelmannii* with different substrates and fertilizers. In those treatments where the same dose of Multicote® and substrates with 60 and 50% fresh pine sawdust were used, it was reported

Cuadro 3. Concentración promedio de nutrientes en el follaje de *Pinus patula* de siete meses de edad, producido en sustratos con aserrín fresco de 11 especies forestales maderables.**Table 3. Average nutrient concentration in the foliage of seven-month-old *Pinus patula* seedlings grown on substrates with fresh sawdust of 11 timber forest species.**

Tr	Especie	N	P	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		(%)					(ppm)				
1	<i>A. religiosa</i>	1.45a	0.20	0.57ab	0.09a	0.24	68b	328a	24cd	12ab	21a
2	<i>H. brasiliensis</i>	1.14bc	0.19	0.52bc	0.08ab	0.20	65b	262d	28bc	10ab	19ab
3	<i>G. arborea</i>	1.41a	0.20	0.57ab	0.08ab	0.22	58b	268c	27cd	8b	19ab
4	<i>M. indica</i>	1.05c	0.18	0.53bc	0.08ab	0.23	68b	158d	34a	11ab	19ab
5	<i>P. ayacahuite</i>	1.47a	0.21	0.47d	0.08ab	0.23	66b	314ab	21e	11ab	18ab
6	<i>P. montezumae</i>	1.48a	0.24	0.48cd	0.08ab	0.26	62b	314ab	25bcd	10ab	17b
7	<i>P. patula</i>	1.44a	0.20	0.41e	0.08ab	0.22	68b	326a	24cd	11ab	18ab
8	<i>P. teocote</i>	1.41a	0.20	0.44de	0.07b	0.23	68b	317ab	22e	11ab	19ab
9	<i>Q. laurina</i>	1.53a	0.21	0.45d	0.08ab	0.20	72b	309b	33a	12ab	19ab
10	<i>Q. rugosa</i>	1.49a	0.20	0.44de	0.07b	0.21	59b	266c	29b	8b	19ab
11	<i>T. grandis</i>	1.47a	0.23	0.46d	0.08ab	0.25	99a	305b	25bcd	14a	19ab
	<i>p</i>	<0.001	<0.144	<0.001	<0.013	<0.456	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	VNRC	1.3-3.5	0.20-0.60	0.70-2.50	0.10-0.30	0.30-1.00	60-200	100-250	30-150	4-20	20-100
	CNPp	1.44	0.22	0.51	0.13	0.33	259	109	34	6	22

Tr: Tratamiento; VNRC: valores nutricionales recomendados en el follaje para coníferas producidas en charolas (Landis, 1985); CNPp: concentración de nutrientes en follaje de plantas de *Pinus patula* de regeneración natural con diámetro >4 mm y alturas de 20 a 30 cm. Letras diferentes en una columna indican diferencias ($p \leq 0.05$). ♦ Tr: Treatment; VNRC: recommended nutritional values in foliage for conifers produced in trays (Landis, 1985); CNPp: nutrient concentration in foliage of *Pinus patula* plants from natural regeneration with >4 mm diameter and 20 to 30 cm heights. Different letters in a column indicate differences ($p \leq 0.05$).

Con excepción de los tratamientos T2 (*H. brasiliensis*) y T4 (*M. indica*), en los demás tratamientos las dosis de fertilizantes utilizados se pueden considerar como suficientes para producir plantas con dimensiones apropiadas, aunque insuficiente para lograr una concentración de macro y micronutrientes acorde con los VNRC o similares al CNPp.

En tres estudios realizados por Castro-Garibay *et al.* (2018), González *et al.* (2018) y González-Orozco *et al.* (2018) se produjeron plantas de *P. greggii* var. *australis*, *P. cooperi* Blanco y *P. engelmannii* con diferentes sustratos y fertilizantes. En los tratamientos donde se utilizó la misma dosis de Multicote® y sustratos con 60 y 50% de aserrín de pino fresco, se documentó la producción de planta con alturas, diámetros e ICD apropiados; así como concentraciones de N, P, K más bajas que las recomendadas para dichas especies, 0.96, 0.20, 0.42%; 1.1, 0.2, 0.9%; y 1.40, 0.28, 1.2%. En los dos primeros casos las concentraciones de nutrientes resultaron menores que las del tercer caso; lo cual se atribuyó a que la determinación de nutrientes se hizo con muestras de follaje de la parte media de los tallos. En este estudio, en cambio, la

plant production with appropriate heights, diameters and ICD; as well as lower N, P, K concentrations than those recommended for those three species, 0.96, 0.20, 0.42%; 1.1, 0.2, 0.9%; and 1.40, 0.28, 1.2%. In the first two cases, nutrient concentrations were lower than in the third case; this was attributed to the fact that nutrient determinations were made with foliage samples from the middle part of the stems. Whereas in this study the determination was done with all the foliage of the plants evaluated in each treatment.

CONCLUSIONS

Substrates with fresh sawdust from broadleaf trees were useful for producing *Pinus patula* plants with morphological characteristics indicating good quality; similar to substrates with coniferous sawdust. But the substrate with sawdust from *Mangifera indica* was not.

The content of phenols and salts present in the substrates negatively affected the height growth and root dry weight of the plants, as well as the foliar

determinación se hizo con todo el follaje de las plantas evaluadas de cada tratamiento.

CONCLUSIONES

Los sustratos con aserrín fresco de latifoliadas resultaron útiles para producir planta de *Pinus patula* con características morfológicas de buena calidad, al igual que los sustratos con aserrín de coníferas. No así el sustrato con aserrín de *Mangifera indica*.

El contenido de fenoles y de sales presentes en los sustratos afectó en forma negativa el crecimiento en altura y el peso seco radical de las plantas, así como la concentración foliar de nutrientes; a menor cantidad de fenoles y sales, mayor desarrollo y concentración de nutrientes.

Las dosis de los fertilizantes utilizadas resultaron insuficientes para asegurar que las plantas producidos alcanzaran las concentraciones foliares de K, Mg, Ca, Zn y B, recomendadas para coníferas. También respecto a aquellas concentraciones que se presentan en plantas con alturas de 20 a 30 cm, vigorosas, en la regeneración natural de *P. patula*.

LITERATURA CITADA

- Aguilera-Rodríguez, M., A. Aldrete, T. Martínez-Trinidad, y V. M. Ordaz-Chaparro. 2016. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50(1): 107-118.
- Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T., y V. M. Ordaz C. 2016. Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Rev. Mex. Cienc. For.* 7(34): 7-19. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i34.79>
- Aguilera-Rodríguez, M., A. Aldrete, J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton, M. A. López-López, y V. M. Ordaz-Chaparro. 2021. Morfología y crecimiento potencial de raíz de *Pinus patula* producido en charolas con poda radical. *Agrociencia* 55(1): 81-97. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i1.2349>
- Alcántar G., G., y M. Sandoval V. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de Muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación. Pub. Esp. 10. Soc. Mex. de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. 155 p.
- Bautista O., G. I., J. A. Prieto R., J. C. Hernández D., E. Basave V., J. R. Goche T., y E. Montiel A. 2018. Crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. bajo diferentes rutinas de fertilización en vivero. *Rev. Mex. Cienc. For.* 9: 213-223. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.171>
- Bremner, J. M. 1965. Total Nitrogen. In: Norman, A.G. (ed.) *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties* No. 9.2. Am. Soc. of Agronomy. Madison, WI, USA, pp. 1149-1178. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c32>
- Castro-Garibay, S. L., A. Aldrete, J. López-Upton, y V. M. Ordaz-Chaparro. 2018. Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* en vivero. *Agrociencia* 52(1): 115-127.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2017. Objetivo específico 1 del monitoreo y evaluación complementaria de los apoyos de reforestación y suelos 2016. Documento técnico. Guadalajara, Jal., México. pp: 178-187.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2020. El sector forestal mexicano en cifras. Documento técnico. Guadalajara, Jal., México. pp: 91-96.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2020. Información climatológica por estado. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/resources/normales5110/normal13094.txt> (Consultado: mayo 2020).
- Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada, y C.W. Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA. Univ. Nal. Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar/> (Consultado: febrero 2020).
- Escamilla H., N., A. Aldrete, J. J. Vargas H., Á. Villegas M., y M. Á. López L. Propagación vegetativa de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. 2020 en diferentes sustratos. *Rev. Fitotec. Mex.* 43: 215-221. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.2.215>
- González O., M. M., J. Á. Prieto R., A. Aldrete, J. C. Hernández D., J. A. Chávez S., y R. Rodríguez L. 2018. Sustratos a base de aserrín crudo con fertilización y la calidad de planta de *Pinus cooperi* Blanco en vivero. *Rev. Mex. Cienc. For.* 9(48): 203-226. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.125>
- González-Orozco., M. M., J. A. Prieto-Ruiz, A. Aldrete, J. C. Hernández-Díaz, J. A. Chávez-Simental, y R. Rodríguez-Laguna. 2018. Nursery production of *Pinus engelmannii* Carr. with substrates based on fresh sawdust. *Forests* 9(11): 678. <https://doi.org/10.3390/f9110678>
- Hernández-Zárate, L., A. Aldrete, V. M. Ordaz-Chaparro, J. López-Upton, y M. A. López-López. 2014. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48(6): 627-637.

—End of the English version—

---*---

- Landis, T. D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling. In: Duryea, M. L. (ed.) 1985. Evaluating Seedling Quality: Principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Oregon State University, Corvallis. OR. USDA, Forest Service. USA. pp: 29-48.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. Mc Donald, and J. P. Barnett. 1990. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 2. Containers and growing media. Agricultural Handbook 674. USDA, Forest Service. Washington, DC. 88 p.
- Makkar, H. P. S. 2003. Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 102 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-0273-7>
- Prieto R., J. Á., y J. T. Sáenz R. 2011. Indicadores de calidad de planta en viveros forestales de la Sierra Madre Occidental. Libro Técnico Núm. 3. C. E. Valle del Guadiana. CIRNOC. Inst. Nal. Invest. For. Agric. Pecuarias. Durango, Dgo., México. 210 p.
- Prieto R., J. Á., J. L. García R., J. C. Monárrez G., y R. E. Madrid A. 2012. Producción de Planta del Género *Pinus*. Folleto Técnico Núm. 50. CIRNOC. INIFAP. Durango, Dgo., México. 52 p.
- Rau, B. J., J. F. Browder, B. E. Jackson, and R. D. Wright. 2006. Wood substrates derived from a variety of tree species affect plant growth. SNA Res. 51: 43-45.
- Richmond, F. 2010. Evaluación de distintas materias primas para la producción de almácigo de tomate. Agron. Costarricense 34(1): 85-91.
- SE (Secretaría de Economía). 2016. Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016. Certificación de la operación de viveros forestales. Diario Oficial de la Federación. 17 de febrero de 2016. México, D. F. pp: 17-28.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2021. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2018. México, D. F. pp: 69-118.
- Zavala Z., D., y R. Hernández C. 2000. Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. MyB 6(2): 41-155. <https://doi.org/10.21829/myb.2000.621374>